MARCO DE TRABAJO PARA IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE ANÁLISIS ERGONÓMICO EN TIEMPO REAL DESDE DISPOSITIVOS MÓVILES

DIEGO LEÓN ACEVEDO ARENAS

UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SOFTWARE
MEDELLÍN
2021

MARCO DE TRABAJO PARA IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE ANÁLISIS ERGONÓMICO EN TIEMPO REAL DESDE DISPOSITIVOS MÓVILES

DIEGO LEÓN ACEVEDO ARENAS

Trabajo de grado para optar al título de
Maestría en Ingeniería de Software

Director
EDWIN MAURICIO HINCAPIÉ MONTOYA, Ph.D.
Codirectora
BELL MANRIQUE LOSADA, Ph.D.

UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE SOFTWARE
MEDELLÍN
2021

Nota de aceptación:

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Director

_____

Jurado

_____

Jurado

Medellín, Agosto 06 de 2021.

Dedicado a mis padres y mi hija que me han dado siempre la fuerza de voluntad para seguir en la búsqueda del conocimiento.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia, a todos los docentes de la Maestría en Ingeniería de software de la Universidad de Medellín y en especial a Bell Manrique Losada y a Edwin Mauricio Montoya Hincapié por su continuo apoyo en el desarrollo de este proyecto.

CONTENIDO

pág.

RESUMEN 15

PARTE I INTRODUCCIÓN 16

CAPÍTULO 1 Introducción 17

1.1. JUSTIFICACIÓN 18

1.2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 19

1.3. CAMPO DE ACCIÓN Y ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN 21

1.3.1. Ergonomía 21

1.3.2. Realidad Aumentada 21

1.3.3. Smartphone 21

1.4. HIPÓTESIS 22

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 22

1.6. ESTRUCTURA DE LA TESIS 24

PARTE II RECOLECCIÓN 27

CAPÍTULO 2 Marco Teórico 28

2.1. CONTEXTUALIZACIÓN DE ANÁLISIS ERGONÓMICO EN SALUD OCUPACIONAL 28

2.1.1. Salud Ocupacional 28

2.1.2. Ergonomía 28

2.1.3. Análisis Ergonómico 28

2.1.4. Factores a Considerar en un Estudio Ergonómico 29

2.2. MÉTODOS ERGONÓMICOS PARA POSTURAS Y MOVIMIENTOS REPETITIVOS 30

2.2.1. OWAS (*Ovako Working Analysis System*) 30

2.2.2. JSI (*Job Strain Index*) 31

2.2.3. RULA (*Rapid Upper Limb Assessment*) 32

2.2.4. EPR (Evaluación Postural Rápida) 33

2.2.5. CHECK LIST OCRA (*Occupational Repetitive Action*) 34
2.2.6. REBA (*Rapid Entire Body Assessment*) 36
2.3. Comparación de Características de los Métodos Ergonómicos.....37
2.4. MÉTODO DE REFERENCIA DE ANÁLISIS ERGONÓMICO 38
2.4.1. Aplicación del Método REBA (*Rapid Entire Body Assessment*).....38
2.4.2. Desarrollo del Método REBA (*Rapid Entire Body Assessment*).....41
2.5. REALIDAD AUMENTADA Y FRAMEWORK PARA DISPOSITIVOS MÓVILES.....54
2.5.1. Realidad Aumentada 54
2.5.2. Frameworks de Realidad Aumentada para Dispositivos Móviles.....56
2.5.3. Comparación de Características de los Framework de Realidad Aumentada para Dispositivos Móviles 59
2.6. SMARTPHONE Y TECNOLOGÍA TOF.....60
2.6.1. Cámara TOF (*Time of Flight*).....60
2.6.2. Smartphone 62
2.6.3. Comparación de Características de los Smartphone.....67

CAPÍTULO 3 Revisión de Literatura..... 69
3.1. PROCESO DE REVISIÓN.....69
3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....71
3.2.1. Técnicas y Procesos de Análisis Ergonómico.....72
3.2.2. Análisis Ergonómico con Sensor de Profundidad 73
3.2.3. Comparación de Análisis Ergonómico con Sensor de Profundidad 75

PARTE III FORMULACIÓN 77

CAPÍTULO 4 Marco de Trabajo 78
4.1. MARCO GENERAL 78
4.2. MARCO DETALLADO 79
4.2.1. Contexto.....79
4.2.2. Análisis y Selección 81
4.2.3. Implementación.....83

PARTE IV IMPLEMENTACIÓN 85

CAPÍTULO 5 Implementación 86

5.1. MODELADO DEL SOFTWARE 86

5.1.1. Casos de Uso 86

5.1.2. Modelado de Clases 90

5.1.3. Diagrama de Componentes 91

5.1.4. Diagrama de Secuencia 92

5.1.5. Diagrama de Plataforma Distribuida 93

5.1.6. Diagrama de Despliegue 94

5.2. SOFTWARE ErgoSystem 95

5.2.1. Inicio 95

5.2.2. Realizar Estudio 96

5.2.3. Ver Análisis 98

CAPÍTULO 6 Validación 100

6.1. CASO DE ESTUDIO 100

PARTE V ANÁLISIS 105

CAPÍTULO 7 Conclusiones y Trabajo Futuro 106

7.1. CONCLUSIONES 106

7.2. TRABAJO FUTURO 107

BIBLIOGRAFÍA 109

ANEXOS 114

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparativo Métodos Ergonómicos 37
Tabla 2. Puntuación del tronco 41
Tabla 3. Modificación de la puntuación del tronco 42
Tabla 4. Puntuación del cuello 42
Tabla 5. Modificación de la puntuación del cuello 43
Tabla 6. Puntuación de las piernas 43
Tabla 7. Modificación de la puntuación de las piernas 44
Tabla 8. Puntuación del brazo 45
Tabla 9. Modificaciones sobre la puntuación del brazo 46
Tabla 10. Puntuación del antebrazo 47
Tabla 11. Puntuación de la muñeca 47
Tabla 12. Modificación de la puntuación de la muñeca 48
Tabla 13. Puntuación inicial para el grupo A 48
Tabla 14. Puntuación inicial para el grupo B 49
Tabla 15. Puntuación para la carga o fuerzas 49
Tabla 16. Modificación de la puntuación para la carga o fuerzas 50
Tabla 17. Puntuación del tipo de agarre 50
Tabla 18. Puntuación C en función de las puntuaciones A y B 51
Tabla 19. Puntuación del tipo de actividad muscular 52
Tabla 20. Niveles de actuación según la puntuación final obtenida 52
Tabla 21. Comparativo Framework de Realidad Aumentada Dispositivos Móviles60
Tabla 22. Comparativo Smartphone 68
Tabla 23. Resultados Cadenas de Búsqueda 69
Tabla 24. Síntesis Cadenas de Búsqueda 70

Tabla 25. Criterios Selección Artículos 70
Tabla 26. Estudios Priorizados 71
Tabla 27. Comparativo Estudios de Análisis Ergonómico con Sensor de Profundidad 76
Tabla 28. Caso de Uso Detallado Realizar Estudio 88
Tabla 29. Caso de Uso Detallado Ver Análisis 89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de investigación para alcanzar los objetivos.....23
Figura 2. Estructura de la tesis 25
Figura 3. Posiciones del tronco.....41
Figura 4. Posiciones del cuello 42
Figura 5. Posiciones que modifican la puntuación del cuello.....43
Figura 6. Posición de las piernas.....43
Figura 7. Ángulo de flexión de las piernas.....44
Figura 8. Posiciones del brazo.....45
Figura 9. Posiciones que modifican la puntuación del brazo 46
Figura 10. Posiciones del antebrazo.....47
Figura 11. Posiciones de la muñeca.....47
Figura 12. Torsión o desviación de la muñeca 48
Figura 13. Flujo de obtención de puntuaciones en el método REBA.....53
Figura 14. Juego Pokémon Go (Imagen tomada de [18]) 54
Figura 15. DepthSense 541(Imagen tomada de [30]) 61
Figura 16. DepthSense 541 (Imagen tomada de [31]) 61
Figura 17. Marco de Trabajo.....78
Figura 18. Contexto Marco de Trabajo 79
Figura 19. Análisis y Selección Marco de Trabajo 81
Figura 20. Implementación Marco de Trabajo 83
Figura 21. Actor 86
Figura 22. Caso de Uso General 87
Figura 23. Caso de Uso Realizar Estudio.....87
Figura 24. Caso de Uso Ver Análisis 89

Figura 25. Clases del diagrama de Clases 91
Figura 26. Diagrama de Componentes 92
Figura 27. Diagrama de Secuencia.....93
Figura 28. Diagrama de Plataforma Distribuida 94
Figura 29. Diagrama de Despliegue 94
Figura 30. Vista de Inicio 95
Figura 31. Vista de Ingreso de Datos.....96
Figura 32. Vista de Análisis Ergonómico 97
Figura 33. Vista de Resultados de Análisis Ergonómico.....99
Figura 34. ErgoSystem.apk 115
Figura 35. Instalar ErgoSystem.....115
Figura 36. Play Protect 116
Figura 37. ErgoSystem Instalado.....117
Figura 38. ErgoSystem Permitir 118
Figura 39. Vista de Inicio 119
Figura 40. Vista de Ingreso de Datos.....120
Figura 41. Vista de Análisis Ergonómico 121
Figura 42. Vista de Resultados de Análisis Ergonómico.....123

LISTA DE ANEXOS

pág.

ANEXO 1 Manual de Instalación 115

ANEXO 2 Manual de Usuario 119

ACRÓNIMOS

OWAS:	Ovako Working Analysis System
JSI:	Job Strain Index
RULA:	Rapid Upper Limb Assessment
EPR:	Evaluación Postural Rápida
CHECK LIST OCRA:	Occupational Repetitive Action
REBA:	Rapid Entire Body Assessment
AR:	Realidad Aumentada
TOF:	Time of Flight
IE:	Intensidad del Esfuerzo
DE:	Duración del Esfuerzo
EM:	Esfuerzo por Minuto
HWP:	Postura Mano - Muñeca
SW:	Ritmo de Trabajo
DD:	Duración por Día de la Tarea
FR:	Factor de Recuperación
FF:	Factor de Frecuencia
FFz:	Factor de Fuerza
FP:	Factor de Posturas y Movimientos
FC:	Factor de Riesgos Adicionales
MD:	Multiplicador de Duración
ICKL:	Indice Check List OCRA
GPS:	Sistema de Posicionamiento Global
SLAM:	Localización y Modelado Simultáneo

RESUMEN

El presente trabajo de grado tiene como objetivo desarrollar un marco de trabajo para implementar un sistema de análisis ergonómico en tiempo real desde dispositivos móviles, que permita realizar un análisis ergonómico de la postura de una persona laborando, mediante el uso de la cámara TOF (*Time-of-Flight*) de un dispositivo móvil y utilizando las reglas de negocio aportadas por el método de análisis ergonómico REBA (*Rapid Entire Body Assessment*).

La necesidad de un sistema eficaz que ayude a evaluar la postura de una persona laborando, requiere del uso de técnicas y principios de desarrollo de software y hardware. Es por esto, que en este trabajo se presenta un análisis y diseño de un software para este mismo fin.

Con base en los objetivos trazados, en este documento se presenta un marco de trabajo adecuado para implementar un sistema de análisis ergonómico beneficiando de esta manera a todos los médicos de salud ocupacional que realizan esta función, y a todas aquellas personas que no disponen del entrenamiento y conocimiento para poder realizar un análisis ergonómico, mediante una sencilla interfaz gráfica de usuario y una fácil captura de datos mediante el uso de la cámara TOF de un dispositivo móvil. Finalmente, se presenta un prototipo ágil y amigable para el usuario.

PARTE I
INTRODUCCIÓN

"La imaginación es más importante que el conocimiento. El conocimiento es limitado y la imaginación circunda el mundo." -- Albert Einstein

CAPÍTULO 1

Introducción

Durante el transcurso de este proyecto se desarrolla un marco de trabajo para Implementar un Sistema de Análisis Ergonómico en Tiempo Real desde Dispositivos Móviles, utilizando como base el método de análisis ergonómico REBA.

El marco de trabajo se implementa con la construcción de un prototipo de software que permitirá agilizar y automatizar las evaluaciones de los puestos de trabajo de las personas que laboran a diario y poder dar como resultado, un análisis ergonómico de la persona en su puesto de trabajo.

Con base en los requerimientos de software, se proporciona un prototipo del sistema, en el cual su parte fundamental es realizar un análisis ergonómico utilizando la cámara TOF (*Time-of-Flight*) de un dispositivo móvil como sensor de profundidad para realizar la captura de los datos a analizar en el sistema.

Para el desarrollo de proyectos con un alto grado de complejidad, es necesario tener una buena fuente de información para la correcta sustracción de los requerimientos, además de un correcto diagnóstico, gestión de la información y del proyecto para garantizar que el marco de trabajo a diseñar e implementar, cumpla con los objetivos propuestos, y también de los resultados esperados. Esto se logra teniendo una correcta planeación y unos objetivos claros, es por esto que se utilizará como marco de referencia el método de análisis ergonómico REBA.

1.1. JUSTIFICACIÓN

Los trastornos musculo esqueléticos han aumentado por el trabajo sedentario y repetitivo, debido al auge de las tecnologías como uso de ordenadores, sistemas automáticos y condiciones ergonómicas inadecuadas. Estos trastornos representan el 40% de los costos globales de compensación de los accidentes y enfermedades laborales.

Con un marco de trabajo de análisis ergonómico que utilice la tecnología TOF para la captura de imágenes en 3D, se busca disminuir los costos en que las empresas incurren en la realización de estudios ergonómicos, agilizar los análisis de los estudios ergonómicos, disminuir los errores en la práctica, fortalecer los sistemas de vigilancia y control de las condiciones de trabajo, e impulsar las acciones de promoción y protección de la salud del trabajador.

Se han desarrollado varios aplicativos de software para ordenadores de escritorio que utilizan el sensor óptico Kinect para realizar análisis ergonómico, pero esto sigue siendo un poco costoso ya que se debe disponer de ambos equipos para realizar análisis ergonómico y es un poco complicado de utilizar.

Aprovechando las nuevas tecnologías compactas de gran capacidad de análisis de datos cómo lo son los dispositivos móviles, resulta muy conveniente poder utilizarlas para poder realizar análisis ergonómico, haciendo uso de los sensores de profundidad (TOF) que vienen integrados en dichas tecnologías.

En la actualidad no se encuentra disponible un software para dispositivos móviles que permita realizar estudios ergonómicos mediante la captura de imágenes y el análisis de sus características. Se busca aprovechar las tecnologías de captura y análisis de imágenes en 2D y 3D (TOF) que existen en la actualidad para poder realizar estos estudios ergonómicos mediante un aplicativo automatizado y generar

un informe de análisis ergonómico. De esta forma se espera garantizar una correcta postura de trabajo para evitar futuras enfermedades y lesiones en los trabajadores de las empresas.

1.2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La salud ocupacional es una actividad multidisciplinaria que controla y realiza medidas de prevención para cuidar la salud de los trabajadores de las empresas. Esto incluye enfermedades, cualquier tipo de accidentes y todos los factores que puedan llevar a poner en peligro la vida, la salud o la seguridad de las personas en sus respectivos trabajos [1]. Los análisis ergonómicos son estudios que buscan prevenir futuros padecimientos en los trabajadores [2].

Desde la Ingeniería de Software, como un área de las ciencias de la computación y la informática, se han propuesto soluciones lógicas para ayudar a mejorar los tiempos en la elaboración de los estudios y análisis ergonómicos, así como también reducir los costos que estos implican [3].

A menudo los trabajadores no pueden escoger sus propios puestos de trabajo y se ven obligados a adaptarse a unas condiciones laborales mal diseñadas, que pueden lesionar gravemente las manos, las muñecas, las articulaciones, la espalda u otras partes del organismo y normalmente, las lesiones se desarrollan lentamente y puede llevar a aumentar las incapacidades y el ausentismo en los puestos de trabajo, lo cual resulta muy costoso para las empresas. Particularmente, son cada vez más las personas que hoy en día se desempeñan frente a un computador, generando así enfermedades y lesiones causadas por las malas posturas como el síndrome del túnel del carpo bilateral, Tendinitis, tensión en el cuello u hombros, etc. [4].

Los estudios ergonómicos suelen ser muy costosos, demorados e imprecisos debido a que muchas veces los médicos especialistas en salud ocupacional no realizan estos análisis con la precisión del caso, debido, entre otras causas a: (i) el uso inadecuado de instrumentos para medir la flexión de los ángulos de las extremidades del empleado (ii) los análisis no se realizan normalmente en el puesto de trabajo del empleado si no en un puesto de trabajo improvisado en el consultorio del médico especialista en salud ocupacional [5].

Estas situaciones, se alejan de la realidad laboral del empleado y generan inconsistencias con su situación laboral real, y a su vez, una serie de dolencias físicas que conllevan a aumentar el ausentismo en las empresas [2].

Actualmente existen soluciones software para realizar el análisis ergonómico mediante sensores de bajo coste (Kinect V1) [6] [7] [8], que usan una metodología de análisis ergonómico y están diseñadas como soluciones de escritorio [9]. Algunas propuestas no contemplan el giro de los puntos (articulaciones), como las muñecas y el cuello que poseen más libertad.

Con esta propuesta se pretende apoyar el proceso de análisis ergonómico de una manera más rápida, económica y sencilla, desde un dispositivo móvil, aprovechando la tecnología TOF [10]. Actualmente no se conocen soluciones móviles que permita realizar estos análisis ergonómicos mediante la captura de imágenes y el análisis de sus características [11] [12].

1.3. CAMPO DE ACCIÓN Y ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Ergonomía

La ergonomía es la disciplina científica que trata del diseño de lugares de trabajo, herramientas y tareas que coinciden con las características fisiológicas, anatómicas, psicológicas y las capacidades del trabajador [2]. Busca la optimización de los tres elementos del sistema (humano-máquina-ambiente), para lo cual elabora métodos de estudio de la persona, de la técnica y de la organización.

1.3.2. Realidad Aumentada

La Realidad Aumentada o AR es la combinación del mundo real con objetos digitales 3D en tiempo real, visualizada desde un dispositivo móvil como una Tablet o un Smartphone. La Realidad Aumentada tiene diversas aplicaciones tanto para la educación, la medicina, la publicidad, el entretenimiento, entre otros.

1.3.3. Smartphone

Un “Smartphone” (teléfono inteligente en español) es un dispositivo electrónico que funciona como un teléfono móvil con características similares a las de un ordenador personal. Los teléfonos inteligentes permiten la instalación de programas para incrementar el procesamiento de datos y la conectividad, poseen pantallas táctiles y Sistema Operativo, así como conectividad a Internet y acceso al correo electrónico [13].

1.4. HIPÓTESIS

Aplicando un marco de trabajo de análisis ergonómico y utilizando la tecnología TOF para la captura de imágenes en 3D, se podrán realizar análisis ergonómicos de las personas en su puesto de trabajo desde dispositivos móviles.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Para formular el marco de trabajo se proponen los siguientes objetivos:

Objetivo General: Proponer un marco de trabajo de análisis ergonómico utilizando la tecnología TOF de dispositivos móviles, para la adquisición y análisis de imágenes de personas en su puesto de trabajo.

Objetivos específicos: para alcanzar el objetivo general, se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Identificar los aspectos más relevantes a tener en cuenta para realizar un estudio ergonómico basado en imágenes, analizando las diferentes metodologías desarrolladas hasta el momento.
2. Definir un mecanismo de captura y análisis de imágenes para detectar malas posturas en lugares de trabajo.
3. Diseñar un marco de trabajo de análisis ergonómico a partir de los aspectos identificados y el proceso de análisis de imágenes definido.
4. Implementar el marco de trabajo definido con el desarrollo de un aplicativo de software para dispositivos móviles.
5. Validar el aplicativo de software con un caso de estudio real

Para dar claridad con respecto al proceso de investigación a seguir para alcanzar estos objetivos, en la Figura *1* se ilustra el proceso de investigación, mostrando las diferentes fases adelantadas.

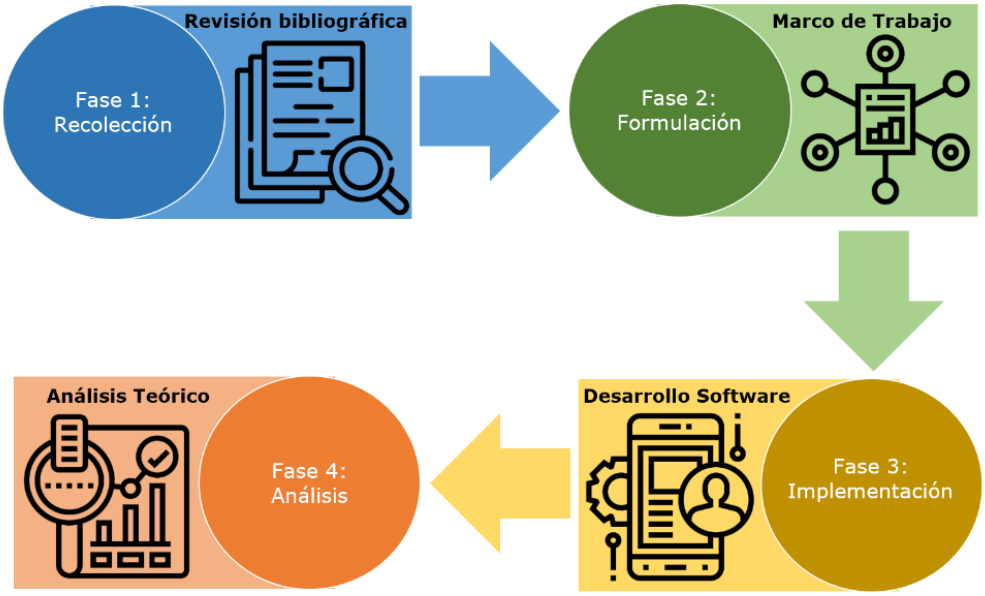


Figura 1. Proceso de investigación para alcanzar los objetivos

A continuación, se describen brevemente las fases a realizar con el principal resultado de cada una:

Fase 1 - Recolección de información: Inicialmente se realizará una revisión de la bibliografía sobre el análisis ergonómico, con la cual se busca tener una mejor perspectiva sobre las metodologías para realizar el análisis ergonómico en la actualidad. También se realizará una revisión bibliográfica sobre los diferentes sensores de profundidad existentes que puedan utilizarse para realizar análisis ergonómico. Como resultado de esta revisión se obtendrá un estado del arte sobre el tema central del proyecto y se realizará una redacción preliminar del estado del arte de análisis ergonómico con la información recopilada.

Fase 2 - Formulación del marco de trabajo: Una vez se haya finalizado la revisión bibliográfica, se procederá a definir el mecanismo de captura de imágenes en 3D integrado en los dispositivos móviles actuales, se definirá cuál será el método de referencia de análisis ergonómico y luego se procederá a formular el marco de trabajo de análisis ergonómico desde dispositivos móviles.

Fase 3 - Implementación: Con el propósito de evaluar el marco de trabajo, se procederá a implementarlo desarrollando un aplicativo de software para realizar un análisis ergonómico desde dispositivos móviles y luego se procederá a realizar la validación del aplicativo de software con un caso real.

Fase 4 - Análisis teórico: Finalmente se realizarán las conclusiones y se hará la propuesta de los posibles trabajos futuros, este será el capítulo final del documento.

A lo largo del proyecto se realizarán informes periódicos sobre los avances, así como reuniones semanales con el director del proyecto y asesores.

1.6. ESTRUCTURA DE LA TESIS

La realización de un trabajo de esta índole deja una amplia gama de testimonios y experiencias que necesitan ser documentadas de forma organizada para facilitar su estudio y comprensión. Por tal motivo este trabajo está organizado en 7 capítulos agrupados en 5 partes como se ilustra en la Figura *2*.

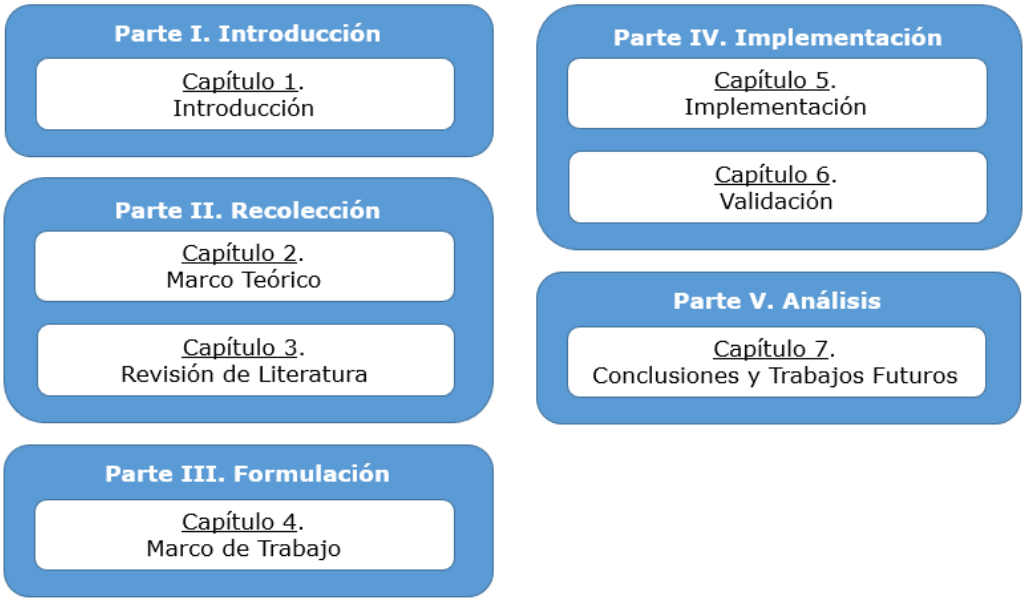


Figura 2. Estructura de la tesis

A continuación, se describen brevemente los capítulos de este trabajo con su respectivo contenido:

PARTE I - INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1CAPÍTULO 1. Introducción: Pretende contextualizar este trabajo, presentado su campo de acción y explicando el proceso investigativo que se sigue. Contiene además los objetivos y la estructura de la tesis.

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. **- RECOLECCIÓN**

CAPÍTULO 2. Marco teórico: Identifica, define y compara las diferentes metodologías de análisis ergonómico, los framework de realidad aumentada para dispositivos móviles y los smartphone actuales que poseen la tecnología TOF (*Time-of-Flight*), con una breve descripción de sus principales características y procesos, donde luego son comparados bajo ciertos criterios que permiten dar importancia a la selección de una metodología, un framework y smartphone que sea base para el marco de trabajo propuesto en este proyecto de grado.

CAPÍTULO 3. Revisión de Literatura: Identifica, define y compara las diferentes técnicas y procesos de análisis ergonómico existentes mediante el uso de sensores de profundidad, con una breve descripción de sus procesos, fases, herramientas y técnicas donde luego son comparadas bajo ciertos criterios para determinar cuál es el estado del arte actual.

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**II - FORMULACIÓN**

CAPÍTULO 4. Marco de Trabajo: Identifica, define y describe el marco de trabajo propuesto para Implementar un Sistema de Análisis Ergonómico en Tiempo Real desde Dispositivos Móviles (Framework ErgoSystem) de forma general y detallada, con una breve descripción de sus diferentes etapas, los componentes de cada etapa y su composición.

PARTE IV. IMPLEMENTACIÓN

CAPÍTULO 5. Implementación: Muestra la implementación del marco de trabajo propuesto para crear un Sistema de Análisis Ergonómico en Tiempo Real desde Dispositivos Móviles (Framework ErgoSystem), donde se describen los diferentes diagramas para el modelamiento del aplicativo de software, sus diferentes interfaces gráficas y funcionalidades.

CAPÍTULO 6. Validación: Muestra el análisis de resultados, aplicación de instrumentos para evaluar el producto y el marco de trabajo implementado.

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. **- CONCLUSIONES**

CAPÍTULO 7. Conclusiones y trabajos futuros: Inicia con un análisis del cumplimiento de los objetivos específicos que se plantearon en la investigación. Muestra los aportes de este trabajo al igual que sus beneficiarios; adicionalmente menciona los trabajos futuros.

PARTE II
RECOLECCIÓN

"Cuando se comprende que la condición humana es la imperfección del entendimiento, ya no resulta vergonzoso equivocarse, sino persistir en los errores." – George Soros

CAPÍTULO 2

Marco Teórico

2.1. CONTEXTUALIZACIÓN DE ANÁLISIS ERGONÓMICO EN SALUD OCUPACIONAL

2.1.1. Salud Ocupacional

La salud ocupacional es una actividad multidisciplinaria que controla y realiza medidas de prevención para cuidar la salud de los trabajadores de las empresas. Esto incluye enfermedades, cualquier tipo de accidentes y todos los factores que puedan llevar a poner en peligro la vida, la salud o la seguridad de las personas en sus respectivos trabajos [1].

2.1.2. Ergonomía

La ergonomía es la disciplina científica que trata del diseño de lugares de trabajo, herramientas y tareas que coinciden con las características fisiológicas, anatómicas, psicológicas y las capacidades del trabajador [2]. Busca la optimización de los tres elementos del sistema (humano-máquina-ambiente), para lo cual elabora métodos de estudio de la persona, de la técnica y de la organización. Es una disciplina sistemáticamente orientada al buen uso del puesto de trabajo y a las correctas posturas que se deben adoptar en el puesto de trabajo, que ahora se aplica a todos los aspectos de la actividad humana.

2.1.3. Análisis Ergonómico

El análisis ergonómico del puesto de trabajo está dirigido especialmente a todas las personas que realizan actividades manuales de la industria y manipulación de

materiales y son de gran interés para las aseguradoras de riesgos profesionales y las empresas de la industria; ha sido diseñado para servir como una herramienta que permita tener una visión de la situación de trabajo, a fin de diseñar puestos de trabajo y tareas seguras, saludables y productivas. Así mismo, puede utilizarse para hacer un seguimiento de las mejoras implantadas en un centro de trabajo o para comparar diferentes puestos de trabajo.

La base del análisis ergonómico del puesto de trabajo consiste en una descripción sistemática y cuidadosa de la tarea o puesto de trabajo, para lo que se utilizan observaciones y entrevistas, a fin de obtener la información necesaria [2]. En algunos casos, se necesitan instrumentos simples de medición, como puede ser un luxómetro para la iluminación, un sonómetro para el ruido, un termómetro para el ambiente térmico, etc.

Por lo general las empresas se deslindan de responsabilidad otorgándoles a sus trabajadores un seguro para salvaguardar cualquier accidente o enfermedad, esta idea es muy válida, pero para eliminar los índices de riesgos, que frecuentemente se manifiestan a largo plazo, se necesita llevar a cabo análisis o estudios que permitan conocer y prevenir futuros padecimientos. Para ello, se deben conocer aquellos factores fundamentales al realizar un estudio ergonómico que pretenda aumentar las condiciones de seguridad de un puesto de trabajo.

2.1.4. Factores a Considerar en un Estudio Ergonómico

En un estudio ergonómico los investigadores (médico salud ocupacional) examinan los sistemas de trabajo en función de enfoques divergentes (mecanicista, biológico, perceptual/motor, motivacional), con los correspondientes resultados individuales y de organización. La selección de las técnicas para desarrollar el análisis en los puestos de trabajo depende de varios factores, entre los cuales se encuentra el

ambiente de trabajo, las características de las funciones laborales, la relación hombre-máquina, la tecnología, el contexto psicosocial, entre otros [9].

Dentro de estas técnicas, usualmente se hallan los cuestionarios y listas de comprobación para la gestión de la seguridad e higiene, el diseño del sistema hombre-máquina y el diseño o reestructuración del trabajo. Pero también son aprovechados por los encargados de la planificación organizativa para elaborar bases de datos utilizadas en los planes de acción en las áreas de selección y asignación del personal y para la compensación del rendimiento.

2.2. MÉTODOS ERGONÓMICOS PARA POSTURAS Y MOVIMIENTOS REPETITIVOS

En la mayoría de las empresas los principales problemas encontrados son el síndrome del túnel carpiano y la tendinitis de hombros o la muñeca, al menos para todas aquellas con movimientos repetitivos frecuentes; de ahí la importancia de establecer herramientas que permitan evaluar las condiciones de trabajo que den lugar a estas enfermedades para corregir o en su caso ideal prevenir las repercusiones que se generan. Se presentan a continuación los métodos ergonómicos que se utilizan cotidianamente:

2.2.1. OWAS (*Ovako Working Analysis System*)

Este método revisa la carga postural de forma sencilla y eficaz a través de la comparación con posturas preestablecidas de piernas, brazos y espalda. La identificación de éstas se codifica y se evalúa en la clasificación de riesgos según la categoría que ocupe cada dígito, sin embargo, esta práctica no permite identificar la gravedad de cada posición [14].

Existen cuatro categorías de riesgo las cuales indican los efectos de la postura adoptada y la acción de requerida:

1- Postura normal y natural sin efectos dañinos en el sistema músculo esquelético. No requiere acción correctiva.
2- Postura con posibilidad de causar daño al sistema músculo esquelético. Se requiere acción correctiva en un futuro cercado.
3- Postura con efectos dañinos sobre el sistema músculo esquelético. Se requiere acción correctiva lo antes posible.
4- La carga causada por esta postura tiene efectos sumamente dañinos sobre el sistema musculo esquelético. Se requiere acción correctiva inmediatamente.

Las posturas son clasificadas en 252 posibles combinaciones según la posición de la espalda, los brazos y las piernas, además de la magnitud de la carga que manipula mientras adopta la postura. Cada postura es clasificada mediante un código, a partir del cual se obtiene una valoración de riesgo asignándole la categoría de riesgo. Posteriormente se evalúa el riesgo para cada parte del cuerpo (espalda, brazos y piernas) considerando todas las posturas adoptadas, asignándole la categoría de riesgo en función de la frecuencia relativa de las diversas posiciones de las posturas adoptadas.

Finalmente, el análisis de las categorías de riesgo calculadas para cada postura de las diferentes partes del cuerpo (espalda, brazos y piernas) de forma global, permitirá identificar las acciones correctivas sobres las posturas adoptadas, así como la adecuación del puesto de trabajo.

2.2.2. JSI (*Job Strain Index*)

Es un método que permite diagnosticar desórdenes traumáticos en las extremidades superiores, sean estos la mano, la muñeca, el antebrazo y el codo, expuestos a movimientos continuos y posturas demandantes de sobre esfuerzo.
Se basa en el análisis de seis variables dentro de los cuales se encuentra:

1- La intensidad del esfuerzo (IE).
2- La duración del esfuerzo por ciclo de trabajo (DE).
3- El número de esfuerzos realizados en un minuto de trabajo (EM).
4- La desviación de la muñeca respecto a la posición neutra (HWP).
5- La velocidad para desarrollar la tarea (SW).
6- La duración por jornada de trabajo (DD).

A cada una de estas 6 variables se le da una valoración de acuerdo a las tareas realizadas por el trabajador y la duración de los ciclos de trabajo. Posteriormente se utilizan estas valoraciones para calcular el factor multiplicador de cada variable según las tablas que el método proporciona y luego aplicar la ecuación: $JSI = IE * DE * EM * HWP * SW * DD$, para calcular el *Job Strain Index*, determinando así el grado de riesgo de la tarea. Para valores menores o iguales a 3 se considera que la tarea es probablemente segura, y para valores mayores o iguales a 7 se considera que la tarea es probablemente riesgosa. En general para valores mayores a 5 se considera que la tarea puede estar asociada a desordenes músculo esqueléticos en la extremidades superiores [15].

2.2.3. RULA (*Rapid Upper Limb Assessment*)

La evaluación se orienta hacia la revisión de posturas en condiciones de trabajo que generan fatiga, dividiendo el análisis en dos grupos: las extremidades superiores y las extremidades inferiores. Debido a que el procedimiento establece la determinación de los ángulos que se forman entre las partes del cuerpo, el primer paso es la observación apoyada de fotografías, videos o electro goniómetros. Sugiere dividir el estudio en el lado derecho o izquierdo del operador o en caso de requerir más información, considerar ambos perfiles, siendo en este caso el punto de decisión, la consideración del evaluador al detectar las zonas donde incidan la mayor cantidad de posturas inadecuadas. El resultado se determina con la relación de puntajes, considerando además, el tipo de actividad muscular desarrollada y la

fuerza aplicada, a partir del cual se derivarán las recomendaciones pertinentes según el nivel de riesgo precisado [3].

El método divide el cuerpo en dos grupos, el Grupo A que comprende las extremidades superiores (brazos, antebrazos y muñecas) y el Grupo B que comprende las piernas, el tronco y el cuello. Se asigna una puntuación a cada parte del cuerpo utilizando las tablas proporcionadas por el método, para de esta forma, generar una puntuación global para cada uno de los grupos A y B. Esta asignación de puntuaciones de las partes del cuerpo, se logran gracias a las mediciones de los ángulos que forman las diferentes partes del cuerpo del trabajador. Posteriormente, las puntuaciones globales de los grupos A y B son modificadas evaluando el tipo de actividad muscular desarrollada y la fuerza aplicada durante el desarrollo de la tarea (Puntuación C y Puntuación D). Por último, se obtiene la puntuación final evaluando los nuevos valores globales modificados (Puntuación Final). El valor Final nos indicará el nivel de riesgo que conlleva la realización de la tarea y si es necesario tomar acciones correctivas sobre el puesto de trabajo [16].

El método comprende 4 niveles de riesgo, según su puntuación final:

1- Riesgo aceptable (Puntuación 1 o 2).
2- Pueden requerirse cambios en la tarea, es conveniente profundizar en el estudio (Puntuación 3 o 4).
3- Se requiere el rediseño de la tarea (Puntuación 5 o 6).
4- Se requieren cambios urgentes en la tarea (Puntuación 7).

2.2.4. EPR (Evaluación Postural Rápida)

Es un método que se basa en el sistema de valoración del método LEST, permite examinar las posturas observadas de un trabajador considerando que éste puede adoptar alguna de las 14 posiciones genéricas preestablecidas, el resultado se obtiene subjetivamente por el evaluador. La deducción del riesgo sólo indica si es

necesario un estudio más detallado por algún otro método (RULA, OWAS o REBA) o si no existe ninguna complicación, debido a que sólo es una herramienta de análisis preliminar [17].

El método no evalúa posturas individuales, si no que realiza una evaluación global de las posturas adoptadas y del tiempo que son mantenidas. A partir de estos datos el método proporciona la puntuación de la Carga Postural, lo que nos da como resultado el nivel de actuación y los riesgos asociados. El método comprende 5 niveles de actuación:

1- Situación satisfactoria (Puntuación 0, 1 o 2).
2- Débiles molestias. Algunas mejoras podrían aportar más comodidad al trabajador (Puntuación 3, 4 o 5).
3- Molestias medias. Existe riesgo de fatiga (Puntuación 6 o 7).
4- Molestias fuertes. Fatiga (Puntuación 8 o 9).
5- Nocividad (Puntuación 10 o más).

2.2.5. CHECK LIST OCRA (*Occupational Repetitive Action*)

Es un método que permite la evaluación de movimientos repetitivos de las extremidades superiores del cuerpo considerando factores como la frecuencia, la duración, la fuerza, la postura y el tiempo de recuperación; obteniendo a través de éstos, el índice Check List OCRA, que representa mediante un código de colores las medidas a tomar, de acuerdo con el nivel de riesgo correspondiente. Cabe mencionar que incluye situaciones en el que el trabajador tiene necesidad de rotar e incluso alcanza a revisar el riesgo global a un conjunto de puestos. Los resultados proporcionados deben evaluarse por otros métodos antes de tomar medidas correctivas en el puesto de trabajo [18].

El Check List OCRA realiza un análisis detallado de cada uno de los factores de riesgo asociados al puesto de trabajo de forma individual, asignándole de esta forma

una valoración a cada factor de riesgo que va entre 1 y 10, ponderando este valor por el tiempo durante el cual cada factor de riesgo está presente dentro del tiempo total de la tarea. Los factores de riesgo son:

1- Factor de recuperación (FR).
2- Factor de frecuencia (FF).
3- Factor de fuerza (FFz).
4- Factor de posturas y movimientos (FP).
5- Factor de riesgos adicionales (FC).
6- Multiplicador de duración (MD).

Cada uno de estos factores de riesgo se calcula utilizando las tablas proporcionadas por el método. El índice Check List OCRA se calcula de la siguiente forma:

$$ICKL = (FR + FF + FFz + FP + FC) * MD$$

Lo que da como resultado un valor numérico, que permite clasificar los riesgos en los siguientes niveles y sus respectivas acciones correctivas:

1- Riesgo óptimo. No se requiere acción (Puntuación <= 5).
2- Riesgo aceptable. No se requiere acción (Puntuación 5.1 – 7.5).
3- Riesgo incierto. Se recomienda un nuevo análisis o mejora del puesto (Puntuación 7.6 - 11).
4- Riesgo inaceptable Leve. Se recomienda mejora del puesto, supervisión médica y entrenamiento (Puntuación 11.1 - 14).
5- Riesgo inaceptable Medio. Se recomienda mejora del puesto, supervisión médica y entrenamiento (Puntuación 14.1 – 22.5).
6- Riesgo inaceptable Alto. Se recomienda mejora del puesto, supervisión médica y entrenamiento (Puntuación > 22.5).

2.2.6. REBA (*Rapid Entire Body Assessment*)

Es un método que recopila información del método RULA y el NIOSH, principalmente. Divide el análisis en dos grupos de igual forma que el RULA, pero, considera otros factores de suma importancia como la carga, el tipo de agarre y la actividad muscular. Mediante la identificación de los ángulos formados por el cuerpo, asigna una puntuación que finalmente se relaciona en una tabla para obtener el valor final, determinando así el nivel de riesgo y la urgencia de establecer acciones correctivas en beneficio del trabajador [1]. Cada puntuación permite al evaluador conocer las principales causas de desgaste o fatiga para puntualizar las zonas en las que se deba llevar a cabo las modificaciones [4].

El método divide el cuerpo en dos grupos, el Grupo A que comprende las piernas, el tronco y el cuello, y el Grupo B que comprende las extremidades superiores (brazos, antebrazos y muñecas). Se asigna una puntuación a cada parte del cuerpo utilizando las tablas proporcionadas por el método, para de esta forma, generar una puntuación global para cada uno de los grupos A y B. Esta asignación de puntuaciones de las partes del cuerpo, se logran gracias a las mediciones de los ángulos que forman las diferentes partes del cuerpo del trabajador. Posteriormente, las puntuaciones globales de los grupos A y B son modificadas evaluando el tipo de actividad muscular desarrollada, el tipo de agarre de los objetos con la mano y la fuerza aplicada durante el desarrollo de la tarea (Puntuación A y Puntuación B). Por último, se obtiene la Puntuación C evaluando los nuevos valores globales modificados. La Puntuación Final se obtiene incrementado la Puntuación C en una unidad, evaluando si se está ejecutando uno de los siguientes tipos de actividad muscular:

1- Una o más partes del cuerpo permanecen estáticas.
2- Se producen movimientos repetitivos.
3- Se producen cambios de postura importantes o se adoptan posturas inestables.

El valor Final nos indicará el nivel de riesgo que conlleva la realización de la tarea y si es necesario tomar acciones correctivas sobre el puesto de trabajo. El método comprende 5 niveles de riesgo, según su puntuación final:

0- Riesgo inapreciable (Puntuación 1).

1- Riesgo bajo. Pueden ser necesaria la actuación (Puntuación 2 o 3).

2- Riesgo medio. Es necesaria la actuación (Puntuación 4 a 7).

3- Riesgo alto. Es necesaria la actuación cuanto antes (Puntuación 8 a 10).

4- Riesgo muy alto. Es necesaria la actuación de inmediato (Puntuación 11 a 15).

2.3. Comparación de Características de los Métodos Ergonómicos

A continuación, se realiza un comparativo entre los diferentes Métodos Ergonómicos, a partir de un conjunto de criterios asociados a las principales características de la Ergonomía que se deben tener en cuenta para determinar cuál puede ser el Método Ergonómico a utilizar en el Marco de trabajo.

Método/ ***Características***	***Evalúa las partes del cuerpo conjuntamente***	***Evalúa soló el puesto de trabajo y el ambiente que lo rodea***	***Evalúa la fuerza, el agarre y la actividad muscular***	***Evalúa las partes del cuerpo conjuntamente, además de la fuerza, el agarre y la actividad muscular***	***Evalúa sólo las extremidades superiores***
JSI [15]					X
RULA [16]	X				
OWAS [14]	X				
EPR [17]		X			
CHECK LIST OCRA [18]			X		X
REBA [1]	X		X	X	

Tabla 1. Comparativo Métodos Ergonómicos

Se determina el método REBA como el método más completo en análisis ergonómicos ya que este permite evaluar la totalidad de las extremidades del cuerpo

conjuntamente, las fuerzas que se ejercen sobre éste, así como también el agarre y la actividad muscular que el cuerpo realiza.

2.4. MÉTODO DE REFERENCIA DE ANÁLISIS ERGONÓMICO

Este proyecto se basará en el método ergonómico REBA (*Rapid Entire Body Assessment*), ya que este recopila información del método RULA y el NIOSH, principalmente. Mediante la identificación de los ángulos formados por el cuerpo, asigna una puntuación que finalmente se relaciona en una tabla para obtener el valor final, determinando así el nivel de riesgo y la urgencia de establecer acciones correctivas en beneficio del trabajador [1]. Cada puntuación permite al evaluador conocer las principales causas de desgaste o fatiga para puntualizar las zonas en las que se deba llevar a cabo las modificaciones [4].

2.4.1. Aplicación del Método REBA (*Rapid Entire Body Assessment*)

El método REBA evalúa el riesgo de las posturas adoptadas por las personas en su puesto de trabajo de forma concreta e independiente. Por tanto, para evaluar un puesto se deberán seleccionar sus posturas más representativas, bien por su repetición en el tiempo o por su precariedad [1]. La selección correcta de las posturas a evaluar determinará los resultados proporcionados por el método REBA y las acciones futuras [4].

Como pasos previos a la aplicación del método REBA se debe:

- Determinar el periodo de tiempo de observación del puesto considerando, si es necesario, el tiempo del ciclo de trabajo.
- Realizar, si es necesario debido a la duración excesiva de la tarea a evaluar, la descomposición de ésta en operaciones elementales o sub-tareas para su análisis pormenorizado.

- Registrar las diferentes posturas adoptadas por el trabajador durante el desarrollo de la tarea, mediante captura en video, fotografías, o anotación en tiempo.
- Identificar de entre todas las posturas registradas aquellas consideradas más significativas o "peligrosas" para su posterior evaluación con el método REBA.
- El método REBA se aplica por separado al lado derecho y al lado izquierdo del cuerpo. Por tanto, el evaluador según su criterio y experiencia determina, para cada postura seleccionada, el lado del cuerpo que "a priori" conlleva una mayor carga postural. Si existieran dudas al respecto se recomienda evaluar por separado ambos lados.

La información básica requerida por el método REBA es la siguiente:

- Los ángulos formados por las diferentes partes del cuerpo (tronco, cuello, piernas, brazo, antebrazo, muñeca) con respecto a determinadas posiciones de referencia. Dichas mediciones de los ángulos pueden realizarse directamente sobre el trabajador (usando transportadores de ángulos, electro goniómetros u otros dispositivos de medición angular), o bien a partir de fotografías, siempre que estas garanticen mediciones correctas (verdadera magnitud de los ángulos a medir y suficientes puntos de vista).
- La carga o fuerza manejada por el trabajador al adoptar la postura en estudio indicada en kilogramos.
- El tipo de agarre de la carga manejada manualmente o mediante otras partes del cuerpo.
- Las características de la actividad muscular desarrollada por el trabajador (estática, dinámica o sujeta a posibles cambios bruscos).

La aplicación del método puede resumirse en los siguientes pasos:

- División del cuerpo en dos grupos, siendo el grupo A, el correspondiente al tronco, el cuello y las piernas y el grupo B el formado por los miembros

superiores (brazo, antebrazo y muñeca). Puntuación individual de los miembros de cada grupo a partir de sus correspondientes tablas (A, B, C del método).

- Consulta de la Tabla A para la obtención de la puntuación inicial del grupo A, a partir de las puntuaciones individuales del tronco, cuello y piernas.
- Valoración del grupo B a partir de las puntuaciones del brazo, antebrazo y muñeca mediante la Tabla B.
- Modificación de la puntuación asignada al grupo A (tronco, cuello y piernas) en función de la carga o fuerzas aplicadas, en adelante "Puntuación A".
- Corrección de la puntuación asignada a la zona corporal de los miembros superiores (brazo, antebrazo y muñeca) o grupo B según el tipo de agarre de la carga manejada, en lo sucesivo "Puntuación B".
- A partir de la "Puntuación A" y la "Puntuación B" y mediante la consulta de la Tabla C se obtiene una nueva puntuación denominada "Puntuación C".
- Modificación de la "Puntuación C" según el tipo de actividad muscular desarrollada para la obtención de la puntuación final del método.
- Consulta del nivel de acción, riesgo y urgencia de la actuación correspondientes al valor final calculado.

Finalizada la aplicación del método REBA se aconseja:

- La revisión exhaustiva por parte del evaluador, de las puntuaciones individuales obtenidas para las diferentes partes del cuerpo, así como para las fuerzas, agarre y actividad, con el fin de orientar al evaluador sobre dónde son necesarias las correcciones.
- Rediseño del puesto o introducción de cambios para mejorar determinadas posturas críticas si los resultados obtenidos así lo recomiendan.
- En caso de cambio de puesto de trabajo, hacer reevaluación de las nuevas condiciones del puesto con el método REBA para la comprobación de la efectividad y de la mejora.

2.4.2. Desarrollo del Método REBA (*Rapid Entire Body Assessment*)

El desarrollo del método REBA se puede describir de la siguiente forma [1]:

Grupo A: Puntuaciones del tronco, cuello y piernas.

El método comienza con la valoración y puntuación individual de los miembros del grupo A, formado por el tronco, el cuello y las piernas.

Puntuación del tronco

El primer miembro a evaluar del grupo A es el tronco. Se deberá determinar si el trabajador realiza la tarea con el tronco erguido o no, indicando en este último caso el grado de flexión o extensión observado. Se seleccionará la puntuación adecuada de la Tabla 2.

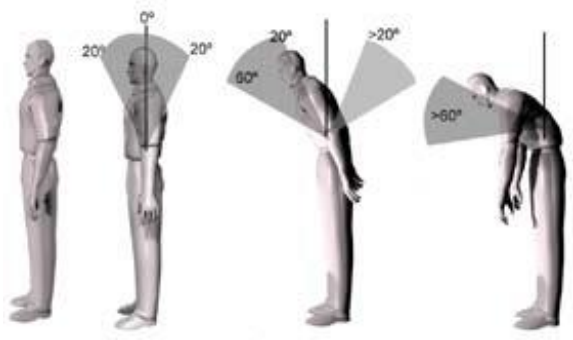


Figura 3. Posiciones del tronco

Puntos	Posición
1	**El tronco está erguido.**
2	**El tronco está entre 0 y 20 grados de flexión o 0 y 20 grados de extensión.**
3	**El tronco está entre 20 y 60 grados de flexión o más de 20 grados de extensión.**
4	**El tronco está flexionado más de 60 grados.**

Tabla 2. Puntuación del tronco

.

La puntuación del tronco incrementará su valor si existe torsión o inclinación lateral del tronco.

Puntos	Posición
+1	**Existe torsión o inclinación lateral del tronco.**

Tabla 3. Modificación de la puntuación del tronco

Puntuación del cuello

En segundo lugar, se evaluará la posición del cuello. El método REBA considera dos posibles posiciones del cuello. En la primera el cuello está flexionado entre 0 y 20 grados y en la segunda existe flexión o extensión de más de 20 grados.

Figura 4. Posiciones del cuello

Puntos	Posición
1	**El cuello está entre 0 y 20 grados de flexión.**
2	**El cuello está flexionado más de 20 grados o extendido.**

Tabla 4. Puntuación del cuello

La puntuación calculada para el cuello podrá verse incrementada si el trabajador presenta torsión o inclinación lateral del cuello, tal y como indica la Tabla 5.

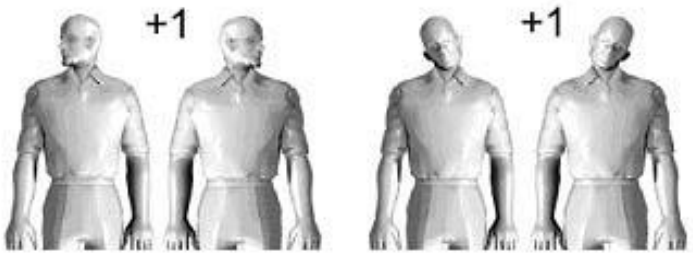


Figura 5. Posiciones que modifican la puntuación del cuello

Puntos	Posición
+1	**Existe torsión y/o inclinación lateral del cuello.**

Tabla 5. Modificación de la puntuación del cuello

Puntuación de las piernas

Para terminar con la asignación de puntuaciones de los miembros del grupo A, se evaluará la posición de las piernas. La consulta de la Tabla 6 permitirá obtener la puntuación inicial asignada a las piernas en función de la distribución del peso.

Figura 6. Posición de las piernas

Puntos	Posición
1	**Soporte bilateral, andando o sentado.**
2	**Soporte unilateral, soporte ligero o postura inestable.**

Tabla 6. Puntuación de las piernas

La puntuación de las piernas se verá incrementada si existe flexión de una o ambas rodillas. El incremento podrá ser de hasta 2 unidades si existe flexión de más de 60°. Si el trabajador se encuentra sentado, el método considera que no existe flexión y por tanto no incrementa la puntuación de las piernas.

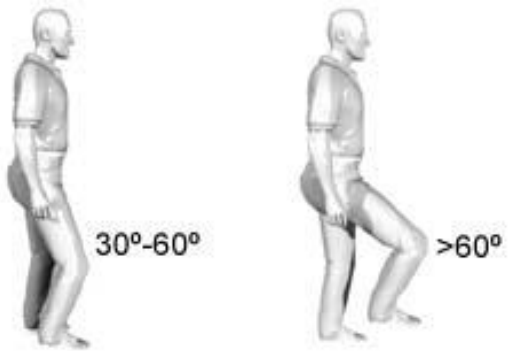


Figura 7. Ángulo de flexión de las piernas

Puntos	Posición
+1	**Existe flexión de una o ambas rodillas entre 30 y 60°.**
+2	**Existe flexión de una o ambas rodillas de más de 60° (salvo postura sedente).**

Tabla 7. Modificación de la puntuación de las piernas

Grupo B: Puntuaciones de los miembros superiores (brazo, antebrazo y muñeca).

Finalizada la evaluación de los miembros del grupo A se procederá a la valoración de cada miembro del grupo B, formado por el brazo, antebrazo y la muñeca. Cabe recordar que el método analiza una única parte del cuerpo, lado derecho o izquierdo, por tanto, se puntuará un único brazo, antebrazo y muñeca, para cada postura.

Puntuación del brazo

Para determinar la puntuación a asignar al brazo, se deberá medir su ángulo de flexión. La Figura 8 muestra las diferentes posturas consideradas por el método y pretende orientar al evaluador a la hora de realizar las mediciones necesarias.
En función del ángulo formado por el brazo se obtendrá su puntuación consultando la tabla que se muestra a continuación (Tabla 8).

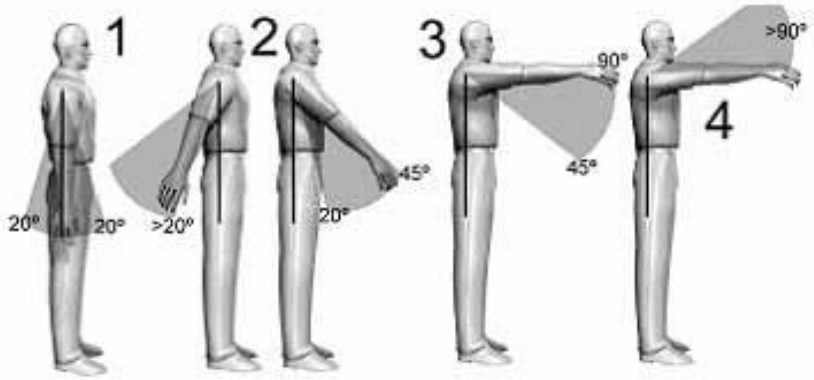


Figura 8. Posiciones del brazo

Puntos	Posición
1	**El brazo está entre 0 y 20 grados de flexión ó 0 y 20 grados de extensión.**
2	**El brazo está entre 21 y 45 grados de flexión o más de 20 grados de extensión.**
3	**El brazo está entre 46 y 90 grados de flexión.**
4	**El brazo está flexionado más de 90 grados.**

Tabla 8. Puntuación del brazo

La puntuación asignada al brazo podrá verse incrementada si el trabajador tiene el brazo abducido o rotado o si el hombro está elevado. Sin embargo, el método considera una circunstancia atenuante del riesgo la existencia de apoyo para el brazo o que adopte una posición a favor de la gravedad, disminuyendo en tales casos la puntuación inicial del brazo. Las condiciones valoradas por el método como

atenuantes o agravantes de la posición del brazo pueden no darse en ciertas posturas, en tal caso el resultado consultado en la Tabla 8 permanecerían sin alteraciones.

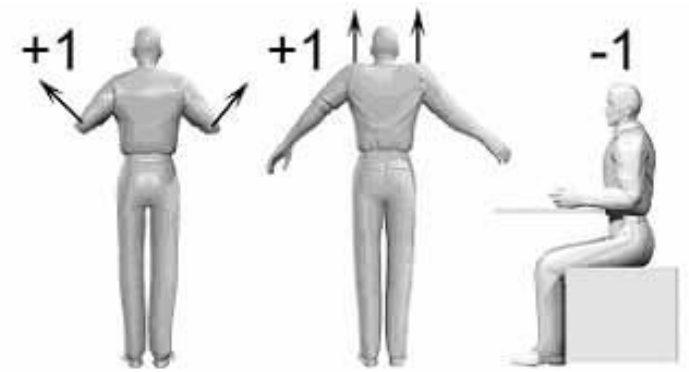


Figura 9. Posiciones que modifican la puntuación del brazo

Puntos	Posición
+1	**El brazo está abducido o rotado.**
+1	**El hombro está elevado.**
-1	**Existe apoyo o postura a favor de la gravedad.**

Tabla 9. Modificaciones sobre la puntuación del brazo

Puntuación del antebrazo

A continuación, será analizada la posición del antebrazo. La consulta de la Tabla 10 proporcionará la puntuación del antebrazo en función su ángulo de flexión, la Figura 10 muestra los ángulos valorados por el método. En este caso el método no añade condiciones adicionales de modificación de la puntuación asignada.

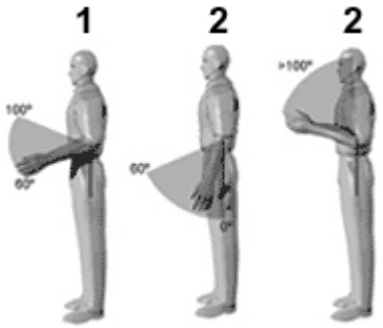


Figura 10. Posiciones del antebrazo

Puntos	Posición
1	**El antebrazo está entre 60 y 100 grados de flexión.**
2	**El antebrazo está flexionado por debajo de 60 grados o por encima de 100 grados.**

Tabla 10. Puntuación del antebrazo

Puntuación de la Muñeca

Para finalizar con la puntuación de los miembros superiores se analizará la posición de la muñeca. La Figura 11 muestra las dos posiciones consideradas por el método. Tras el estudio del ángulo de flexión de la muñeca se procederá a la selección de la puntuación correspondiente consultando los valores proporcionados por la Tabla 11.

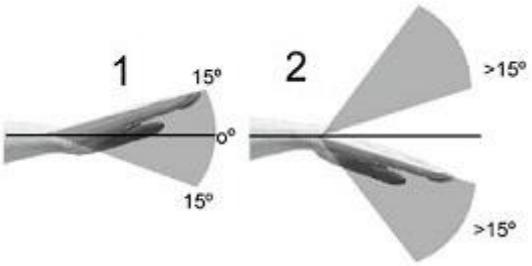


Figura 11. Posiciones de la muñeca

Puntos	Posición
1	**La muñeca está entre 0 y 15 grados de flexión o extensión.**
2	**La muñeca está flexionada o extendida más de 15 grados.**

Tabla 11. Puntuación de la muñeca

El valor calculado para la muñeca se verá incrementado en una unidad si esta presenta torsión o desviación lateral (Figura 12).

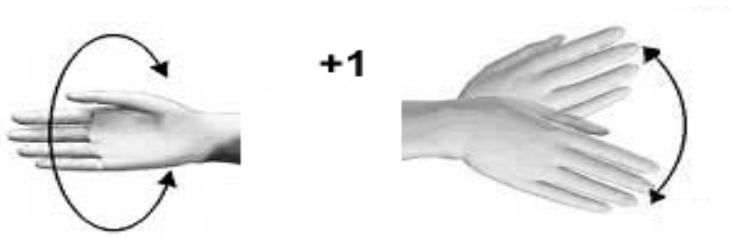


Figura 12. Torsión o desviación de la muñeca

Puntos	Posición
+1	**Existe torsión o desviación lateral de la muñeca.**

Tabla 12. Modificación de la puntuación de la muñeca

Puntuaciones de los grupos A y B.

Las puntuaciones individuales obtenidas para el tronco, el cuello y las piernas (grupo A), permitirá obtener una primera puntuación de dicho grupo mediante la consulta de la tabla mostrada a continuación (Tabla 13).

TABLA A												
Tronco	Cuello											
	1				2				3			
	Piernas				Piernas				Piernas			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	1	2	3	4	1	2	3	4	3	3	5	6
2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

Tabla 13. Puntuación inicial para el grupo A

La puntuación inicial para el grupo B se obtendrá a partir de la puntuación del brazo, el antebrazo y la muñeca consultando la siguiente tabla (Tabla 14).

TABLA B						
Brazo	Antebrazo					
	1			2		
	Muñeca			Muñeca		
	1	2	3	1	2	3
1	1	2	2	1	2	3
2	1	2	3	2	3	4
3	3	4	5	4	5	5
4	4	5	5	5	6	7
5	6	7	8	7	8	8
6	7	8	8	8	9	9

Tabla 14. Puntuación inicial para el grupo B

Puntuación de la carga o fuerza.

La carga o fuerza manejada modificará la puntuación asignada al grupo A (tronco, cuello y piernas), excepto si la carga no supera los 5 Kilogramos de peso, en tal caso no se incrementará la puntuación. La Tabla 15 muestra el incremento a aplicar en función del peso de la carga. Además, si la fuerza se aplica bruscamente se deberá incrementar una unidad. En adelante la puntuación del grupo A, debidamente incrementada por la carga o fuerza, se denominará "Puntuación A".

Puntos	Posición
+0	La carga o fuerza es menor de 5 kg.
+1	La carga o fuerza está entre 5 y 10 Kgs.
+2	La carga o fuerza es mayor de 10 Kgs.

Tabla 15. Puntuación para la carga o fuerzas

Puntos	Posición
+1	**La fuerza se aplica bruscamente.**

Tabla 16. Modificación de la puntuación para la carga o fuerzas

Puntuación del tipo de agarre.

El tipo de agarre aumentará la puntuación del grupo B (brazo, antebrazo y muñeca), excepto en el caso de considerarse que el tipo de agarre es bueno. La Tabla 17 muestra los incrementos a aplicar según el tipo de agarre. En lo sucesivo la puntuación del grupo B modificada por el tipo de agarre se denominará "Puntuación B".

Puntos	Posición
+0	**Agarre Bueno.** **El agarre es bueno y la fuerza de agarre de rango medio**
+1	**Agarre Regular.** **El agarre con la mano es aceptable pero no ideal o el agarre es aceptable utilizando otras partes del cuerpo.**
+2	**Agarre Malo.** **El agarre es posible pero no aceptable.**
+3	**Agarre Inaceptable.** **El agarre es torpe e inseguro, no es posible el agarre manual o el agarre es inaceptable utilizando otras partes del cuerpo.**

Tabla 17. Puntuación del tipo de agarre

Puntuación C

La "Puntuación A" y la "Puntuación B" permitirán obtener una puntuación intermedia denominada "Puntuación C". La siguiente tabla (Tabla 18) muestra los valores para la "Puntuación C".

TABLA C												
Puntuación A	**Puntuación B**											
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Tabla 18. Puntuación C en función de las puntuaciones A y B

Puntuación Final

La puntuación final del método es el resultado de sumar a la "Puntuación C" el incremento debido al tipo de actividad muscular. Los tres tipos de actividad consideradas por el método no son excluyentes y por tanto podrían incrementar el valor de la "Puntuación C" hasta en 3 unidades.

Puntos	Actividad
+1	**Una o más partes del cuerpo permanecen estáticas, por ejemplo soportadas durante más de 1 minuto.**
+1	**Se producen movimientos repetitivos, por ejemplo repetidos más de 4 veces por minuto (excluyendo caminar).**
+1	**Se producen cambios de postura importantes o se adoptan posturas inestables.**

Tabla 19. Puntuación del tipo de actividad muscular

El método clasifica la puntuación final en 5 rangos de valores. A su vez cada rango se corresponde con un Nivel de Acción. Cada Nivel de Acción determina un nivel de riesgo y recomienda una actuación sobre la postura evaluada, señalando en cada caso la urgencia de la intervención. El valor del resultado será mayor cuanto mayor sea el riesgo previsto para la postura, el valor 1 indica un riesgo inapreciable mientras que el valor máximo, 15, establece que se trata de una postura de riesgo muy alto sobre la que se debería actuar de inmediato.

Puntuación Final	Nivel de acción	Nivel de Riesgo	Actuación
1	0	Inapreciable	No es necesaria actuación
2-3	1	Bajo	Puede ser necesaria la actuación.
4-7	2	Medio	Es necesaria la actuación.
8-10	3	Alto	Es necesaria la actuación cuanto antes.
11-15	4	Muy alto	Es necesaria la actuación de inmediato.

Tabla 20. Niveles de actuación según la puntuación final obtenida

El siguiente esquema sintetiza la aplicación del método:

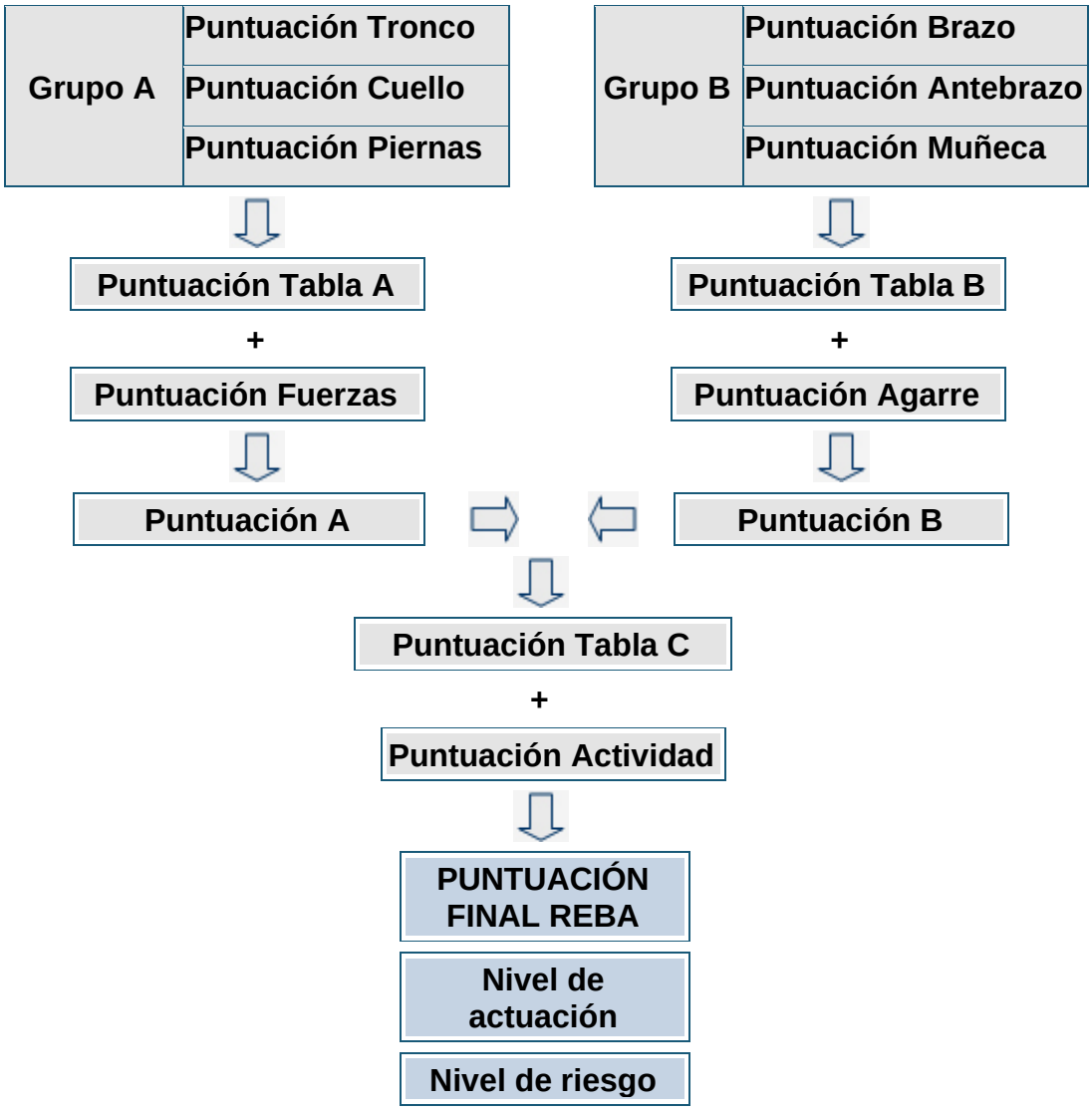


Figura 13. Flujo de obtención de puntuaciones en el método REBA

Cabe recordar que los pasos del método detallados se corresponden con la evaluación de una única postura. Para el análisis de puestos la aplicación del método deberá realizarse para las posturas más representativas [1]. El análisis del conjunto de resultados permitirá al evaluador determinar si el puesto resulta aceptable tal y como se encuentra definido, si es necesario un estudio más profundo para mayor concreción de las acciones a realizar, si es posible mejorar el puesto

con cambios concretos en determinadas posturas o si, finalmente, es necesario plantear el rediseño del puesto.

2.5. REALIDAD AUMENTADA Y FRAMEWORK PARA DISPOSITIVOS MÓVILES

2.5.1. Realidad Aumentada

La Realidad Aumentada o AR es la combinación del mundo real con objetos digitales 3D en tiempo real, visualizada desde un dispositivo móvil como una Tablet o un Smartphone.

La Realidad Aumentada tiene diversas aplicaciones tanto para la educación, la medicina, la publicidad, el entretenimiento, entre otros. Un ejemplo de aplicación de la Realidad Aumentada lo encontramos en el video juego llamado Pokémon Go, el cual consiste en buscar y capturar personajes de la saga Pokémon escondidos en ubicaciones del mundo real, utilizando un Smartphone y su sistema de geolocalización para ir registrando nuestra ubicación en tiempo real y ver si existe algún personaje Pokémon a nuestro alrededor en el mundo real [19].

Figura 14. Juego Pokémon Go (Imagen tomada de [18])

Entre las principales características de la Realidad Aumentada implementada por las tecnologías actuales encontramos:

1- Seguimiento de Imagen (*Image Tracking*): Consiste en reconocer imágenes 2D y rastrearlas mientras se mueven.
2- Seguimiento de Plano (*Plane Tracking*): Consiste en reconocer cualquier superficie plana.
3- Estimación de Iluminación (*Lighting Estimation*): Consiste en reconocer la cantidad de luz que en el entorno real.
4- Seguimiento del Rostro (*Face Tracking*): Consiste en reconocer el rostro humano y sus gestos.
5- Seguimiento del Cuerpo (*Body Tracking*): Consiste en reconocer el cuerpo humano y rastrearlo mientras se mueve.
6- Seguimiento de Objetos 3D (3D *Object Tracking*): Consiste en reconocer Objetos en 3D y rastrearlos mientras se mueven.
7- Oclusión (*Occlusion*): Consiste en mover los objetos virtuales detrás de los objetos reales.
8- Geo-Etiquetado (*Geo-tagging*): Consiste en agregar objetos digitales 3D en ubicaciones reales en un mapa utilizando el GPS del dispositivo móvil como en el juego de Pokémon Go.
9- Mundos Compartidos (*Shared Worlds*): Consiste en compartir la comprensión del entorno real con los objetos en 3D con otros dispositivos, lo que implica que varios usuarios puedan observar los objetos 3D creados en las diferentes ubicaciones por otros dispositivos e interactuar con ellos.
10- Base de datos en la Nube (*Cloud Database*): Consiste en usar la nube para guardar y compartir imágenes u objetos 3D en línea.
11- Localización y Modelado Simultáneo (SLAM): Consiste en mapear el entorno y localizar la ubicación del dispositivo móvil dentro de este en todo momento.

2.5.2. Frameworks de Realidad Aumentada para Dispositivos Móviles

2.5.2.1. ARKit

ARKit es el framework de desarrollo de Realidad Aumentada de Apple para dispositivos móviles (iPhone y iPad) con Sistema Operativo iOS 11 y sus posteriores versiones, lanzado en junio de 2017. Este permite conocer la ubicación del dispositivo móvil dentro del entorno que lo rodea por medio de SLAM (Localización y Modelado Simultáneo), utilizando los sensores y las cámaras del dispositivo móvil para mapear su entorno y calcular la ubicación real dentro de este en todo momento. De esta forma, ya conociendo nuestra ubicación y el entorno que nos rodea (paredes, obstáculos, objetos, etc), podremos ir agregando objetos 3D en este, para de esta forma lograr la Realidad Aumentada deseada [19].

ARKit puede usar las cámaras frontal y posterior simultáneamente para monitorear rostros y el entorno, por lo que se puede interactuar con contenido de Realidad Aumentada en la imagen de la cámara posterior.

Entre las principales características de la Realidad Aumentada de ARKit encontramos: Seguimiento de Imagen (*Image Tracking*), Seguimiento de Plano (*Plane Tracking*), Estimación de Iluminación (*Lighting Estimation*) [20], Seguimiento del Rostro (Face Tracking), Seguimiento del Cuerpo (Body Tracking), Seguimiento de Objetos 3D (3D Object Tracking), Oclusión (Occlusion), Geo Etiquetado (Geo-tagging), Mundos Compartidos (Shared Worlds), Base de datos en la Nube (Cloud Database), Localización y Modelado Simultáneo (SLAM) [21]. Algunos de los Smartphone compatibles son: iPhone XS, iPhone XS Max, iPhone XR.

2.5.2.2. ARCore

ARCore es el framework de desarrollo de Realidad Aumentada de Google para dispositivos móviles con Sistema Operativo Android 7.0 y sus posteriores versiones, lanzado en agosto de 2017. Nace como la respuesta de Google al ARKit de Apple,

para trabajar la Realidad Aumentada con sus dispositivos móviles, aunque realmente, estos tienen más similitudes que diferencias. Ambos son la solución al mismo problema y arrojan resultados muy similares, aunque internamente sean resueltos con diferentes técnicas. ARCore funciona también en dispositivos móviles con Sistema Operativo iOS 11 y sus posteriores versiones, aunque lo que realmente hace es envolver al ARKit en iOS. ARCore también permite conocer la ubicación del dispositivo móvil dentro del entorno que lo rodea por medio de SLAM (Localización y Modelado Simultáneo), ya que está funcionalidad sirve como base para lograr la Realidad Aumentada deseada agregando objetos visuales 3D en el entorno real, utilizando los sensores y las cámaras del dispositivo móvil para mapear su entorno y calcular la ubicación real dentro de este en todo momento [19].

Entre las principales características de la Realidad Aumentada de ARCore encontramos: Seguimiento de Imagen (*Image Tracking*), Seguimiento de Plano (*Plane Tracking*), Estimación de Iluminación (*Lighting Estimation*) [22] [23], Geo-Etiquetado (Geo-tagging), Mundos Compartidos (Shared Worlds), Base de datos en la Nube (Cloud Database), Localización y Modelado Simultáneo (SLAM) [24]. Algunos de los Smartphone compatibles son: LG G8 ThinQ, Huawei P30 Pro, Oppo RX17 Pro, Honor View 20, Samsung Galaxy S10+, Samsung Galaxy S10 5G, Xiaomi Redmi Note 8 Pro, iPhone X, Phone XS, iPhone XS Max, iPhone XR.

2.5.2.3. AR Foundation

AR Foundation es el framework de desarrollo multiplataforma de Realidad Aumentada de Unity (Plataforma de desarrollo 3D) para dispositivos móviles, lanzado en marzo de 2019. Nace por la necesidad de estandarizar el desarrollo de aplicaciones de Realidad Aumentada de ARCore y ARKit en un solo framework, que integre las mejores características de ambos, utilizando la plataforma de desarrollo Unity [25].

Entre las principales características de la Realidad Aumentada de AR Foundation encontramos: Seguimiento de Imagen (*Image Tracking*), Seguimiento de Plano (*Plane Tracking*), Estimación de Iluminación (*Lighting Estimation*), Seguimiento del Rostro (*Face Tracking*), Seguimiento del Cuerpo (*Body Tracking*), Seguimiento de Objetos 3D (3D *Object Tracking*), Oclusión (*Occlusion*), Geo Etiquetado (*Geo-tagging*), Mundos Compartidos (*Shared Worlds*), Base de datos en la Nube (*Cloud Database*), Localización y Modelado Simultáneo (SLAM) [26].

Cabe destacar que las características de AR Foundation compatibles con los dispositivos móviles con Sistema Operativo iOS son las mismas de ARKit y las características de AR Foundation compatibles con los dispositivos móviles con Sistema Operativo Android son las mismas de ARCore. Algunos de los Smartphone compatibles son: LG G8 ThinQ, Huawei P30 Pro, Oppo RX17 Pro, Honor View 20, Samsung Galaxy S10+, Samsung Galaxy S10 5G, Xiaomi Redmi Note 8 Pro, iPhone X, Phone XS, iPhone XS Max, iPhone XR.

2.5.2.4. Vuforia Engine

Vuforia Engine es el framework de desarrollo de Realidad Aumentada de Vuforia (Plataforma de desarrollo de Realidad Aumentada Empresarial) [27] para dispositivos móviles con Sistema Operativo iOS, Android y Windows 10 (UWP – Plataforma Universal de Windows), lanzado en noviembre de 2017. Este incorpora algunas de las mejores características de Realidad Aumentada de ARCore y ARKit en un solo framework, utilizando la plataforma de desarrollo Vuforia y Unity [28].

Entre las principales características de la Realidad Aumentada de Vuforia Engine encontramos: Seguimiento de Imagen (*Image Tracking*), Seguimiento de Plano (*Plane Tracking*), Seguimiento de Objetos 3D (3D Object Tracking), Base de datos en la Nube (*Cloud Database*), Localización y Modelado Simultáneo (SLAM). Algunos de los Smartphone compatibles son: LG G8 ThinQ, Huawei P30 Pro, Oppo

RX17 Pro, Honor View 20, Samsung Galaxy S10+, Samsung Galaxy S10 5G, Xiaomi Redmi Note 8 Pro, iPhone X, Phone XS, iPhone XS Max, iPhone XR.

2.5.2.5. AR Engine

AR Engine es el framework de desarrollo de Realidad Aumentada de Huawei para dispositivos móviles con Sistema Operativo Android 7.0 y sus posteriores versiones, lanzado en agosto de 2019. AR Engine también permite conocer la ubicación del dispositivo móvil dentro del entorno que lo rodea por medio de SLAM (Localización y Modelado Simultáneo), ya que está funcionalidad sirve como base para lograr la Realidad Aumentada deseada agregando objetos visuales 3D en el entorno real, utilizando los sensores y las cámaras del dispositivo móvil para mapear su entorno y calcular la ubicación real dentro de este en todo momento.

Entre las principales características de la Realidad Aumentada de AR Engine encontramos: Seguimiento de Imagen (*Image Tracking*), Seguimiento de Plano (*Plane Tracking*), Estimación de Iluminación (*Lighting Estimation*), Seguimiento del Rostro (*Face Tracking*), Seguimiento del Cuerpo (*Body Tracking*), Seguimiento de Objetos 3D (3D *Object Tracking*), Oclusión (*Occlusion*), Localización y Modelado Simultáneo (SLAM) [29]. Algunos de los Smartphone compatibles son: Huawei P30 Pro, Honor View 20.

2.5.3. Comparación de Características de los Framework de Realidad Aumentada para Dispositivos Móviles

A continuación, se realiza un comparativo entre los diferentes Framework de Realidad Aumentada para dispositivos móviles y las principales características de la Realidad Aumentada implementada por las tecnologías actuales.

Características/ **Framework**	**ARKit** [21]	**ARCore** [24]	**AR Foundation** [25]	**Vuforia Engine** [28]	**AR Engine** [29]
Seguimiento de Imagen	X	X	X	X	X
Seguimiento de Plano	X	X	X	X	X
Estimación de Iluminación	X	X	X		X
Seguimiento del Rostro	X		X		X
Seguimiento del Cuerpo	X		X		X
Seguimiento de Objetos 3D	X		X	X	X
Oclusión	X		X		X
Geo-Etiquetado	X	X	X		
Mundos Compartidos	X	X	X		
Base de datos en la Nube	X	X	X	X	
Localización y Modelado Simultáneo	X	X	X	X	X

Tabla 21. Comparativo Framework de Realidad Aumentada Dispositivos Móviles

Teniendo en cuenta que la principal característica que debe ser soportada por los diferentes Frameworks de Realidad Aumentada para dispositivos móviles para el desarrollo del Marco de trabajo es “Seguimiento del Cuerpo”, entonces los Frameworks que se pueden utilizar son: ARKit de Apple, AR Foundation de Unity y AR Engine de Huawei. En el caso del Framework AR Foundation de Unity, se debe tener en cuenta que la característica de Realidad Aumentada llamada “Seguimiento del Cuerpo”, sólo es compatible para los dispositivos móviles con Sistema Operativo iOS 11 y posteriores versiones.

2.6. SMARTPHONE Y TECNOLOGÍA TOF

2.6.1. Cámara TOF (*Time of Flight*)

El 21 de septiembre de 2016, la empresa SoftKinetic, conocida mundialmente por ser el principal proveedor de soluciones de reconocimiento de gestos y visión 3D,

anunció el lanzamiento de DepthSense 541, la Cámara TOF (*Time-of-Flight*) más pequeña del mundo, creada especialmente para dispositivos móviles [30] [31].

Figura 15. DepthSense 541(Imagen tomada de *[30]*)

Figura 16. DepthSense 541 (Imagen tomada de *[31]*)

Una cámara con tecnología TOF o cámara de tiempo de vuelo cuenta con un sensor que emite haces de luz infrarroja para medir la profundidad, calculando el tiempo que tarda la luz en salir, golpear al sujeto y llegar de nuevo al sensor. Una cámara TOF puede analizar la profundidad de cada elemento de la imagen [32]. Como su nombre lo indica, el sensor trabaja analizando el tiempo de vuelo, que varía dependiendo de la distancia a la que estén los objetos. Así, un elemento que está más lejos tardará más en recibir y rebotar la luz que uno que está más cerca. Analizando esa información de llegada de la luz, la cámara TOF puede concretar a qué profundidad se encuentra cada uno de ellos [10].

La Cámara TOF se encuentra actualmente en varios dispositivos móviles con Sistema Operativo Android: LG G8 ThinQ, Huawei P30 Pro, Oppo RX17 Pro, Honor View 20, Samsung Galaxy S10+, Samsung Galaxy S10 5G, Xiaomi Redmi Note 8 Pro.

2.6.2. Smartphone

Un “Smartphone” (teléfono inteligente en español) es un dispositivo electrónico que funciona como un teléfono móvil con características similares a las de un ordenador personal. Los teléfonos inteligentes permiten la instalación de programas para incrementar el procesamiento de datos y la conectividad, poseen pantallas táctiles y Sistema Operativo, así como conectividad a Internet y acceso al correo electrónico [13]. Otras aplicaciones que suelen estar presentes son las cámaras integradas, la administración de contactos, el software multimedia para reproducción de música y visualización de fotos y videoclips y algunos programas de navegación, así como la habilidad de leer documentos de negocios en variedad de formatos como PDF y Microsoft Office. El Sistema Operativo Android proporciona todas las interfaces necesarias para desarrollar aplicaciones que accedan a las funciones del teléfono (como las llamadas, los contactos, la calculadora, el GPS, etc.) de una forma muy sencilla, lo cual facilita la creación de una gran cantidad de aplicaciones que extienden la experiencia del usuario.

2.6.2.1. LG G8 ThinQ

Es un Smartphone de la serie G de LG lanzado en febrero de 2019, dotado con la inteligencia artificial ThinQ de LG y conectividad 4G. El LG G8 ThinQ cuenta con una pantalla OLED con resolución FullHD+ (2248 x 1080) de 6.1 pulgadas, Sistema Operativo Android 9.0 Pie, un procesador Snapdragon 855 con 6 GB de memoria RAM y 128 GB de almacenamiento, una cámara posterior triple de 12 MP (Angular estándar) + 13 MP (Súper gran angular) + 12 MP (Teleobjetivo) con estabilización óptica de imagen y una cámara frontal de 8 MP (Gran angular) más un sensor de

profundidad TOF (*Time-of-Flight*) llamado Cámara Z, el cual permite reconocer el espacio tridimensional y calcula la distancia/profundidad al medir el tiempo que tarda la luz infrarroja en reflejarse en el sujeto [33].

El LG G8 ThinQ utiliza el sensor TOF para realizar el reconocimiento facial 3D y el reconocimiento de las venas de la palma de la mano 3D (*Hand ID*) para realizar el desbloqueo del *Smarphone,* reconocer gestos realizados con las manos (*Air Motion*)*,* además de ayudar a mejorar la captura de las imágenes de la cámara frontal por medio del cálculo de la distancia/profundidad de los objetos de la imagen, mejorando así el enfoque y desenfoque de estos. Su precio ronda los $ 3’000.000.

2.6.2.2. Huawei P30 Pro

Es un Smartphone de la serie P de Huawei lanzado en marzo de 2019, dotado con la inteligencia artificial IA de Huawei y conectividad 4G. El Huawei P30 Pro cuenta con una pantalla OLED curvado con resolución FullHD+ (2340 x 1080) de 6.47 pulgadas, Sistema Operativo Android 9.0 Pie + EMUI 9.1, un procesador Kirin 980 con 8 GB de memoria RAM y 128, 256 o 512 GB de almacenamiento, una cámara frontal de 32 MP y una cámara posterior cuádruple Leica de 40 MP (Objetivo gran angular) + 20 MP (Objetivo ultra gran angular) + 8 MP (Teleobjetivo) con estabilización óptica de imagen OIS de Huawei, más un sensor de profundidad TOF (*Time-of-Flight*), el cual permite reconocer el espacio tridimensional y calcula la distancia/profundidad al medir el tiempo que tarda la luz infrarroja en reflejarse en el sujeto [34].

El Huawei P30 Pro utiliza el sensor TOF para ayudar a mejorar la captura de las imágenes de la cámara posterior por medio del cálculo de la distancia/profundidad de los objetos de la imagen, mejorando así el enfoque y desenfoque de estos, trabajando en conjunto con la IA de Huawei. Su precio ronda los $ 2’800.000.

2.6.2.3. Oppo RX17 Pro

Es un Smartphone de la serie RX de Oppo lanzado en agosto de 2018, dotado con la inteligencia artificial IA de Oppo y conectividad 4G. El Oppo RX17 Pro cuenta con una pantalla AMOLED con resolución FullHD+ (2340 x 1080) de 6.4 pulgadas, Sistema Operativo ColorOS 5.2 basado en Android 8.1 Oreo, un procesador Snapdragon 710 con 6 GB de memoria RAM y 128 GB de almacenamiento, una cámara frontal de 25 MP y una cámara posterior triple de 12 MP (Angular estándar) + 20 MP (Teleobjetivo) con estabilización óptica de imagen OIS de Oppo, más un sensor de profundidad TOF (*Time-of-Flight*), el cual permite reconocer el espacio tridimensional y calcula la distancia/profundidad al medir el tiempo que tarda la luz infrarroja en reflejarse en el sujeto [35].

El Oppo RX17 Pro utiliza el sensor TOF para ayudar a mejorar la captura de las imágenes de la cámara posterior por medio del cálculo de la distancia/profundidad de los objetos de la imagen, mejorando así el enfoque y desenfoque de estos, trabajando en conjunto con la IA de Oppo. Su precio ronda los $ 2’500.000.

2.6.2.4. Honor View 20

Es un Smartphone de la serie V de la sub-marca Honor de Huawei lanzado en diciembre de 2018, dotado con la inteligencia artificial IA de Honor y conectividad 4G. El Honor View 20 cuenta con una pantalla AMOLED con resolución FullHD+ (2310 x 1080) de 6.4 pulgadas, Sistema Operativo Android 9.0 Pie + Magic UI 2.0.1, un procesador Kirin 980 con 6 o 8 GB de memoria RAM y 128 o 256 GB de almacenamiento, una cámara frontal de 25 MP con estabilización de imagen artificial (AIS) y una cámara posterior dual de 48 MP más un sensor de profundidad TOF (*Time-of-Flight*), el cual permite reconocer el espacio tridimensional y calcula la distancia/profundidad al medir el tiempo que tarda la luz infrarroja en reflejarse en el sujeto [36].

El Honor View 20 utiliza el sensor TOF para ayudar a mejorar la captura de las imágenes de la cámara posterior por medio del cálculo de la distancia/profundidad de los objetos de la imagen, mejorando así el enfoque y desenfoque de estos, trabajando en conjunto con la IA de Honor. Su precio ronda los $ 2’300.000.

2.6.2.5. Samsung Galaxy S10+

Es un Smartphone de la serie S de Samsung lanzado en febrero de 2019, dotado con la inteligencia artificial Bixby de Samsung y conectividad 4G. El Samsung Galaxy S10+ cuenta con una pantalla Dynamic AMOLED curvado con resolución QHD+ (3040 x 1440) de 6.4 pulgadas, Sistema Operativo Android 9.0 Pie + One UI, un procesador Exynos 9820 con 8 o 12 GB de memoria RAM y 128, 512 GB o 1 TB de almacenamiento, una cámara posterior triple de 16 MP (Súper gran angular) + 12 MP (Gran angular) + 12 MP (Teleobjetivo) con estabilizador óptico de imagen y una cámara frontal dual de 10 MP (Cámara Selfie) más un sensor de profundidad TOF (*Time-of-Flight*), el cual permite reconocer el espacio tridimensional y calcula la distancia/profundidad al medir el tiempo que tarda la luz infrarroja en reflejarse en el sujeto [37].

El Samsung Galaxy S10+ utiliza el sensor TOF para realizar el reconocimiento facial 3D para el desbloqueo del *Smarphone*, para la aplicación de los filtros de realidad aumentada y para ayudar a mejorar la captura de las imágenes de la cámara frontal por medio del cálculo de la distancia/profundidad de los objetos de la imagen, mejorando así el enfoque y desenfoque de estos, trabajando en conjunto con la IA de Samsung. Su precio ronda los $ 3’000.000.

2.6.2.6. Samsung Galaxy S10 5G

Es un Smartphone de la serie S de Samsung lanzado en abril de 2019, dotado con la inteligencia artificial Bixby de Samsung y conectividad 5G. El Samsung Galaxy S10 5G cuenta con una pantalla Dynamic AMOLED curvado con resolución QHD+ (3040 x 1440) de 6.7 pulgadas, Sistema Operativo Android 9.0 Pie + One UI, un

procesador Exynos 9820 con 8 GB de memoria RAM y 256 o 512 GB de almacenamiento, una cámara posterior cuádruple de 16 MP (Súper gran angular) + 12 MP (Gran angular) + 12 MP (Teleobjetivo) con estabilizador óptico de imagen más un sensor de profundidad TOF (*Time-of-Flight*) y una cámara frontal dual de 10 MP (Cámara Selfie) más un sensor de profundidad TOF (*Time-of-Flight*), el cual permite reconocer el espacio tridimensional y calcula la distancia/profundidad al medir el tiempo que tarda la luz infrarroja en reflejarse en el sujeto [38].

El Samsung Galaxy S10 5G utiliza el sensor TOF para realizar el reconocimiento facial 3D para el desbloqueo del *Smarphone*, para la aplicación de los filtros de realidad aumentada y para ayudar a mejorar la captura de las imágenes de la cámara frontal y la cámara posterior por medio del cálculo de la distancia/profundidad de los objetos de la imagen, mejorando así el enfoque y desenfoque de estos, trabajando en conjunto con la IA de Samsung. Su precio ronda los $ 4’800.000.

2.6.2.7. Xiaomi Redmi Note 8 Pro

Es un Smartphone de la serie Redmi Note de Xiaomi lanzado en septiembre de 2019, dotado con la inteligencia artificial de Xiaomi y conectividad 4G. El Xiaomi Redmi Note 8 Pro cuenta con una pantalla IPS con resolución FullHD+ (2340 x 1080) de 6.53 pulgadas, Sistema Operativo Android 9.0 Pie + MIUI 10, un procesador Mediatek Helio G90T con 6 o 8 GB de memoria RAM y 64 o 128 GB de almacenamiento, una cámara frontal dual de 20 MP (Cámara Selfie) y una cámara posterior cuádruple de 64 MP (Ultra alta resolución) + 8 MP (Ultra Gran angular) + 2 MP (Lente ultra macro) con estabilizador óptico de imagen más un sensor de profundidad TOF (*Time-of-Flight*), el cual permite reconocer el espacio tridimensional y calcula la distancia/profundidad al medir el tiempo que tarda la luz infrarroja en reflejarse en el sujeto [39].

El Xiaomi Redmi Note 8 Pro utiliza el sensor TOF para ayudar a mejorar la captura de las imágenes de la cámara posterior por medio del cálculo de la distancia/profundidad de los objetos de la imagen, mejorando así el enfoque y desenfoque de estos, trabajando en conjunto con la IA de Xiaomi. Su precio ronda los $ 900.000.

2.6.2.8. iPhone XS

Es un Smartphone de la serie X de Apple lanzado en septiembre de 2018, dotado con la inteligencia artificial Siri de Apple y conectividad 4G. El iPhone XS cuenta con una pantalla Super Retina OLED con resolución HD (2436 x 1125) de 5.8 pulgadas, Sistema Operativo iOS 12, un procesador A12 Bionic de Apple con un Motor Neural que permite controlar la profundidad de campo del efecto bokeh y mejorar considerablemente la Realidad Aumentada, viene con 4 GB de memoria RAM y 64, 256 o 512 GB de almacenamiento, una cámara posterior dual de 12 MP (Gran angular) + 12 MP (Teleobjetivo) con estabilizador óptico de imagen y control de profundidad, una cámara frontal de 7 MP (Cámara Selfie) con estabilizador óptico de imagen y control de profundidad + el sistema de cámara TrueDepth, que está conformado por una cámara de infrarrojos, un iluminador de infrarrojos y un proyector de puntos, el cual utiliza tecnología de detección de profundidad para realizar el reconocimiento facial 3D (Face ID) [40].

El iPhone XS utiliza la cámara TrueDepth para ayudar a mejorar la captura de las imágenes de la cámara frontal por medio del cálculo de la distancia/profundidad de los objetos de la imagen, mejorando así el enfoque y desenfoque de estos, trabajando en conjunto con la IA de Apple. Su precio ronda los $ 4’300.000.

2.6.3. Comparación de Características de los Smartphone

A continuación, se realiza un comparativo entre los diferentes Smartphone seleccionados como mecanismo de captura de imágenes y sus principales características entorno al desarrollo del Marco de trabajo.

Smartphone/ ***Características***	***Sistema Operativo***	***Tipo de Sensor de profundidad***	***Ubicación del Sensor de Profundidad***	***Framework de Realidad Aumentada***	***Precio ($)***
LG G8 ThinQ [33]	Android 9.0 Pie	TOF	Cámara Frontal	ARCore, AR Foundation	3’000.000
Huawei P30 Pro [34]	Android 9.0 Pie	TOF	Cámara Posterior	ARCore, AR Foundation, AR Engine	2’800.000
Oppo RX17 Pro [35]	Android 8.1 Oreo	TOF	Cámara Posterior	ARCore, AR Foundation	2’500.000
Honor View 20 [36]	Android 9.0 Pie	TOF	Cámara Posterior	ARCore, AR Foundation, AR Engine	2’300.000
Samsung Galaxy S10+ [37]	Android 9.0 Pie	TOF	Cámara Frontal	ARCore, AR Foundation	3’000.000
Samsung Galaxy S10 5G [38]	Android 9.0 Pie	TOF	Cámara Frontal y Cámara Posterior	ARCore, AR Foundation	4’800.000
Xiaomi Redmi Note 8 Pro [39]	Android 9.0 Pie	TOF	Cámara Posterior	ARCore, AR Foundation	900.000
iPhone XS [40]	iOS 12	DepthTrue	Cámara Frontal	ARKit, ARCore, AR Foundation	4’300.000

Tabla 22. Comparativo Smartphone

Se determina que existen muchas similitudes entre los Smartphone investigados, pero hay factores determinantes a tener en cuenta, para poder seleccionar el Smartphone que servirá como mecanismo de captura de imágenes para aplicar el marco de trabajo, como lo son: La versión del Sistema Operativo, el sensor de profundidad que debe de estar integrado en la cámara posterior y la compatibilidad con uno de los Frameworks de desarrollo de Realidad Aumentada seleccionados como base de desarrollo del Marco de trabajo (ARKit, AR Foundation y AR Engine). Dado esto se determinan los Smartphone Huawei P30 Pro y Honor View 20 como los candidatos perfectos para la aplicación del marco de trabajo.

CAPÍTULO 3

Revisión de Literatura

3.1. PROCESO DE REVISIÓN

La revisión de literatura se realizó siguiendo un proceso de revisión sistemática de literatura adaptado de Kitchenham [41], a partir de las siguientes cadenas de búsqueda sobre un grupo de bases de datos:

Cadenas de búsqueda:

a. Análisis Ergonómico
b. *Ergonomic Assessment*
c. Enfermedad laboral
d. *Time-of-Flight Camera*

Bases de datos seleccionadas:

- IEEE Xplore
- Science Direct
- Scopus

Selección de Resultados:

La síntesis de resultados del proceso de revisión en las bases de datos seleccionadas se presenta en la siguiente tabla:

Cadena	IEEE Xplore	Science Direct	Scopus
a	0	112	46
b	95	7240	7811
c	0	10753	908
d	809	31672	10066

Tabla 23. Resultados Cadenas de Búsqueda

En la siguiente tabla se presenta la síntesis de trabajos priorizados o seleccionados a partir de la tabla anterior:

Cadena	IEEE Xplore	Science Direct	Scopus
a	0	23	9
b	32	261	445
c	0	155	123
d	127	44	489

Tabla 24. Síntesis Cadenas de Búsqueda

De todos los trabajos analizados, se priorizaron los siguientes estudios presentados en la Tabla 26, de acuerdo con los siguientes criterios asociados al propósito y alcance del proyecto de tesis:

Criterio	Valoración (%)
Análisis ergonómico propuesto en términos de método, proceso, estrategia, metodología, modelo	20
Especificación de herramientas y tecnologías aplicadas para realizar un análisis ergonómico automático o semiautomático.	30
Framework de realidad aumentada empleado para desarrollar el proyecto.	50

Tabla 25. Criterios Selección Artículos

N°	Título Artículo	Año	Autores
1	Evaluación postural mediante el método REBA	2015	Diego Mas, Jose Antonio
2	La importancia de la ergonomía para los profesionales de la salud	2003	Elías Apud, Felipe Meyer
3	Real time RULA assessment using Kinect v2 sensor	2017	Vito Modesto Manghisi, Antonio Emmanuele Uva, Michele Fiorentino, Vitoantonio Bevilacqua, Gianpaolo Francesco Trotta, Giuseppe Monno
4	Evaluación ergonómica de puestos de trabajo mediante la técnica rapid entire body assessment	2018	Rita Calderón, Julián Henríquez, Verónica Henríquez, Eloisa Mendoza, Maritza De Moreno

5	Perfil de salud laboral en Colombia a partir del análisis y caracterización de la enfermedad laboral reportada en el Sistema General de Riesgos Laborales. Periodo 2004 – 2014	2018	Yomary Liliana Vargas Chávez
6	Validation of an ergonomic assessment method using Kinect data in real workplace conditions	2017	Pierre Plantard, Hubert P.H. Shum, Anne Sophie Le Pierres, Franck Multon
7	Development of a System for a Real Time Ergonomic Assessment.	2017	Vivian K. Bellmann, Sebastian Brede, Peter Nyhuis, Sarah Majid Ansari
8	Recent Advances in 3D Data Acquisition and Processing by Time-of-Flight Camera	2019	Yu He, Shengyong Chen
9	A kinect-based workplace postural analysis system using deep residual networks	2017	Ahmed Abobakr, Darius Nahavandi, Julie Iskander, Mohammed Hossny, Saeid Nahavandi, Marty Smets
10	Software para el Análisis Ergonómico Basado en Imágenes de Personas en su Puesto de Trabajo	2014	Acevedo Arenas Diego León
11	Evaluación Ergonómica en Tiempo Real Mediante Sensores de Profundidad de Bajo Coste (Kinect)	2014	Herreros Pinilla Moisés
12	Metodología para el Diseño e Implementación de un Sistema de Evaluación Ergonómica en tiempo real	2018	Graciela Rodríguez, Ulises Zaldívar, Xiomara Zaldívar

Tabla 26. Estudios Priorizados

3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se presenta el análisis de los estudios primarios identificados, enmarcados en dos categorías: Técnicas y procesos de análisis ergonómico y análisis ergonómico con sensor de profundidad.

3.2.1. Técnicas y Procesos de Análisis Ergonómico

Se identifican diversos artículos relacionados con el análisis ergonómico y las diferentes metodologías que se usan actualmente para realizar estos estudios, así como las enfermedades que se pueden generar debido a las malas posturas adoptadas por los trabajadores.

Mas y Antonio [1] presentan la evaluación postural mediante el método REBA. Identifican aspectos muy interesantes como los pasos para realizar una evaluación ergonómica utilizando este método. El proceso planteado puede ser muy útil ya que este permite evaluar la totalidad de las extremidades del cuerpo conjuntamente, las fuerzas que se ejercen sobre éste, así como también el agarre y la actividad muscular que el cuerpo realiza.

Apud y Meyer [2] presentan la importancia de la ergonomía para los profesionales de la salud. Identifican aspectos interesantes a tener en cuenta sobre cómo puede influir la ergonomía en la salud de los trabajadores. La información suministrada puede ser útil para identificar las posibles dolencias que pueden desarrollar los trabajadores.

Calderón, Henríquez, Henríquez, Mendoza y De Moreno [4] presentan la evaluación ergonómica de puestos de trabajo mediante la técnica *Rapid Entire Body Assessment*. Identifican los pasos para realizar la evaluación ergonómica utilizando este método, algunos desordenes de tipo músculo-esquelético y cómo afectan los mismos en la salud del trabajador. El proceso planteado es útil ya que me muestra un ejemplo de aplicación del método REBA con un caso real.

Vargas Chávez [5] presenta el perfil de salud laboral en Colombia a partir del análisis y caracterización de la enfermedad laboral reportada en el Sistema General de Riesgos Laborales. Identifican aspectos muy interesantes con respecto a enfermedades laborales en Colombia en el periodo 2004 – 2014 y como éstas van

en aumento debido a la falta de mejoras en las políticas de salud pública. Esta investigación ha servido como punto de partida para justificar propuestas como esta, orientadas hacia realizar aproximaciones que aporten a disminuir este tipo de enfermedades.

He y Chen [10] presentan los avances recientes en la adquisición y procesamiento de datos 3D por cámara de TOF. Identifican aspectos interesantes como son la adquisición de imágenes en 3D. El proceso propuesto es relevante para definir los pasos para el uso de este tipo de dispositivos, que viene integrado en los celulares de alta gama como el Samsung Galaxy S10+ y el Huawei P30 Pro.

3.2.2. Análisis Ergonómico con Sensor de Profundidad

Se identifican diversos artículos relacionados con el análisis ergonómico por medio de un sensor de profundidad empleando una metodología de análisis ergonómico. Las metodologías consisten en capturar imágenes de la persona en su puesto de trabajo durante un tiempo prolongado con la ayuda del sensor de profundidad, conectado a un equipo de cómputo para realizar el análisis y procesamiento de los datos, que dará como resultado el análisis ergonómico de las posturas adoptadas por la persona en su puesto de trabajo.

Rodriguez, Zaldívar U. y Zaldívar X. [12] presentan la metodología para el diseño e implementación de un sistema de evaluación ergonómica en tiempo real. Identifica aspectos muy interesantes para realizar la evaluación ergonómica con el método REBA. El proceso planteado emplea tres sensores Kinect para evaluar los miembros superiores del cuerpo humano (lateral izquierdo, lateral derecho y frontal), 6 sensores inerciales (pierna, pantorrilla y pie) para evaluar los miembros inferiores del cuerpo humano y la integración de estos datos para poder realizar el análisis ergonómico.

Manghisi, Uva, Fiorentino, Bevilacqua, Trotta y Monno [3] presentan la evaluación RULA en tiempo real usando el sensor Kinect v2. Identifican aspectos muy interesantes para realizar la evaluación ergonómica con este método. El proceso planteado sirve de guía de referencia, dado que muestra un ejemplo de aplicación del método RULA por medio de un software utilizando el sensor de profundidad Kinect V2 con un caso real.

Plantard, Shum, Le Pierres y Multon [6] presentan la validación de un método de evaluación ergonómica utilizando datos de Kinect en condiciones reales de trabajo. El análisis de los resultados obtenidos demuestra solidez en la aplicación del proceso siguiendo el método RULA por medio de un software utilizando el sensor de profundidad.

Bellmann, Brede, Nyhuis y Ansari [9] presentan el desarrollo de un sistema para una evaluación ergonómica en tiempo real. Identifican aspectos interesantes como los déficits identificados de los sistemas existentes y presenta un enfoque para desarrollar un sistema para captura automatizada basada en cámara, análisis y evaluación de secuencias de movimiento, combinado con una derivación integrada de medidas y posibilidades de mejora. La información puede ser muy útil para evitar cometer los mismos errores en los sistemas existentes.

Abobakr, Nahavandi, Iskander, Hossny, Nahavandi y Smets [11] presentan un sistema de análisis postural del lugar de trabajo basado en Kinect que utiliza redes residuales profundas. Identifican aspectos muy interesantes como la utilización de un modelo de red neuronal para predecir los ángulos articulares del cuerpo a partir de una sola imagen de profundidad. El proceso planteado puede ser muy útil ya que los ángulos articulares estimados son esenciales para poder realizar el análisis ergonómico a partir de las métricas de evaluación ergonómica.

Acevedo Arenas [7] presenta un software para el análisis ergonómico basado en imágenes de personas en su puesto de trabajo. Identifica aspectos muy interesantes para realizar la evaluación ergonómica con el método REBA. El proceso planteado sirve de guía de referencia, dado que muestra un ejemplo de aplicación del método REBA por medio de un software utilizando el sensor de profundidad Kinect con un caso real.

Herreros Pinilla [8] presenta la evaluación ergonómica en tiempo real mediante sensores de profundidad de bajo coste (Kinect). Identifica aspectos interesantes para realizar la evaluación ergonómica con el método RULA. El proceso planteado sirve de guía de referencia, dado que muestra un ejemplo de aplicación del método RULA por medio de un software utilizando el sensor de profundidad Kinect con un caso real.

3.2.3. Comparación de Análisis Ergonómico con Sensor de Profundidad

A continuación, se realiza un comparativo entre los diferentes trabajos de Análisis Ergonómico empleando tecnologías de captura de datos.

Trabajo/ Caracte-rísticas	**Metodología de Análisis Ergonómico**	**Tecnología de Captura de datos**	**Framework Realidad Aumentada**	**Observaciones Resultados Experimentales**
2018 [12]	REBA	3 sensores Kinect y 6 sensores inerciales	Kinect SDK	Emplea 3 sensores Kinect para evaluar los miembros superiores, 6 sensores inerciales para evaluar los miembros inferiores y la integración de estos datos para poder realizar el análisis ergonómico, todo esto para mejorar la eficiencia en la captura de los datos.
2017 [3]	RULA	Kinect V2	Kinect SDK	Realizan 3 experimentos comparativos de los resultados obtenidos de su software (K2RULA) con Kinect V2 con los resultados obtenidos por otro software con Kinect V1, con un sistema óptico de captura de movimiento y con un experto evaluador en RULA, para evidenciar la eficacia de su software.
2017 [6]	RULA	Kinect	Kinect SDK	Realizan la captura de los datos proporcionados por el Kinect para ser corregidos por medio de la comparación con los datos proporcionados por

				expertos evaluadores en RULA, esto con el fin de mejorar la eficacia de estos y evitar la oclusión que se puede llegar a presentar con el Kinect.
2017 [9]	OWAS, RULA	Cámara 3D		Presentan un enfoque para desarrollar un sistema de captura de datos automatizado basado en una cámara 3D, que realiza el análisis y la evaluación de las secuencias de movimiento, combinado con una derivación integrada de medidas y posibilidades de mejora sobre el puesto de trabajo.
2017 [11]	RULA	Kinect, Marcador MoCap, Imagen profundidad coloreada	Kinect SDK, ResNet	Utilizan una red neuronal residual (ResNet) para predecir los ángulos de las articulaciones del cuerpo humano por medio de imágenes 3D y luego poder aplicarle el método RULA.
2014 [7]	REBA	Kinect	Kinect SDK	Presenta un software de análisis ergonómico utilizando REBA para evaluar los datos capturados en tiempo real por medio del sensor Kinect V1.
2014 [8]	RULA	Kinect	Kinect SDK	Presenta un software de análisis ergonómico utilizando RULA para evaluar los datos capturados en tiempo real por medio del sensor Kinect V1.

Tabla 27. Comparativo Estudios de Análisis Ergonómico con Sensor de Profundidad

Según el cuadro comparativo anterior se concluye que existen diversos trabajos de investigación para realizar los análisis ergonómicos utilizando sensores de profundidad como el Kinect y diferentes metodologías de análisis ergonómico, pero hasta el momento ninguna investigación muestra la realización de estos análisis ergonómicos utilizando sensores de profundidad integrados a un dispositivo móvil.

PARTE III
FORMULACIÓN

"Lo que sabemos es una gota de agua; lo que ignoramos es el océano." – Isaac Newton

CAPÍTULO 4

Marco de Trabajo

4.1. MARCO GENERAL

A continuación, se presenta el Marco de Trabajo para Implementar un Sistema de Análisis Ergonómico en Tiempo Real desde Dispositivos Móviles (Framework ErgoSystem) de forma General donde se evidencian las diferentes etapas y los componentes de cada una.

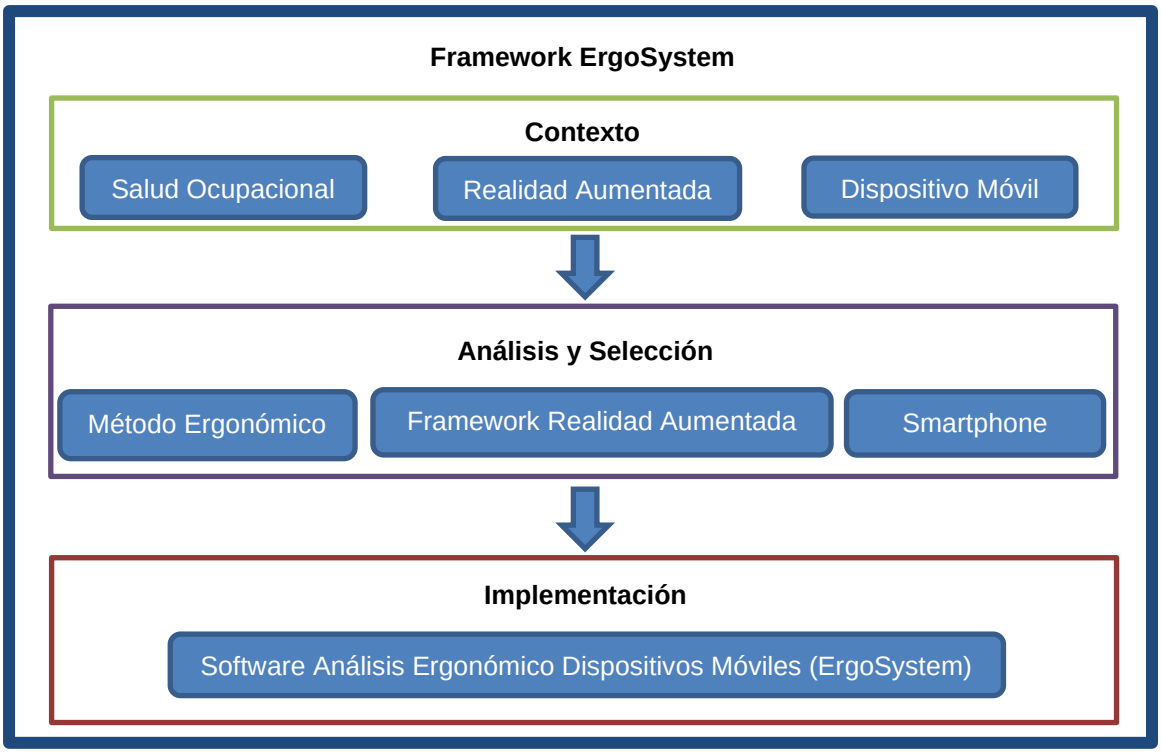


Figura 17. Marco de Trabajo

4.2. MARCO DETALLADO

A continuación, se presentan las diferentes etapas del Marco de Trabajo para Implementar un Sistema de Análisis Ergonómico en Tiempo Real desde Dispositivos Móviles (Framework ErgoSystem) de forma Detallada donde se evidencian las diferentes etapas, los componentes de cada etapa, su composición y descripción.

4.2.1. Contexto

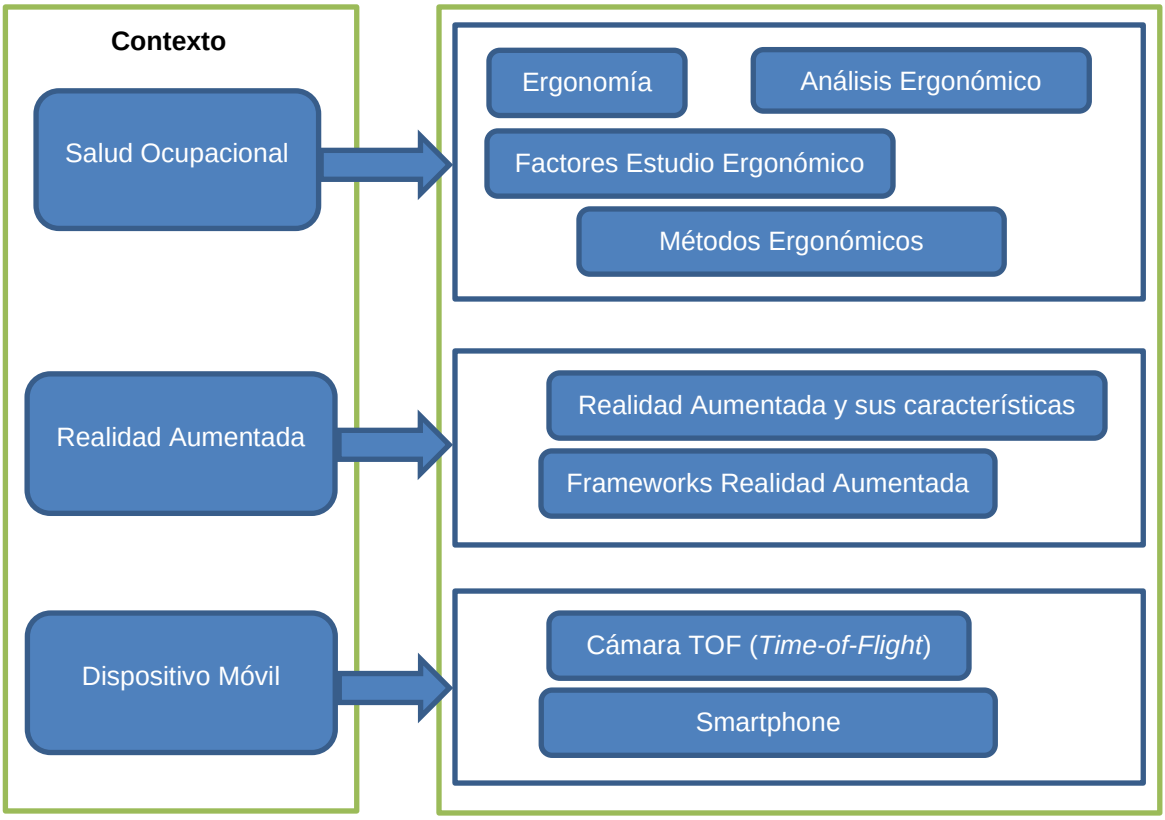


Figura 18. Contexto Marco de Trabajo

En esta primera etapa denominada Contexto, se definen todos los conceptos de más relevancia relacionados con las tres áreas de estudio principal, que son: la salud ocupacional, la realidad aumentada y los dispositivos móviles.

Esto se realiza con el fin de obtener una visión general de todos los conceptos:

- Se investiga sobre los conceptos de salud ocupacional más relevantes para nuestro proyecto, como lo son: La ergonomía, el análisis ergonómico, los factores a considerar en un estudio ergonómico y los métodos ergonómicos (OWAS, JSI, RULA, EPR, CHECK LIST OCRA, REBA).
- Se investiga sobre los conceptos de realidad aumentada más relevantes para nuestro proyecto, como lo son: Definición, las principales características de la Realidad Aumentada implementada por las tecnologías actuales y los frameworks de realidad aumentada para dispositivos móviles (ARkit, ARCore, AR Foundation, Vuforai Engine, AR Engine).
- Se investiga sobre los conceptos de dispositivos móviles más relevantes para nuestro proyecto, como lo son: La Cámara TOF (Time-of-Flight) y los Smartphone que actualmente poseen dicha cámara para reconocimiento 3D (LG G8 ThinQ, Huawei P30 Pro, Oppo RX17 Pro, Honor View 20, Samsung Galaxy S10+, Samsung Galaxy S10 5G, Xiaomi Redmi Note 8 Pro, Iphone XS).

4.2.2. Análisis y Selección

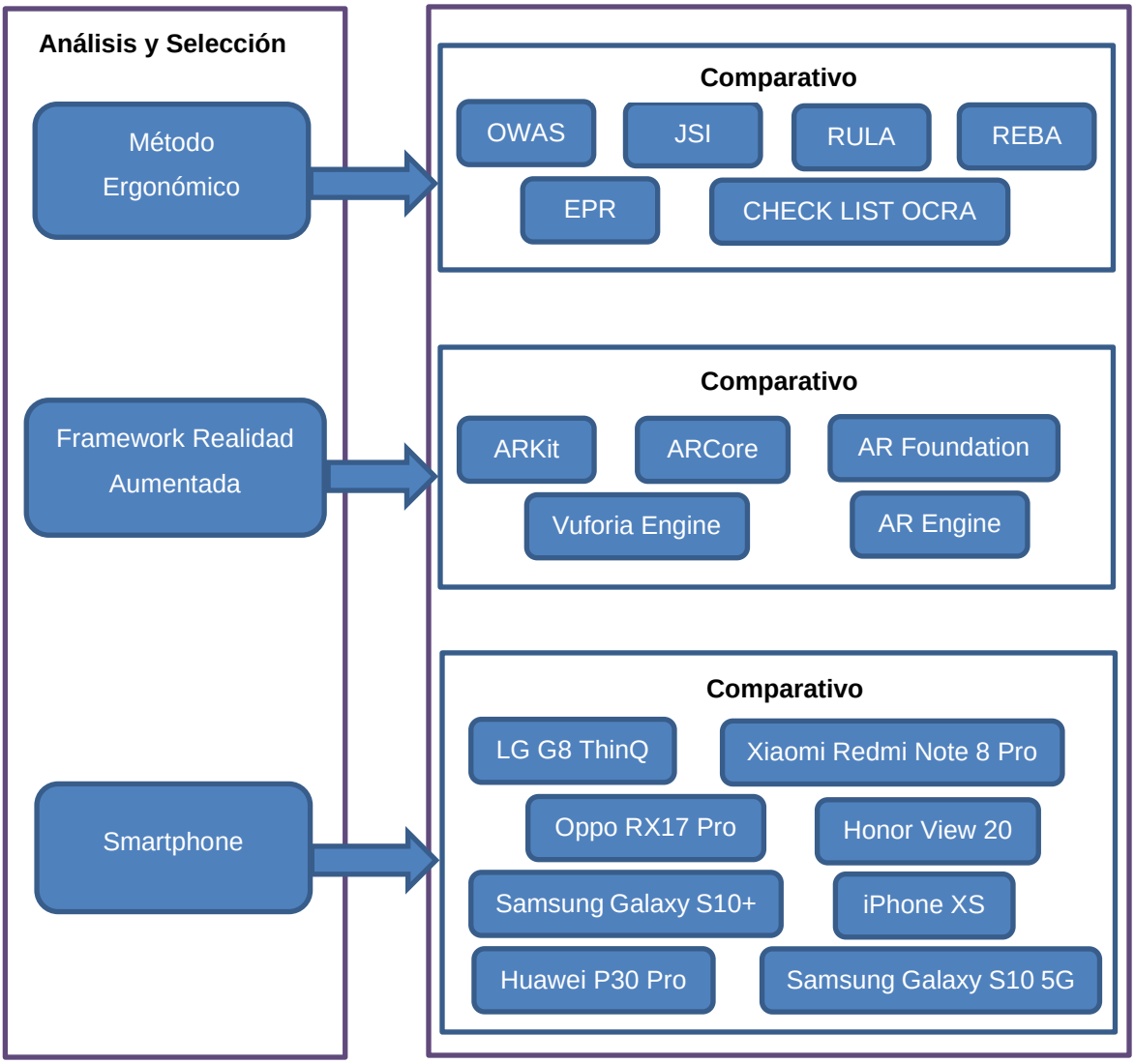


Figura 19. Análisis y Selección Marco de Trabajo

En esta segunda etapa denominada Análisis y Selección, se realiza un comparativo de las principales características de cada uno de los componentes seleccionados de las tres áreas principales:

- Se realiza un comparativo entre los métodos ergonómicos más empleados para realizar el análisis ergonómico, con el fin de seleccionar el método que cumpla con los siguientes criterios de evaluación: Evaluar la totalidad de las extremidades del cuerpo conjuntamente, las fuerzas que se ejercen sobre éste, así como también el agarre y la actividad muscular que el cuerpo realiza.
- Se realiza un comparativo entre los framework de realidad aumentada para dispositivos móviles y las principales características de la Realidad Aumentada implementada por las tecnologías actuales, con el fin de seleccionar el framework que cumpla con el criterio de ‘seguimiento del cuerpo’.
- Se realiza un comparativo entre los diferentes Smartphone que tienen integrada la cámara TOF con el fin de seleccionar el Smartphone que servirá como mecanismo de captura de imágenes para aplicar el marco de trabajo, considerando criterios como: la versión del sistema operativo, el sensor de profundidad que debe estar integrado en la cámara posterior y la compatibilidad con uno de los framework de desarrollo de realidad aumentada seleccionados como base de desarrollo del marco de trabajo.

4.2.3. Implementación

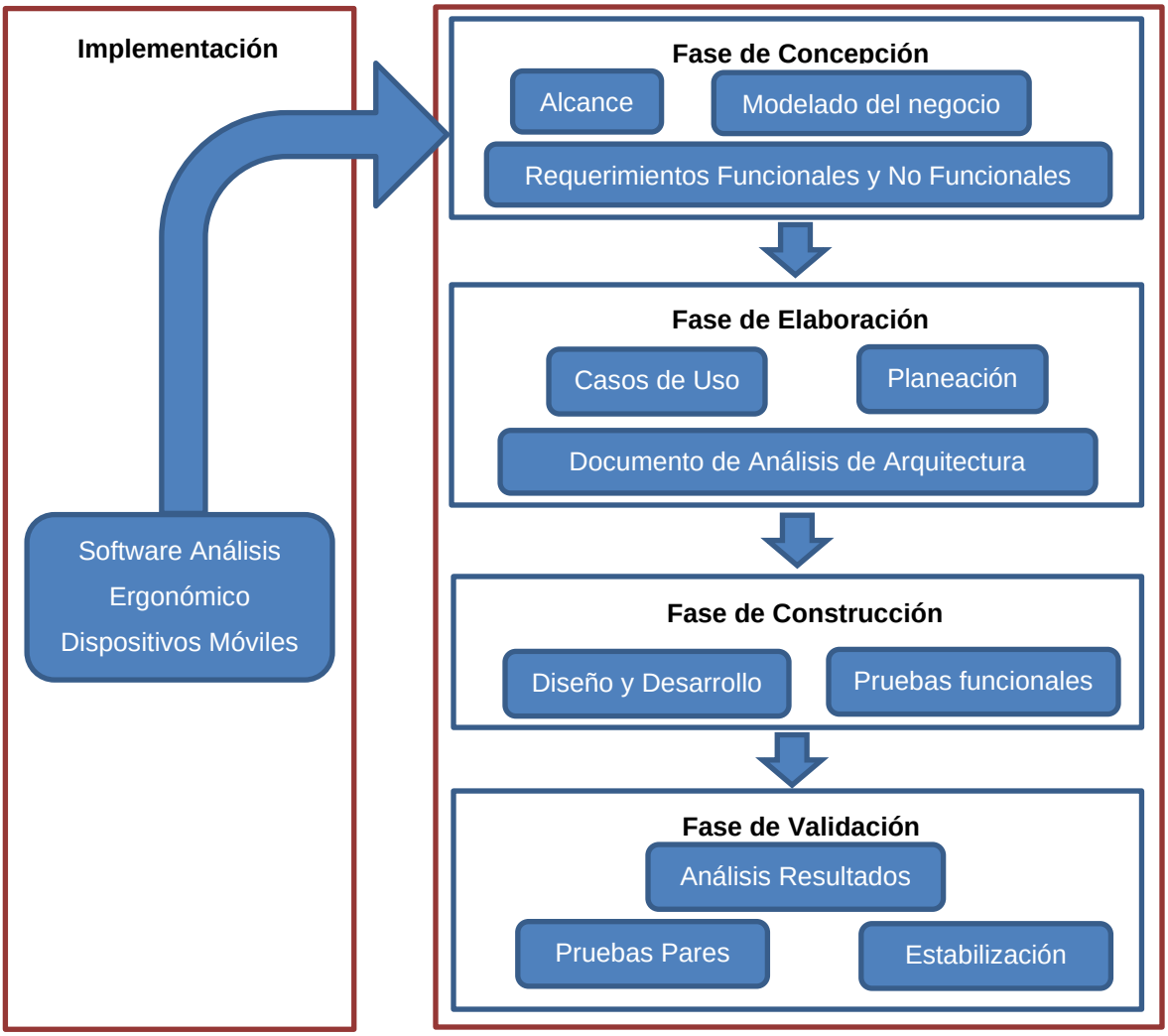


Figura 20. Implementación Marco de Trabajo

En esta tercera y última etapa denominada Implementación, se realiza el desarrollo del Software de Análisis Ergonómico desde Dispositivos Móviles, utilizando los componentes seleccionados en la anterior etapa:

- El método ergonómico, el cual nos va a proporcionar las reglas del negocio para el software y así poder realizar el análisis ergonómico.

- El framework de realidad aumentada, el cual va a permitir manipular los datos del seguimiento del cuerpo.
- El Smartphone, el cual permitirá capturar los datos del seguimiento del cuerpo.

Para el desarrollo del software se puede utilizar la metodología de desarrollo de software de su preferencia, en este caso, debido a la experiencia y conocimiento previo, se siguió una adaptación de la metodología RUP (*Rational Unified Process*). Si bien este método posee diversos entregables, en este proyecto solo se abordaron los asociados a las siguientes fases [42]:

- **Fase de Concepción:** En esta fase se define el alcance del software, el modelado del negocio, los requerimientos funcionales, no funcionales y los casos de uso.
- **Fase de Elaboración:** En esta fase se definen los casos de uso, la arquitectura del software y se realiza la planeación de las actividades a realizar.
- **Fase de Construcción:** En esta fase se realiza el diseño y desarrollo del software, incluyendo las pruebas funcionales.
- **Fase de Validación:** En esta fase se realiza la validación de los resultados, pruebas pares y estabilización del desarrollo, si es necesario.

PARTE IV
IMPLEMENTACIÓN

"Se necesita un gran conocimiento sólo para darse cuenta de la enormidad de la propia ignorancia." – Thomas Sowell

CAPÍTULO 5

Implementación

5.1. MODELADO DEL SOFTWARE

5.1.1. Casos de Uso

En esta sesión se describen las diferentes funcionalidades de las cuales dispone el sistema de análisis ergonómico con los diferentes flujos funcionales de cada una de estas funcionalidades.

5.1.1.1. Actores

Representa los usuarios que tienen relación directa con el aplicativo de análisis ergonómico.

Figura 21. Actor

5.1.1.2. Diagrama de Casos de Uso General

Este diagrama muestra una visión general de las funcionalidades que posee el sistema de análisis ergonómico y su relación con el usuario.

- Caso de Uso de Alto Nivel

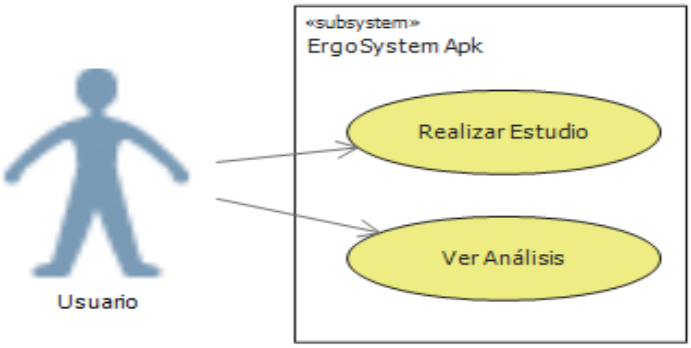


Figura 22. Caso de Uso General

5.1.1.3. Caso de Uso Realizar Estudio

Este caso de uso muestra la interacción del usuario con la funcionalidad “Realizar Estudio” del aplicativo de análisis ergonómico, así como las diferentes funcionalidades que están dentro del caso de uso.

- Caso de Uso de Alto Nivel

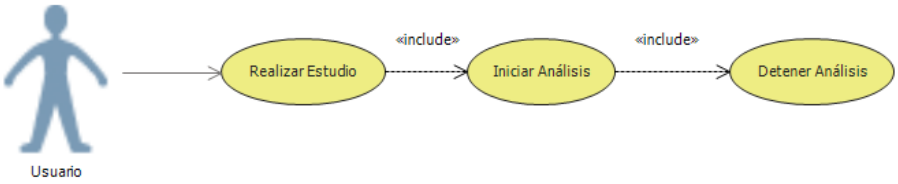


Figura 23. Caso de Uso Realizar Estudio

- Caso de Uso Detallado

Identificador	1
Nombre	Realizar Estudio
Versión	0.0.1
Actor (es)	Usuario
Propósito	Realizar el estudio ergonómico a través del dispositivo móvil Huawei P30 Pro.
Dependencias	Caso de uso Ver Análisis.
Generalizaciones	N/a
Descripción	El caso de uso describe el proceso de realizar el estudio ergonómico a través del dispositivo móvil Huawei P30 Pro.
Precondiciones	Acceso a la aplicación Ergo System.

Activadores	Este caso de uso lo activa el actor Usuario.	
Flujo Básico Pasos	Acciones del Actor	Acciones del Sistema
	1. Selecciona la opción Realizar Estudio.	2. Muestra la pantalla de Inicio para registrar el nombre, el documento de identidad de la persona a evaluar, las diferentes opciones de agarre, fuerza y actividad muscular de la persona a evaluar para iniciar el estudio ergonómico.
	3. Ingresa los datos de la persona que se va a realizar el estudio, selecciona las opciones de agarre y fuerza y le da clic en Iniciar Análisis.	4. Muestra la pantalla que manipula el sensor TOF (*Time-of-Flight*) y comienza a realizar el estudio ergonómico de la postura de la persona inmediatamente este detecta a la persona, mostrando los ángulos de flexión de las extremidades y la imagen de la persona analizada, el análisis ergonómico se realiza evaluando las coordenadas que entrega el sensor TOF (*Time-of-Flight*) de las diferentes articulaciones del cuerpo humano y aplicando las reglas de negocio aportadas por el Método REBA.
	5. Da clic en Detener Análisis.	6. Detiene el sensor TOF (*Time-of-Flight*) e inmediatamente el Kinect deja de capturar datos de la persona, también se detiene el cálculo de los ángulos y el análisis de la información.
Post condiciones	Los datos del estudio ergonómico quedan almacenados en memoria hasta que la aplicación se cierre o se vuelva a realizar otro estudio.	
Flujo Alternativo	N/a	
Flujo Excepcional		
Comentarios	Esta opción solo realiza el estudio ergonómico.	

Tabla 28. Caso de Uso Detallado Realizar Estudio

5.1.1.4. Caso de Uso Ver Análisis

Este caso de uso muestra la interacción del usuario con la funcionalidad "Ver Análisis" del aplicativo de análisis ergonómico, así como las diferentes funcionalidades que están dentro del caso de uso.

- Caso de Uso de Alto Nivel

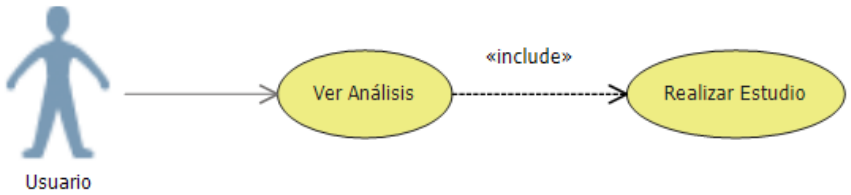


Figura 24. Caso de Uso Ver Análisis

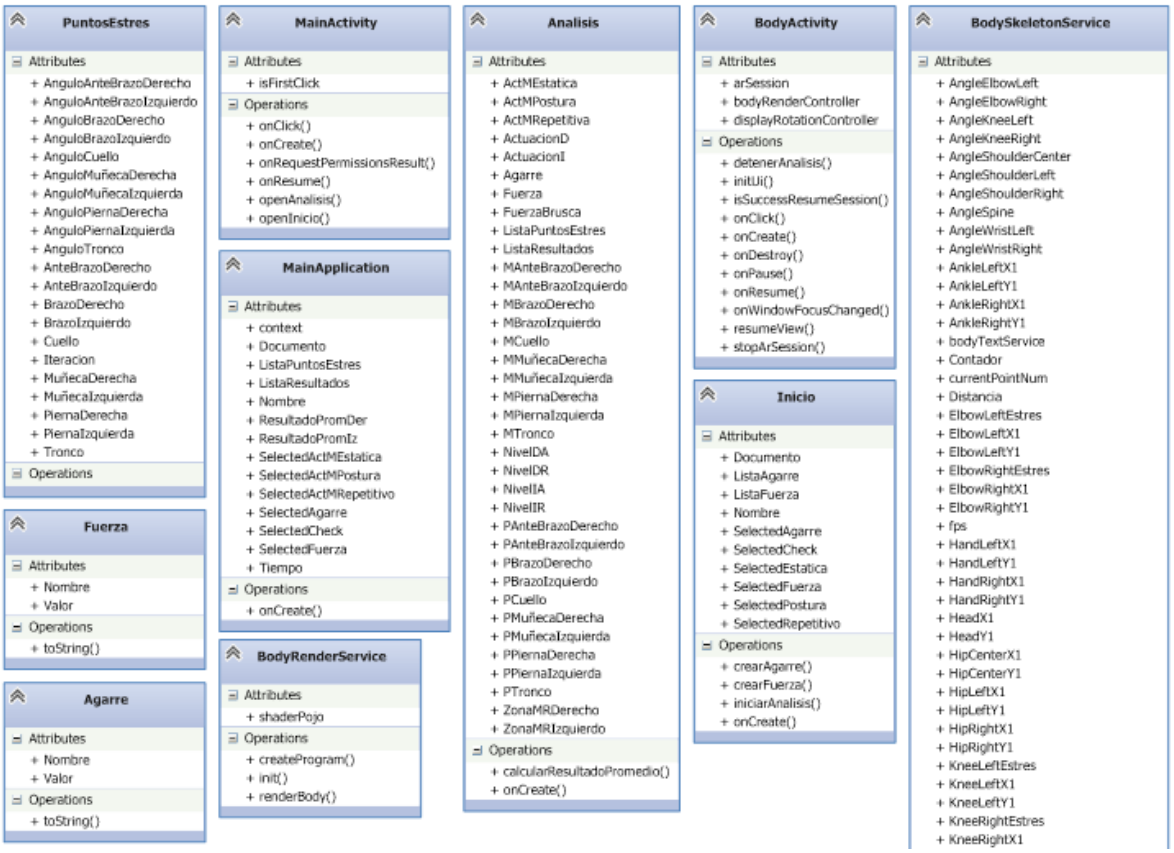
- Caso de Uso Detallado

Identificador	2	
Nombre	Ver Análisis	
Versión	0.0.1	
Actor (es)	Usuario	
Propósito	Ver el Análisis ergonómico.	
Dependencias		
Generalizaciones	N/a	
Descripción	El caso de uso describe el proceso de Ver el análisis del estudio ergonómico realizado en el caso de uso "Realizar Estudio".	
Precondiciones	Caso de uso Realizar Estudio.	
Activadores	Este caso de uso lo activa el actor Usuario.	
Flujo Básico Pasos	Acciones del Actor	Acciones del Sistema
	1. Selecciona la opción Ver Análisis.	2. Muestra la pantalla de Ver Análisis, con los datos de la persona, y los resultados del análisis ergonómico.
Post condiciones	N/a	
Flujo Alternativo	1. Selecciona la opción Ver Análisis.	2. Muestra la pantalla de Ver Análisis, con los datos de la persona, y los resultados del análisis ergonómico.
Flujo Excepcional	N/a	
Comentarios	Esta opción solo muestra el análisis.	

Tabla 29. Caso de Uso Detallado Ver Análisis

5.1.2. Modelado de Clases

El modelo de clases muestra todas las clases que existen y definen la estructura lógica del sistema y sus atributos y relaciones. No existen relaciones porque no son clases de la base de datos ya que en esta aplicación no se utilizó bases de datos.



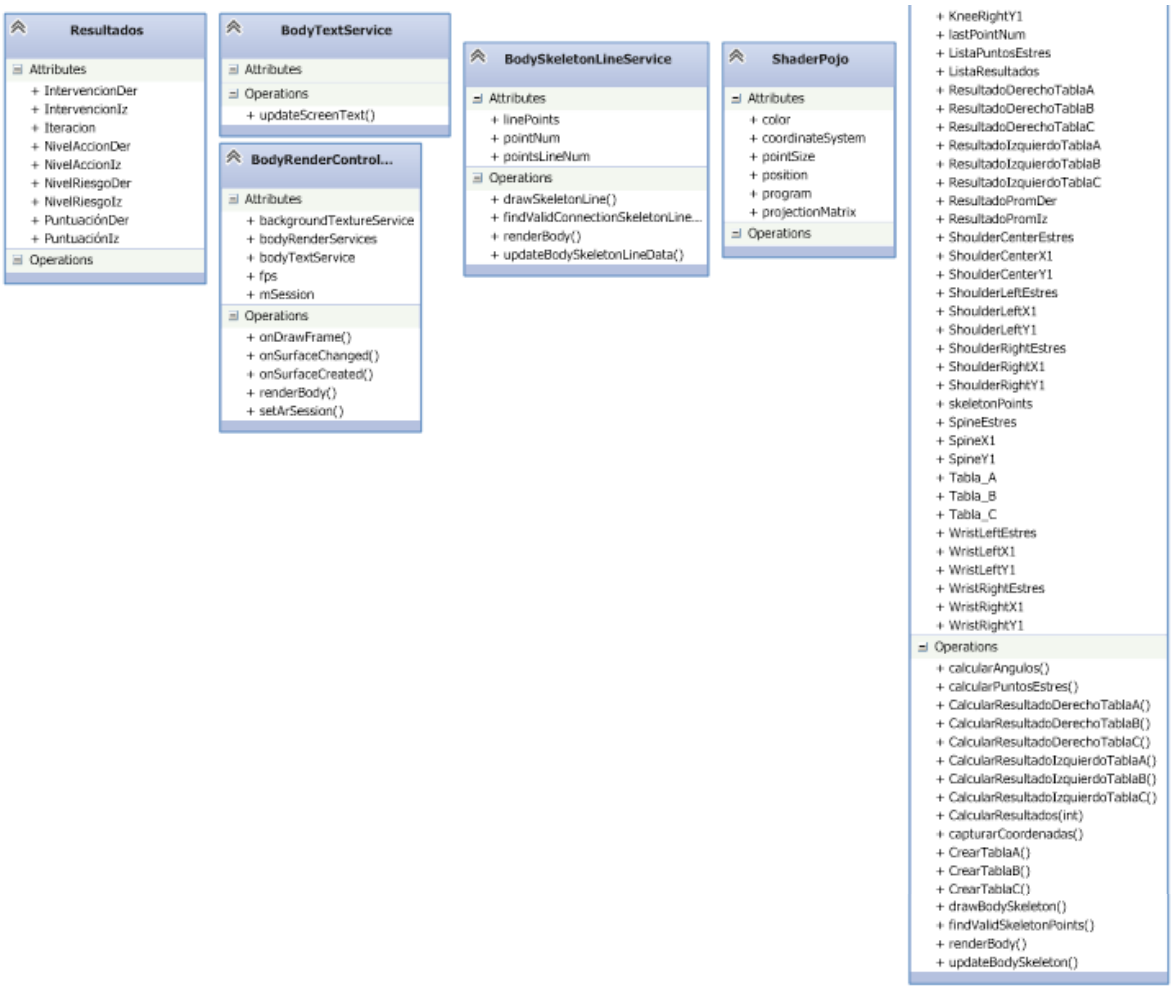


Figura 25. Clases del diagrama de Clases

5.1.3. Diagrama de Componentes

- **Componente *View*:** Este componente contiene todas las interfaces de usuario que capturarán la información que será enviada al componente Controller así como la información a mostrar.
- **Componente *Controller*:** Este componente gestiona y controla los eventos de la aplicación.

- **Componente *Service*:** Este componente contiene toda la lógica del negocio y devuelve por medio de DTO´s (*Data Transfer Objects*) los datos que captura el componente AR Engine hacia el componente Controller.
- **Componente AR *Engine*:** Este componente contiene el sensor TOF (*Time-of-Flight*) el cual captura toda la información de seguimiento 3D del cuerpo humano.

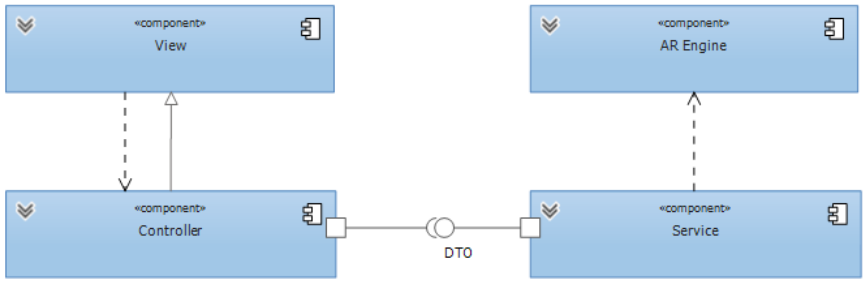


Figura 26. Diagrama de Componentes

5.1.4. Diagrama de Secuencia

El diagrama de secuencia describe la interacción que hay entre los diferentes componentes y su entorno, en este caso se describe el caso de uso “Realizar Estudio”.

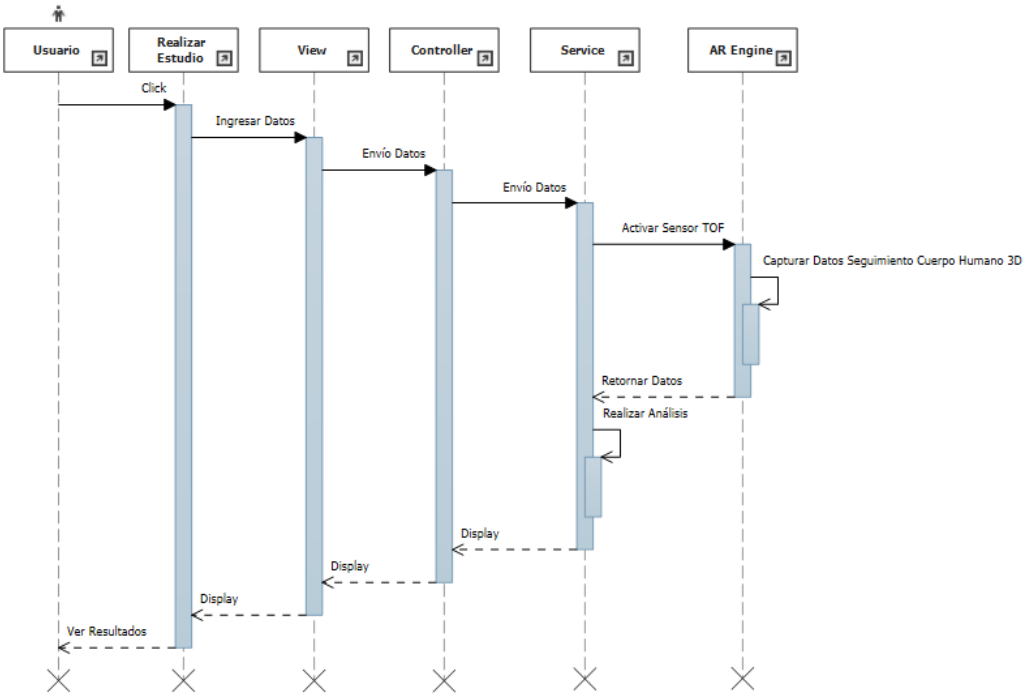


Figura 27. Diagrama de Secuencia

5.1.5. Diagrama de Plataforma Distribuida

Los siguientes diagramas describen la matriz tecnológica de capas lógicas versus niveles físicos del sistema, reflejando en cada una de ellas las decisiones que se tomaron respecto a tecnologías:

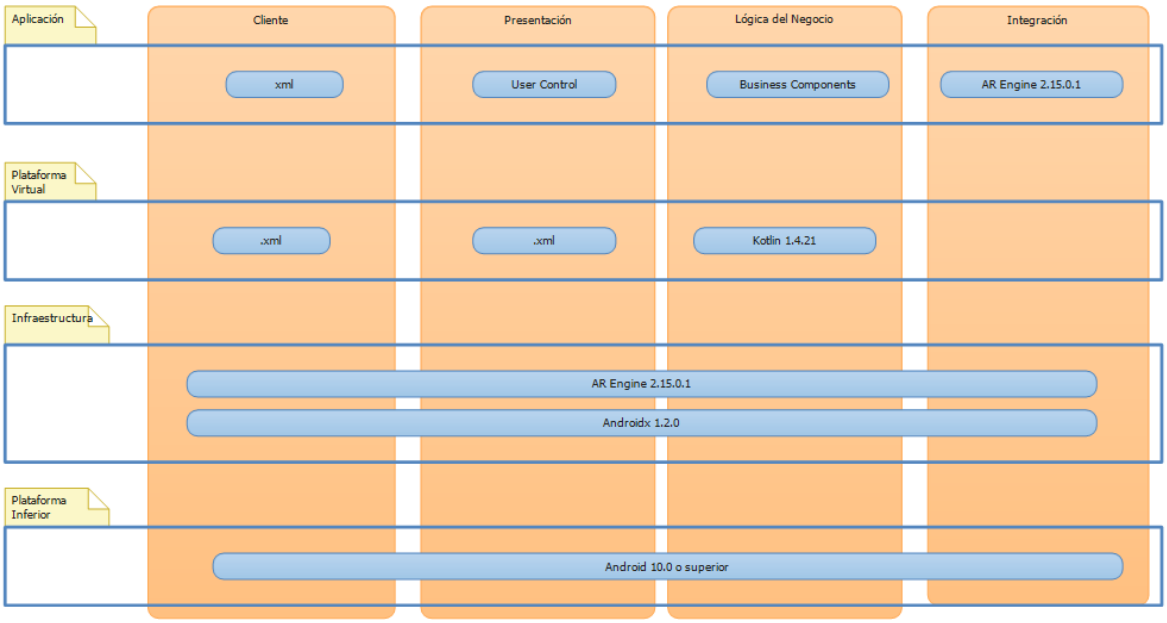


Figura 28. Diagrama de Plataforma Distribuida

5.1.6. Diagrama de Despliegue

A continuación, se describen las especificaciones más relevantes de hardware y las relaciones entre sus componentes.

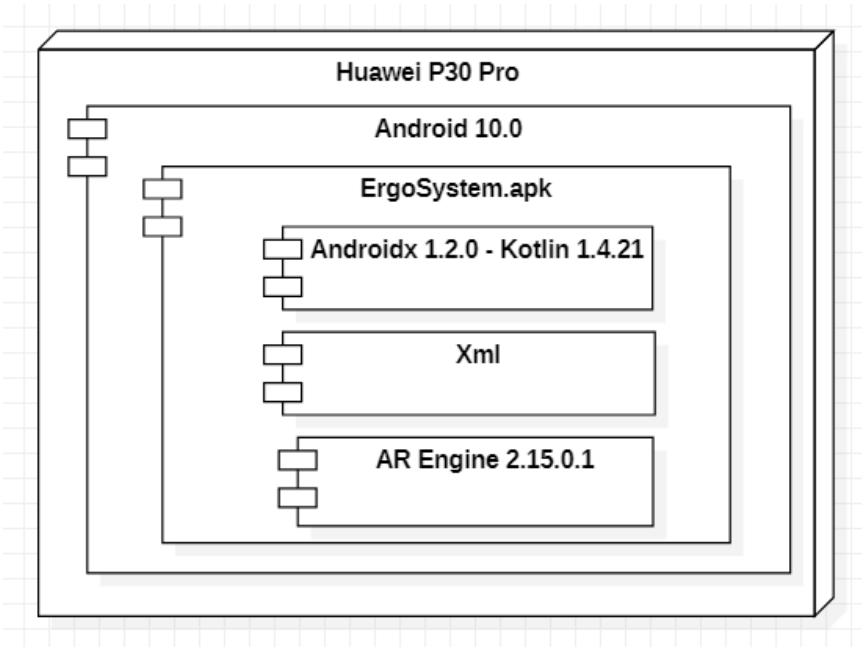


Figura 29. Diagrama de Despliegue

5.2. SOFTWARE ErgoSystem

El Software para el análisis Ergonómico ErgoSystem desde dispositivos móviles se desarrolló en Android Studio Versión 4.1.1, con el lenguaje de programación Kotlin Versión 1.4.21, biblioteca de desarrollo AndroidX Versión 1.2.0 y el Framework de Realidad Aumentada AR Engine 2.15.0.1 para el dispositivo móvil Huawei P30 Pro con Sistema Operativo Android 10.0. Se seleccionó el dispositivo móvil Huawei P30 Pro por encima del Honor View 20, debido a que fue premiado como el mejor Smartphone en los *European Hardware Awards 2019* y su principal característica fue la cámara cuádruple entre las que se destacan la cámara TOF (*Time-of-flight*) [43].

5.2.1. Inicio

En la figura 30 se muestra la interfaz principal de ErgoSystem. En este se muestra la descripción de la aplicación, seguido de las opciones *Realizar Estudio* y V*er Análisis*.

Figura 30. Vista de Inicio

5.2.2. Realizar Estudio

Esta opción contiene dos ventanas: Ingreso de datos y Análisis Ergonómico.

5.2.2.1. Ingreso de Datos

En la figura 31 se muestra la interfaz donde se ingresan los datos de la persona a la cual se le va a realizar el análisis ergonómico, así como las diferentes opciones de fuerza aplicada, el agarre y la actividad muscular que está realizando la persona.

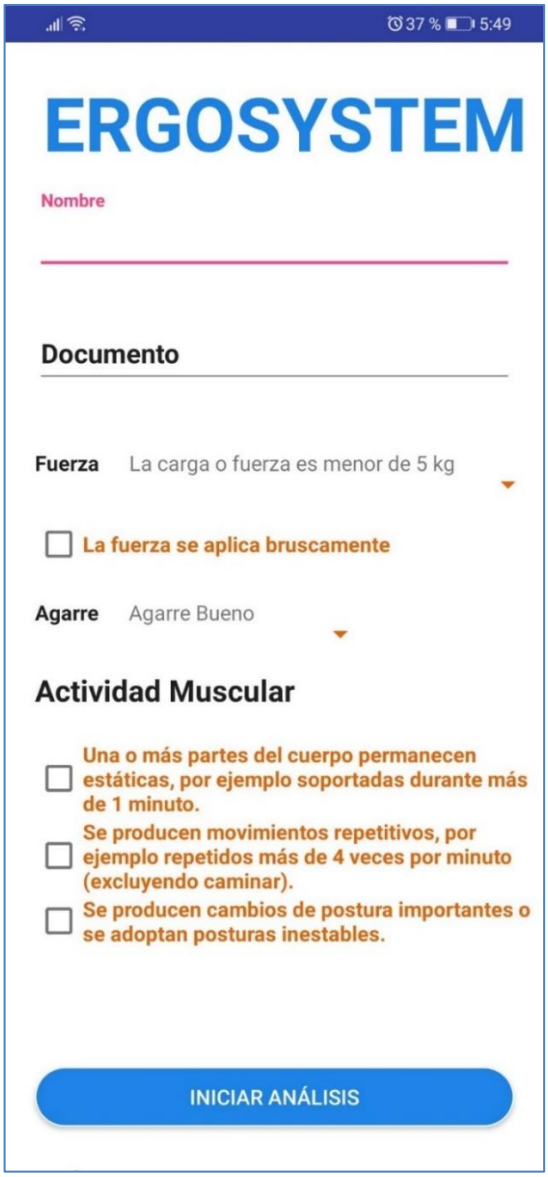


Figura 31. Vista de Ingreso de Datos

5.2.2.2. Análisis Ergonómico

En la figura 32 se muestra la interfaz donde se comienzan a analizar las posturas ergonómicas de la persona evaluada.

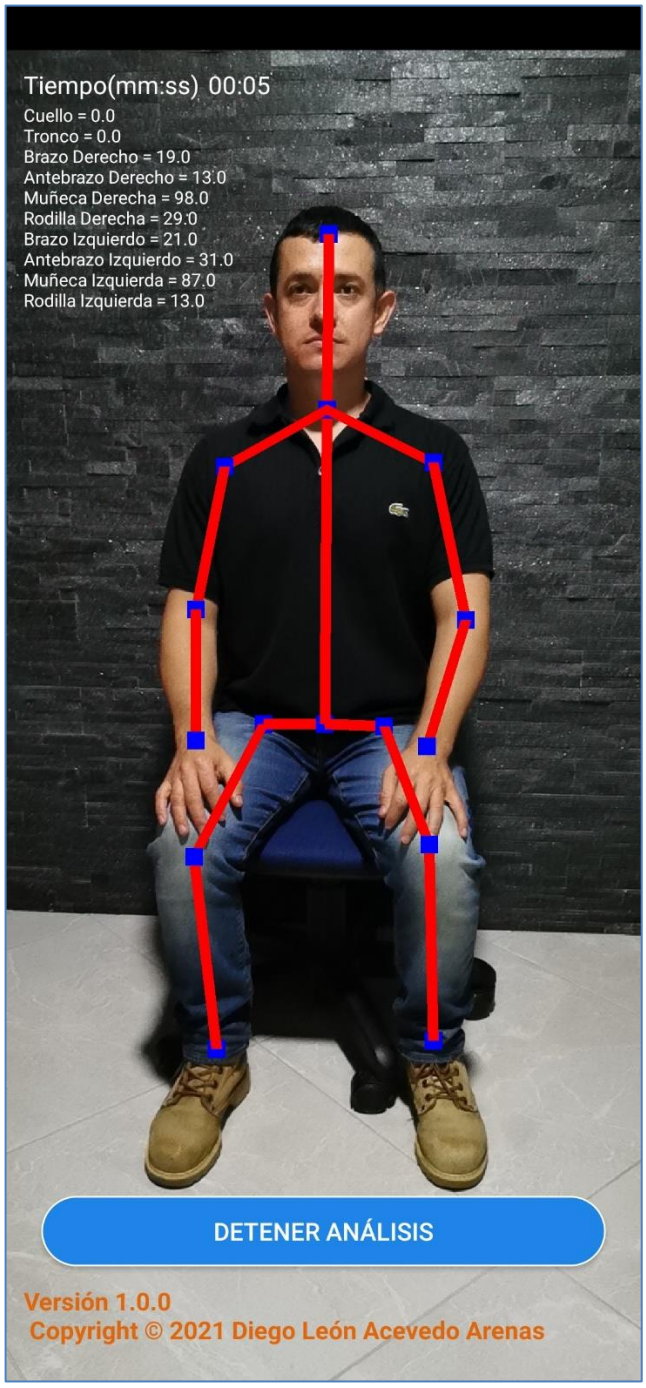


Figura 32. Vista de Análisis Ergonómico

5.2.3. Ver Análisis

En la figura 33 se muestra la interfaz donde se presentan los resultados del análisis ergonómico de la persona evaluada mediante el método ergonómico REBA (*Rapid Entire Body Assessment*).

Figura 33. Vista de Resultados de Análisis Ergonómico

CAPÍTULO 6

Validación

6.1. CASO DE ESTUDIO

El objetivo del caso de estudio es realizar un ejercicio de análisis ergonómico mediante el uso de la aplicación ErgoSystem.

La cámara TOF (*Time-of-Flight*) del Smartphone Huawei P30 Pro, captura las coordenadas (x, y, z) de las siguientes partes del cuerpo humano:

- Cabeza (*Head*)
- Hombro Central (*Shoulder Center*)
- Hombro Izquierdo (*Shoulder Left)*
- Hombro Derecho (*Shoulder Right*)
- Espina dorsal (*Spine*)
- Cadera central (*Hip Center*)
- Cadera izquierda (*Hip Left*)
- Cadera derecha (*Hip Right*)
- Antebrazo izquierdo (*Elbow Left*)
- Antebrazo derecho (*Elbow Right*)
- Muñeca izquierda (*Wrist Left*)
- Muñeca derecha (*Wrist Right*)
- Mano izquierda (*Hand Left*)
- Mano derecha (*Hand Right*)
- Rodilla izquierda (*Knee Left*)
- Rodilla derecha (*Knee Right*)

- Tobillo izquierdo (*Ankle Left*)
- Tobillo derecho (*Ankle Right*)
- Pie izquierdo (*Foot Left*)
- Pie derecho (*Foot Right*)

El análisis ergonómico que arroja la aplicación ErgoSystem, es un análisis que solo evalúa si la postura actual de la persona es correcta o incorrecta. Es un análisis basado en los resultados del método REBA (*Rapid Entire Body Assessment*), este no describe si los ángulos de flexión de las articulaciones del cuerpo humano son correctos o incorrectos de forma individual, si no que los agrupa de la siguiente forma:

- **Grupo A:** Conformado por el cuello, el tronco y las piernas.
- **Grupo B:** Conformado por los brazos, antebrazos y muñecas.

De cada grupo la aplicación ErgoSystem saca una puntuación realizando el cruce de información en la tabla de puntuación del grupo A y B respectivamente definidas en el Método REBA, con estas dos puntuaciones se realiza un nuevo cruce de información para determinar la puntuación final utilizando la tabla de resultados C definida en el Método REBA y de esta manera genera la puntuación final para poder determinar si la postura actual de la persona es correcta o incorrecta. Esto es comparando esa puntuación final con la tabla de resultados definida en el Método REBA, la cual indica el nivel de acción, el nivel de riesgo y si se debe actuar o no.

A continuación, se describen los datos de aplicación, la descripción de la rutina laboral de la persona a evaluar y los resultados generados en el caso de estudio.

Fecha: Martes 04 de Mayo de 2021
Hora: 10:00 AM
Nombre: Maribel Uribe Quiroz

Documento: 1XXXXXXXXX

Tiempo: 5 minutos

Descripción: Maribel labora en la Empresa Coagrosur con sede en la ciudad de Medellín – Colombia, el cargo que desempeña allí es de auxiliar contable, para el cual permanece la mayoría del tiempo de su jornada laboral sentada en su escritorio frente al computador de trabajo. Su horario laboral es de lunes a viernes de 8:00 AM a 5 PM, durante su jornada laboral cumple con una rutina muy básica en su escritorio de trabajo: A las 9:00 AM interrumpe su trabajo durante un periodo de 15 minutos, para levantarse de su escritorio y dirigirse hacia la cocineta de la empresa para comer su desayuno. A las 12:00 PM interrumpe su trabajo durante un periodo de 60 minutos, para levantarse de su escritorio y dirigirse hacia la cocineta de la empresa para comer su almuerzo. Durante su jornada laboral no realiza pausas activas, las únicas pausas que realiza son las del desayuno y la del almuerzo.

Para el caso de estudio, se evalúa la postura de Maribel en su escritorio de trabajo.

Ángulos

Grupo A

Cuello: 5°

Tronco: 0.39°

Pierna Izquierda: 24.71°

Pierna Derecha: 37.12°

Grupo B

Brazo Izquierdo: 33.65°

Antebrazo Izquierdo: 12.25°

Muñeca Izquierda: 16.45°

Brazo Derecho: 58.82°

Antebrazo Derecho: 29.17°

Muñeca Derecha: 30°

Puntuaciones REBA

Grupo A

Cuello: 1

Tronco: 1

Pierna Izquierda: 1

Pierna Derecha: 2

Grupo B

Brazo Izquierdo: 2

Antebrazo Izquierdo: 2

Muñeca Izquierda: 2

Brazo Derecho: 3

Antebrazo Derecho: 2

Muñeca Derecha: 2

Puntuación Grupo A Lado Izquierdo: 1

Puntuación Grupo A Lado Derecho: 2

Puntuación Grupo B Lado Izquierdo: 3

Puntuación Grupo B Lado Derecho: 5

Puntuación Total Lado Izquierdo (Cruce Grupo A y Grupo B + 1 incremento de actividad Muscular): 2

Puntuación Total Lado Derecho (Cruce Grupo A y Grupo B + 1 incremento de actividad Muscular): 5

Resultados REBA

Lado Izquierdo del cuerpo

Nivel de Acción: 1

Nivel de Riesgo: Bajo

Actuación: No necesaria

Zonas con mayor riesgo: Ninguna.

Lado Derecho del cuerpo

Nivel de Acción: 5

Nivel de Riesgo: Medio

Actuación: Necesaria

Zonas con mayor riesgo: Brazo.

El análisis ergonómico que arroja la aplicación ErgoSystem, es un análisis que solo evalúa si la postura actual de la persona es correcta o incorrecta. Es un análisis basado en los resultados del método REBA (*Rapid Entire Body Assessment*).

Según los resultados obtenidos en el lado izquierdo del cuerpo, la postura se encuentra correcta, no es necesario modificar la postura de ese lado ni tomar acciones correctivas. Según los resultados obtenidos en el lado derecho del cuerpo, la postura se encuentra incorrecta, si es necesario modificar la postura de ese lado y corregir la postura para evitar sufrir lesiones en el brazo.

PARTE V
ANÁLISIS

“El silencio es la mejor respuesta de la auténtica sabiduría.” -- Eurípides

CAPÍTULO 7

Conclusiones y Trabajo Futuro

7.1. CONCLUSIONES

ErgoSystem es una aplicación que permite realizar un análisis ergonómico haciendo uso de la cámara TOF (*Time-of-Flight*) de los dispositivos móviles actuales, para capturar las coordenadas de las articulaciones del cuerpo humano y poder calcular los ángulos de flexión de sus diferentes articulaciones. Una vez obtenidos estos ángulos de flexión se procede a aplicarle a estos datos las reglas de negocio proveídas por el método REBA, para realizar el análisis ergonómico y definir si la postura actual de la persona es correcta o incorrecta.

Los aspectos más relevantes en la realización de un análisis ergonómico son los ángulos de flexión de las diferentes articulaciones del cuerpo humano, en pocas palabras, la postura de la persona, la cual la se puede identificar por medio de la cámara TOF que viene integrada en los dispositivos móviles actuales.

El análisis ergonómico que genera la aplicación ErgoSystem a través de la captura y análisis de imágenes, es un análisis centrado en la evaluación de la postura actual de la persona (si es correcta o incorrecta). Es un análisis basado en los resultados del método REBA, el cual no describe si los ángulos de flexión de las articulaciones del cuerpo humano son correctos o incorrectos de forma individual, si no que los reúne en dos grupos y genera un resultado final cruzando la información de estos dos grupos.

Todo el análisis que arroja la aplicación ErgoSystem permitirá al evaluador determinar si el puesto de trabajo de la persona resulta aceptable o si debe cambiarse, si es necesario realizar un estudio más profundo para una mayor concepción de las acciones a realizar.

Se logró como objetivo general, el desarrollo de un marco de trabajo para Implementar un Sistema de Análisis Ergonómico en Tiempo Real desde Dispositivos Móviles (Framework ErgoSystem), que permite evaluar la postura de una persona en su puesto de trabajo dando como resultado un análisis ergonómico de la persona laborando.

Los principales beneficiarios de este trabajo son las empresas y los empleados, ya que este permitirá evaluar a los trabajadores en su puesto de trabajo, permitiendo de esta forma a la empresa tomar decisiones oportunas que puedan traducirse en un ahorro económico con respecto a las indemnizaciones que las empresas tienen que pagar a los trabajadores, debido al tipo de enfermedades producidas por las malas posturas adoptadas por el trabajador en su puesto de trabajo.

7.2. TRABAJO FUTURO

Existen varias mejoras que se pueden realizar al Sistema de Análisis Ergonómico en Tiempo Real desde Dispositivos Móviles (aplicación ErgoSystem), como lo son la creación de una base de datos para gestionar los usuarios, los permisos, las empresas, las sedes, llevar un registro de todos los análisis ergonómicos realizados a los empleados de una empresa, permitiéndole de esta forma a la empresa tener un control por cada empleado sobre las posibles enfermedades que pueda desarrollar según sus posturas incorrectas dictaminadas por los diferentes análisis ergonómicos realizados.

Por otro lado, la creación de diferentes opciones de exportación de la información de los análisis ergonómicos como lo son en archivos PDF, Excel, CSV, TXT o para el envío de estos por medio un correo electrónico.

Implementar el estudio ergonómico mediante otros métodos ergonómicos, como lo son RULA, OWAS, entre otros, permitiéndole de esta forma al usuario seleccionar el tipo de análisis ergonómico según el método seleccionado.

Mejorar la precisión de la captura de los datos ya que actualmente existen márgenes de error para estos y también influyen mucho los objetos que puedan interponerse entre el sensor de profundidad y la persona evaluada, ya que estos pueden interferir en la captura de los datos.

Implementar el aplicativo de software para el análisis ergonómico mediante el uso de las tecnologías emergentes y haciendo uso de la Inteligencia Artificial, de fácil acceso económico y funcional, permitiendo de esta forma mejorar cada vez más la precisión en la captura de los datos y su usabilidad.

BIBLIOGRAFÍA

[1] D. Mas y J. Antonio, «Evaluación postural mediante el método REBA,» Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia, 2015. [En línea]. Available: https://www.ergonautas.upv.es/metodos/reba/reba-ayuda.php.

[2] E. Apud y F. Meyer, «La importancia de la ergonomía para los profesionales de la salud,» *SciELO Analytics,* pp. 15-20, 2003.

[3] V. M. Manghisi, A. E. Uva , M. Fiorentino, V. Bevilacqua, G. F. Trotta y G. Monno, «Real time RULA assessment using Kinect v2 sensor,» *Applied ergonomics,* vol. 65, pp. 481-491, 2017.

[4] R. Calderón, J. Henríquez, V. Henríquez, E. Mendoza y M. De Moreno, «Evaluación ergonómica de puestos de trabajo mediante la técnica rapid entire body assessment,» *Revista de Iniciación Científica,* vol. 4, nº 1, pp. 46-49, 2018.

[5] Y. L. Vargas Chávez , «Perfil de salud laboral en Colombia a partir del análisis y caracterización de la enfermedad laboral reportada en el Sistema General de Riesgos Laborales. Periodo 2004 – 2014,» *Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá,* 2018.

[6] P. Plantard, H. P. Shum, A. S. Le Pierres y F. Multon, «Validation of an ergonomic assessment method using Kinect data in real workplace conditions,» *Applied ergonomics,* vol. 65, pp. 562-569, 2017.

[7] D. L. Acevedo Arenas, *Software para el análisis ergonómico basado en imágenes de personas en su puesto de trabajo,* Universidad de Medellín: Tesis de Licenciatura, 2014.

[8] M. Herreros Pinilla, *Evaluación Ergonómica en Tiempo Real Mediante Sensores de Profundidad de Bajo Coste (Kinect),* Universidad Politécnica de Valencia: Tesis de Maestría, 2014.

[9] V. K. Bellmann, S. Brede, P. Nyhuis y S. M. Ansari, «Development of a System for a Real Time Ergonomic Assessment.,» de *In 3rd International Conference on Production Automation and Mechanical Engineering on 26th-27 th August*, Montreal, Canada, 2017.

[10] Y. He y S. Chen, «Recent Advances in 3D Data Acquisition and Processing by Time of Flight Camera,» *IEEE Access,* vol. 7, pp. 12495-12510, 2019.

[11] A. Abobakr, D. Nahavandi, J. Iskander, M. Hossny, S. Nahavandi y M. Smets, «A kinect-based workplace postural analysis system using deep residual networks,» *In 2017 IEEE International Symposium on Systems Engineering,* pp. 1-6, 2017.

[12] G. Rodríguez, U. Zaldívar y X. Zaldívar, «Metodología para el Diseño e Implementación de un Sistema de Evaluación Ergonómica en tiempo real,» *XX Congreso Mexicano de Robótica,* nº 1834, 2018.

[13] A. Baz Alonso, I. Ferreira Artime, M. Á. Rodríguez y R. G. Baniello , «Dispositivos móviles,» EPSIG Ing. Telecomunicación Universidad de Oviedo, 2011. [En línea]. Available: http://isa.uniovi.es/docencia/SIGC/pdf/telefonia_movil.pdf.

[14] D. Mas y J. Antonio, «Evaluación Postural Mediante El Método OWAS,» Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia, 2015. [En línea]. Available: https://www.ergonautas.upv.es/metodos/owas/owas-ayuda.php.

[15] D. Mas y J. Antonio, «Evaluación de la repetitividad de movimientos mediante el método JSI,» Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia, 2015. [En línea]. Available: https://www.ergonautas.upv.es/metodos/jsi/jsi-ayuda.php.

[16] D. Mas y J. Antonio, «Evaluación postural mediante el método RULA,» 2015. [En línea]. Available: http://www.ergonautas.upv.es/metodos/rula/rula-ayuda.php.

[17] D. Mas y J. Antonio, «Evaluación postural rápida,» Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia, 2015. [En línea]. Available: http://www.ergonautas.upv.es/metodos/epr/epr-ayuda.php.

[18] D. Mas y J. Antonio, «Evaluación del riesgo por movimientos repetitivos mediante el Check List Ocra,» Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia, 2015. [En línea]. Available: http://www.ergonautas.upv.es/metodos/ocra/ocra-ayuda.php.

[19] J. Linowes y K. Babilinski, Augmented Reality for Developers: Build practical augmented reality applications with Unity, ARCore, ARKit, and Vuforia, Packt Publishing Ltd, 2017.

[20] W. Wang, Beginning ARKit for IPhone and IPad: Augmented Reality App Development for IOS, Apress, 2018.

[21] Apple, «ARKit,» Apple, 2020. [En línea]. Available: https://developer.apple.com/documentation/arkit.

[22] M. Lanham, Learn ARCore-Fundamentals of Google ARCore: Learn to build augmented reality apps for Android, Unity, and the web with Google ARCore 1.0, Packt Publishing Ltd, 2018.

[23] M. F. Syahputra, H. F y A. U, «Augmented Reality Virtual House Model Using ARCore Technology Based on Android,» *Journal of Physics: Conference Series,* vol. 1566, nº 1, p. 012018, 2020.

[24] Google, «ARCore,» Google, 2019. [En línea]. Available: https://developers.google.com/ar/discover.

[25] Unity, «AR Foundation,» Unity, 2020. [En línea]. Available: https://unity.com/es/unity/features/arfoundation.

[26] Unity, «About AR Foundation,» Unity, 2020. [En línea]. Available: https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arfoundation@4.1/manual/index.html.

[27] Vuforia, «Vuforia: RA empresarial líder en el mercado,» Vuforia, 2020. [En línea]. Available: https://www.ptc.com/es/products/augmented-reality/vuforia.

[28] Vuforia, «Vuforia Engine,» Vuforia, 2020. [En línea]. Available: https://engine.vuforia.com/engine.

[29] Huawei, «Huawei Developers,» Huawei, 2020. [En línea]. Available: https://developer.huawei.com/consumer/en/ar.

[30] N. Gibson , «Sony Depthsensing Solutions,» Softkinetic, 2016. [En línea]. Available: https://www.sony-depthsensing.com/NewsEvents/Articleview/ArticleId/520/NEWS-SoftKinetic-Introduces-Smallest-3D-DepthSense-Camera-Available-for-Mobile-Platforms.

[31] Softkinetic, «Sony Depthsensing Solutions,» 2016. [En línea]. Available: https://www.sony-depthsensing.com/Portals/0/201705_SK_DS541_Datasheet_Verso_V3.pdf.

[32] Y. Li, J. Huang, F. Tian, H.-A. Wang y G.-Z. Dai, «Gesture interaction in virtual reality,» *Virtual Reality & Intelligent Hardware,* vol. 1, nº 1, pp. 84-112, 2019.

[33] L. Electronics, «LG,» LG, 2020. [En línea]. Available: https://www.lg.com/es/telefonos-moviles/lg-LMG810EAW.

[34] Huawei, «Huawei,» Huawei, 2020. [En línea]. Available: https://consumer.huawei.com/co/phones/p30-pro/specs/.

[35] Oppo, «Oppo,» Oppo, 2020. [En línea]. Available: https://www.oppo.com/es/smartphone-rx17-pro/.

[36] Honor, «Honor,» Honor, 2020. [En línea]. Available: https://www.hihonor.com/global/products/smartphone/honorview20/.

[37] Samsung, «Samsung,» Samsung, 2020. [En línea]. Available: https://www.samsung.com/co/smartphones/galaxy-s10/.

[38] Samsung, «Samsung,» Samsung, 2020. [En línea]. Available: https://www.samsung.com/us/mobile/es/galaxy-s10-5g/.

[39] Xiaomi, «Xiaomi,» Xiaomi, 2020. [En línea]. Available: https://www.mi.com/es/redmi-note-8-pro/.

[40] T. Caballero, «iPhone Xs y iPhone Xs Max presentan las mejores y más grandes pantallas de iPhone,» Apple, 12 09 2018. [En línea]. Available: https://www.apple.com/la/newsroom/2018/09/iphone-xs-and-iphone-xs-max-bring-the-best-and-biggest-displays-to-iphone/.

[41] G. Tebes, D. Peppino, P. Becker y L. Olsina, «Especificación del Modelo de Proceso para una Revisión Sistemática de Literatura,» de *XXII Conferencia Iberoamericana en Software*, La Habana, Cuba, 2019.

[42] A. Martínez y R. Martínez, «Guía a Rational Unified Process,» *Escuela Politécnica Superior de Albacete – Universidad de Castilla la Mancha,* 2014.

[43] H. C. BG, «HUAWEI Wins Best Smartphone at the European Hardware Awards 2019,» HUAWEI Consumer Business Group, 04 07 2019. [En línea]. Available: https://consumer.huawei.com/en/press/news/2019/huawei-p30-pro-wins-best-smartphone-european-hardware-awards-2019/.

ANEXOS

ANEXO 1

Manual de Instalación

Ubicamos el archivo “ErgoSystem.apk” en el Smarphone Huawei P30 Pro y lo ejecutamos.

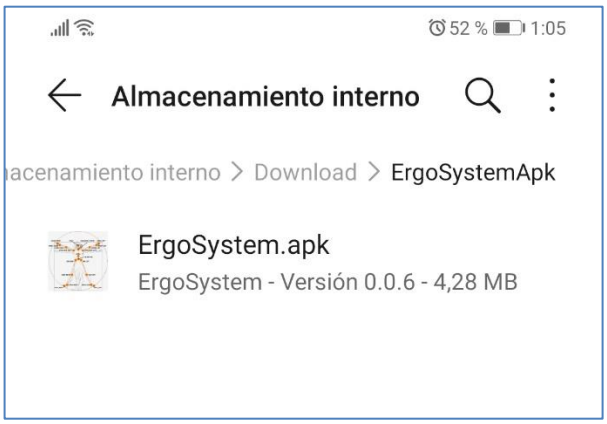


Figura 34. ErgoSystem.apk

Seleccionamos la opción “Instalar”.

Figura 35. Instalar ErgoSystem

Seleccionamos la opción “Instalar de todas formas”.

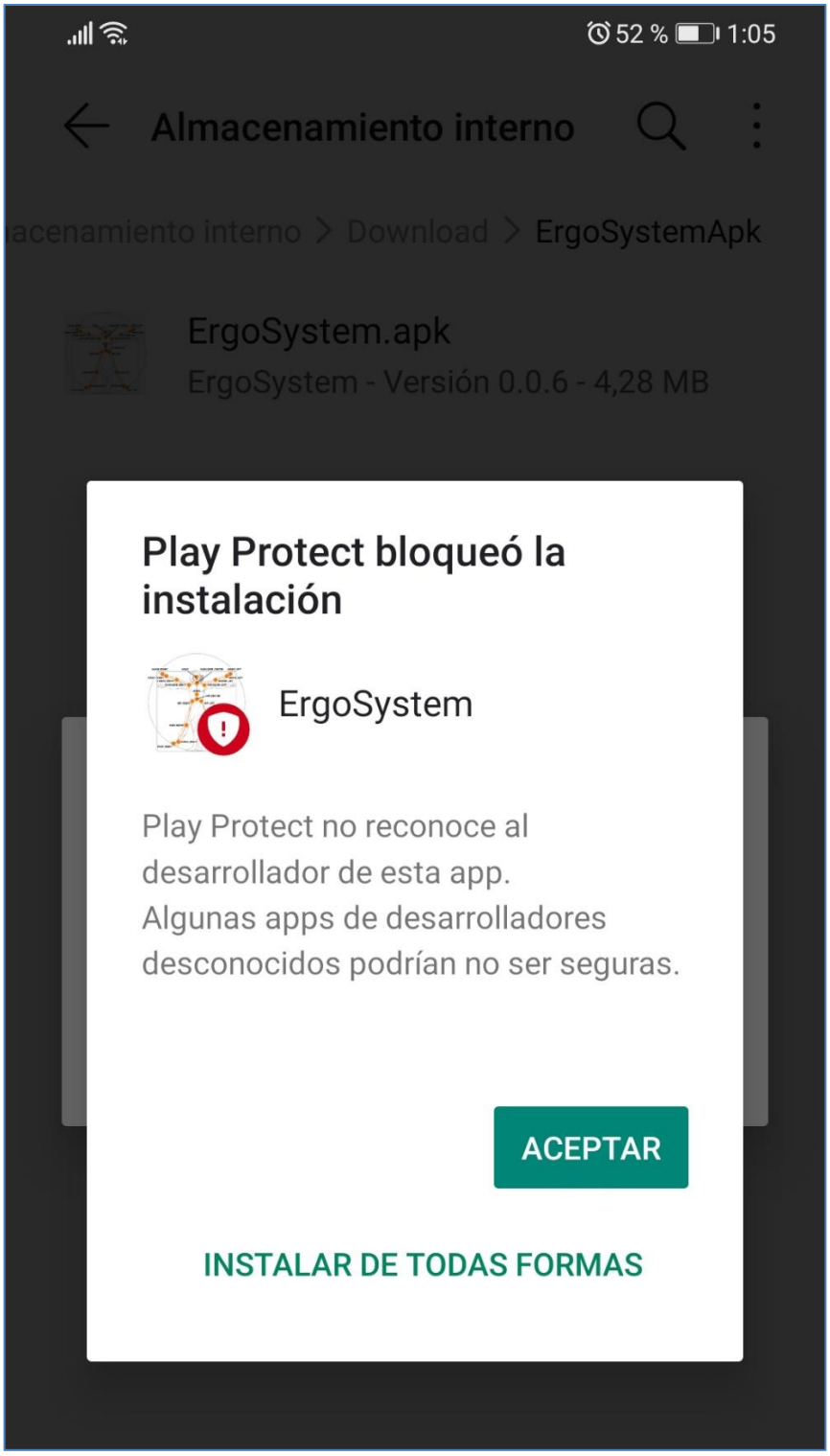


Figura 36. Play Protect

Seleccionamos la opción “Abrir”.

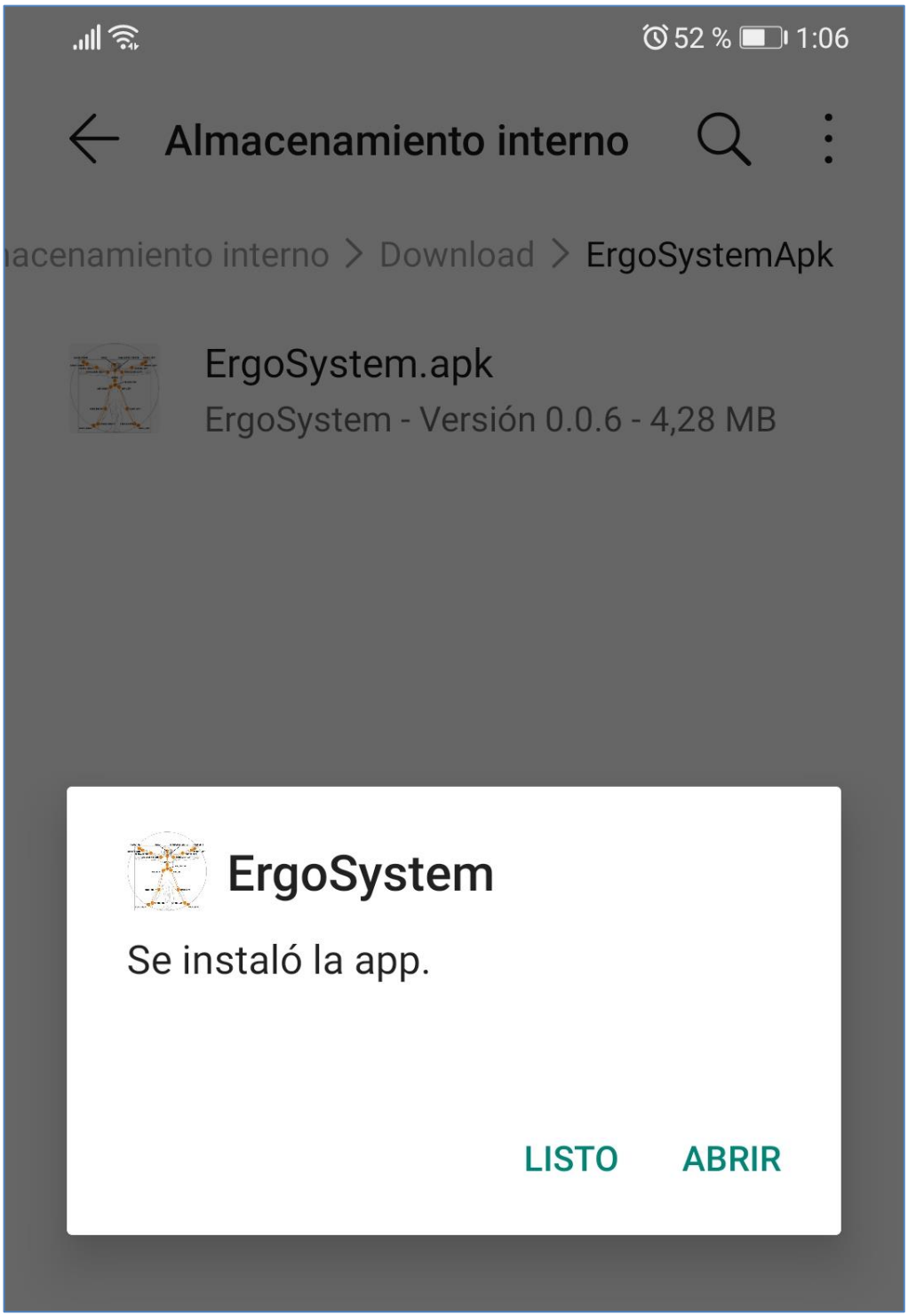


Figura 37. ErgoSystem Instalado

Seleccionamos la opción “Permitir”.

Figura 38. ErgoSystem Permitir

ANEXO 2

Manual de Usuario

Inicio

Esta es la ventana principal, en este se muestra la descripción de la aplicación seguido de las opciones Realizar Estudio y Ver Análisis.

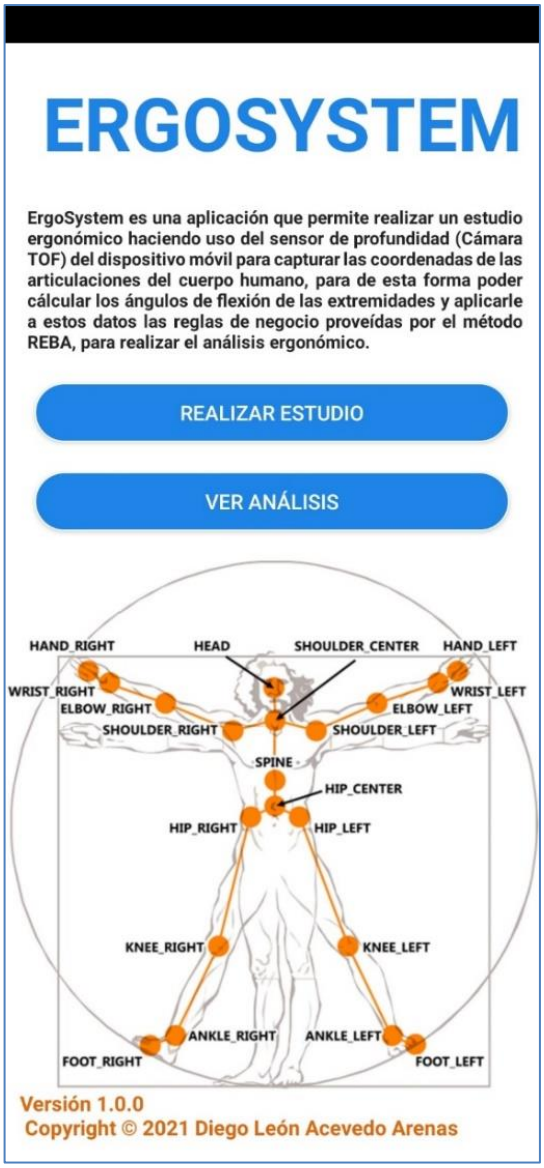


Figura 39. Vista de Inicio

Realizar Estudio

Esta opción contiene dos ventanas: Ingreso de datos y Análisis Ergonómico.

- **Ingreso de Datos**

En esta ventana se ingresan los datos de la persona a la cual se le va a realizar el análisis ergonómico, así como las diferentes opciones de fuerza aplicada por la persona, el agarre y la actividad muscular que está realizando la persona.

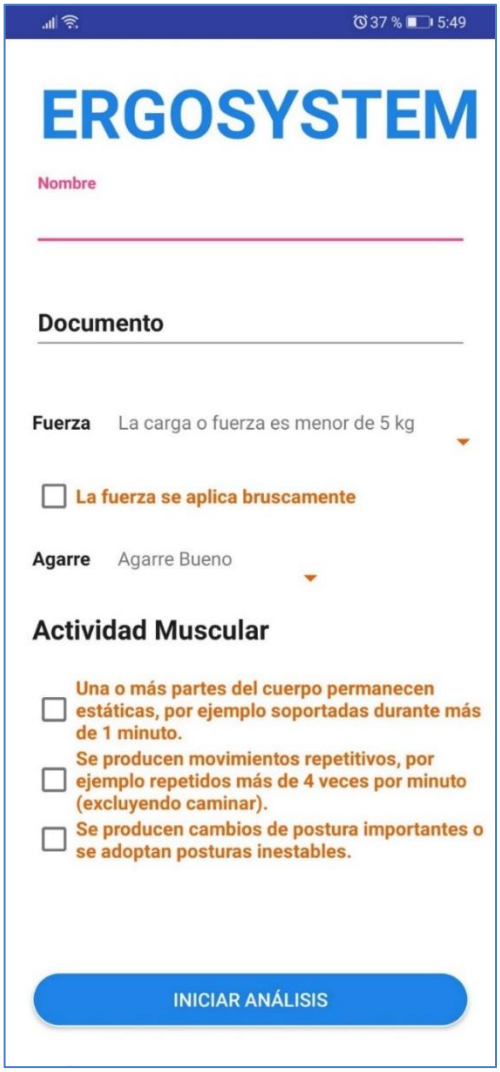


Figura 40. Vista de Ingreso de Datos

- **Análisis Ergonómico**

En esta ventana se comienza a analizar las posturas ergonómicas de la persona evaluada.

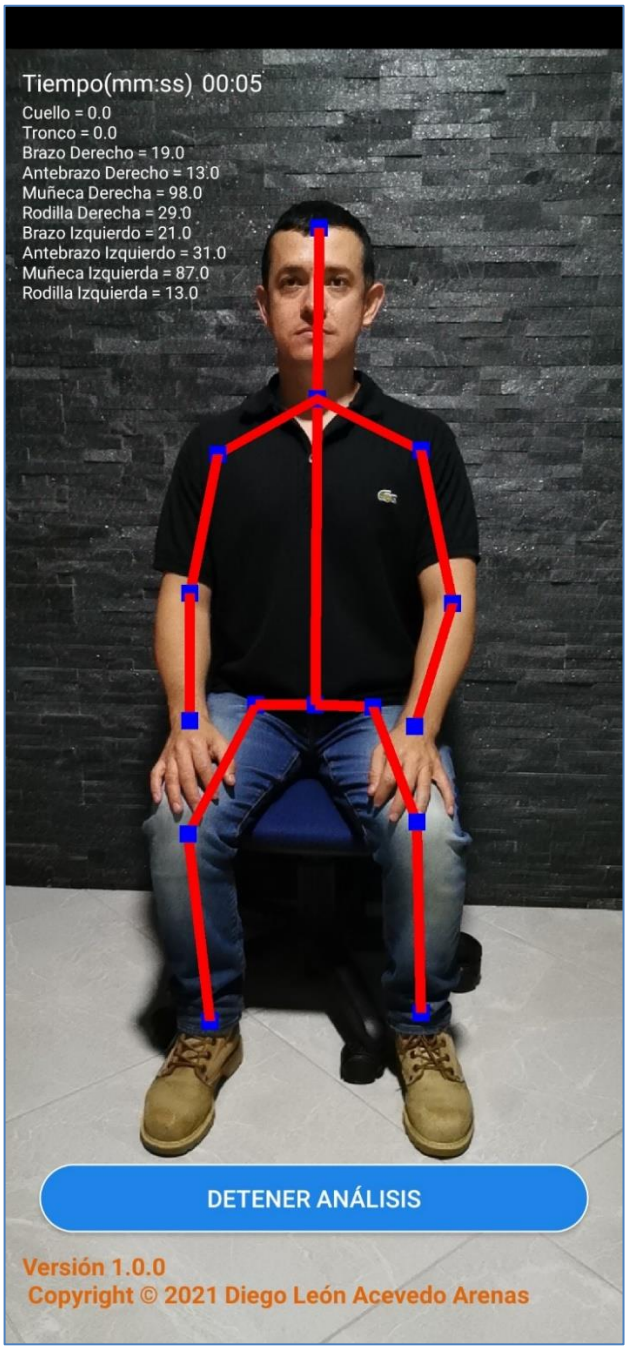


Figura 41. Vista de Análisis Ergonómico

Ver Análisis

En esta ventana se pueden ver los resultados del análisis ergonómico de la persona evaluada mediante el método ergonómico REBA (Rapid Entire Body Assessment).

Figura 42. Vista de Resultados de Análisis Ergonómico