



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Nombre del Centro

Trabajo Fin de Grado

PROTOTIPO MÓVIL PARA REHABILITACIÓN DE PACIENTES CON FRACTURAS EN MANO/DEDOS

Alumno: Juan Mira Núñez

Tutor: Prof. D. Juan José Jiménez Delgado
Dpto: Ingeniería Informática

Septiembre, 2019



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Informática

Don Juan José Jiménez Delgado, tutor del Proyecto Fin de Carrera titulado:
Prototipo móvil para rehabilitación de pacientes con fracturas en mano/dedos, que
presenta Juan Mira Núñez, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la
Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, Septiembre de 2019

El alumno:

Los tutores:

Juan Mira Núñez

Juan José Jiménez Delgado

Índice

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Resumen.....	5
1.2. Motivación.....	5
1.3. Objetivos	6
1.4. Estructura del documento	7
2. ANTECEDENTES	8
2.1. Patologías asociadas	8
2.2. Movimientos de cada articulación.....	12
2.3. Aplicaciones existentes	17
3. DISEÑO DE LOS EJERCICIOS	18
4. PLANIFICACIÓN.....	25
4.1. Metodología. Prototipado evolutivo o incremental	25
4.1.1. Ventajas.....	26
4.1.2. Etapas.....	27
4.1.3. Ciclo de vida	27
4.2. Tareas.....	28
4.3. Estimación de tiempos y costes	29
4.4. Tecnologías utilizadas.....	31
4.4.1. Unity.....	31
4.4.2. Excel	33
4.5. Sensores del dispositivo móvil utilizados.....	33
5. DESARROLLO DEL PROTOTIPO	34
5.1. Iteración 0	34
5.2. Iteración 1	35
5.2.1. Diseño.....	35
5.2.2. Desarrollo.....	35
5.2.3. Validación	37
5.3. Iteración 2	37
5.3.1. Diseño.....	37
5.3.2. Desarrollo.....	37
5.3.3. Validación	47
5.4. Iteración 3	47

5.4.1.	Diseño.....	48
5.4.2.	Desarrollo.....	48
5.4.3.	Validación	48
5.5.	Iteración 4	48
5.5.1.	Diseño.....	48
5.5.2.	Desarrollo.....	49
5.5.3.	Validación	49
5.6.	Aspectos de mejora.....	50
6.	PRUEBAS SOBRE PACIENTES.....	50
6.1.	Resultados obtenidos.....	53
6.1.1.	Paciente 1. Pedro José	53
6.1.2.	Paciente 2. Víctor.....	55
6.1.3.	Paciente 3. Dury.....	57
6.1.4.	Paciente 4. Salvador	59
6.1.5.	Paciente 5. Juan	61
6.1.6.	Paciente 6. Javier.....	63
6.1.7.	Paciente 7. Alfonso	66
6.1.8.	Paciente 8. Pilar.....	68
6.1.9.	Paciente 9. Araceli	70
6.1.10.	Paciente 10. Pedro Javier	72
6.1.11.	Paciente 11. Luis Miguel	74
7.	CONCLUSIÓN	77
	Bibliografía	81
	ANEXOS	82
	Anexo I. Manual de instalación	82
	Anexo II. Manual de uso	88
	Anexo III. Cuestionario de evaluación.....	95
	Anexo IV. Diagrama de clases.....	96

AGRADECIMIENTOS

A mi entorno familiar, por apoyarme y ayudarme en todo momento confiando en mí sabiendo que la meta no era fácil. Sin vosotros no estaría donde estoy.

A mis amigos, por sus ánimos en los momentos difíciles aunque la distancia fuese grande siempre han estado ahí.

A mis amigos y compañeros de la universidad, por la ayuda mutua durante toda la carrera siempre que fuese necesario.

Al profesorado, por formarme e instruirme a nivel académico y enseñarme lo que realmente compone la Ingeniería Informática.

A M^a Catalina Osuna, fisioterapeuta de la universidad, por su tiempo, recomendaciones y correcciones para conseguir los objetivos de la aplicación.

A Pilar, Pedro José, Víctor, Dury, Salvador, Javier, Alfonso, Araceli, Pedro Javier y Luis Miguel, por su tiempo y ayuda de forma desinteresada para poder realizar el estudio sobre pacientes con lesiones reales.

A todas las personas que en algún momento me hayan ayudado, gracias.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Resumen

Actualmente no existen aplicaciones para dispositivos móviles especialmente diseñadas para la rehabilitación de pacientes con fracturas en la mano o en los dedos, en general, pacientes con baja movilidad gestual potencialmente recuperable.

El propósito general de este proyecto es diseñar un prototipo de aplicación la cual proporcione un medio para la realización de ejercicios de rehabilitación para pacientes según la lesión que tenga. La rehabilitación suele consistir en ejercicios que se realizan con los dedos, muñeca, mano, etc.

Se trata de realizar una aplicación que facilite esta rehabilitación, usando como herramienta de apoyo en la que se diseñen diversos ejercicios que se lleven a cabo con el dispositivo, a través de sus acelerómetros y/o pantalla táctil, controlando la efectividad de dichos ejercicios y su correcta realización.

1.2. Motivación

El hecho de poder combinar las facilidades que nos aporta la evolución de las tecnologías con la medicina es algo que se está haciendo cada vez más presente en nuestros días. Por ello, la idea de combinar un software que permita dar apoyo en las tareas de rehabilitación de un paciente es algo que en un futuro próximo será bastante habitual.

Los traumatismos de mano y muñeca en la causa más frecuente tratada en Urgencias, de estos casos el 60% están asociados a lesiones de las falanges (distales, proximales o medias) y el resto a los metacarpianos.

Por otro lado, mi relación con el balonmano, un deporte que es propicio a tener lesiones en las manos, me toca muy de cerca y tras años realizando este deporte hubiese sido una buena opción haber dispuesto de alguna aplicación que ayudase en épocas de recuperación o ejercitación de las manos en los momentos previos a los partidos.

Otro deporte propenso a lesiones de mano es el baloncesto. La dimensión del balón y su dureza hace que sea bastante frecuente sufrir una capsulitis articular. Esta se produce tras recibir un impacto del balón sobre el dedo cuando está estirado, o tras sufrir un enganche del mismo con uno mismo o con otro jugador. Por cercanía familiar y de amigos sabemos que es una recuperación lenta y dolorosa, esto hace que sea otro punto de motivación poder ayudar para acortar esos tiempos de recuperación.

1.3. Objetivos

La idea general de este proyecto es conseguir un prototipo que permita ayudar en la rehabilitación de pacientes con fracturas de dedos o manos. Es decir, que durante el periodo de recuperación del paciente se utilice el prototipo como ejercicios extra en casa y que puedan ser monitorizados para que quede constancia de que se han realizado los ejercicios en casa y que se realizan correctamente.

Por lo tanto para conseguir esto se marcan los siguientes objetivos en el proyecto:

- Determinar un conjunto de ejercicios de rehabilitación para pacientes con fracturas de mano/dedos. Esto implicará clasificar los ejercicios en bloques dependiendo de la lesión y diseñar los ejercicios para un bloque en concreto.
- Estudiar las posibilidades de llevar a cabo un sistema que supervise la realización de dichos ejercicios de rehabilitación con un dispositivo móvil. El objetivo es dejar constancia de que los ejercicios se realizan de forma correcta, por lo tanto se diseñarán los ejercicios de forma que obliguen a hacerse solo de manera correcta y además se medirá el tiempo o cualquier otro parámetro para almacenarlo y poder seguir una evolución del paciente sobre ese ejercicio.
- Desarrollar un prototipo de aplicación para dispositivo móvil que supervise la rehabilitación. Implica llevar a cabo todos los requisitos y objetivos del proyecto obteniendo como resultado una aplicación para dispositivo móvil.

- Estudio de usabilidad y eficacia de dicho prototipo sobre pacientes. Esto se realizará de forma que al realizar las pruebas sobre los pacientes se recogerán los datos obtenidos y se realizará un estudio sobre los mismos para ver si el prototipo sirve de ayuda. Además, se les pasará un cuestionario de valoración para estudiar la opinión de los pacientes sobre el prototipo y plantear así posibles mejoras.

1.4. Estructura del documento

La estructura del documento está diferenciada por 7 bloques en los que en cada uno se detallará concretamente el contenido específico para ese punto. Los bloques que se encontrarán son los siguientes:

1. **Introducción:** en este apartado se hace un resumen general sobre el proyecto, los motivos por los cuales se lleva a cabo junto con los objetivos a conseguir.
2. **Antecedentes:** se detallarán las patologías asociadas a la mano que puede padecer el lesionado, los movimientos permitidos para cada articulación de la mano y un estudio sobre aplicaciones existentes de este tipo.
3. **Diseño de los ejercicios:** este apartado consiste en pensar cómo funcionarán los ejercicios de manera que se hagan correctamente con un dispositivo móvil, todos los ejercicios se validarán con un fisioterapeuta.
4. **Planificación:** aquí se detallará la metodología a utilizar, las tareas que se llevarán a cabo, la estimación de tiempos y de costes y las tecnologías que se utilizarán.
5. **Desarrollo:** este será el apartado más largo pues consiste en el desarrollo del prototipo, estará formado por iteraciones que tendrán tres etapas (diseño, desarrollo y validación) en cada ciclo de vida. Habrá tantas iteraciones como requisitos o grandes tareas se marquen al principio.
6. **Pruebas sobre pacientes:** será la parte crucial del proyecto, consistirá en probar el prototipo sobre pacientes reales para ver si es de ayuda en

la rehabilitación, para cada paciente se recogerán sus datos y se calcularán los parámetros para después compararlos conjuntamente.

7. **Conclusión:** en este apartado se discutirán los resultados obtenidos de todos los pacientes, y se sacarán las conclusiones finales sobre la utilidad del prototipo.

También mencionar que en el final del documento se recogerán tanto la bibliografía utilizada como los anexos del proyecto.

2. ANTECEDENTES

2.1. Patologías asociadas

En primer lugar se detallarán los huesos que conforman la mano y que posteriormente se irán citando. (Ilustración 1)



Ilustración 1. Representación de los huesos de la mano

Entre las fracturas de la mano y muñeca se encuentran las siguientes:

- **Fractura del extremo distal del radio**

Una fractura distal del radio casi siempre ocurre más o menos a 1 pulgada del extremo del hueso. Una de las fracturas distales más comunes del radio es una

fractura de Colles, en la que el fragmento quebrado del radio se inclina hacia arriba como se puede ver en la ilustración 2.



Ilustración 2. Fractura de Colles

Este tipo de fracturas se pueden ver en pacientes normales (sanos) u osteoporóticos (normalmente mujeres osteoporóticas que se caen).

- **Fracturas del hueso del carpo Escafoides**

El escafoides es el hueso más largo de la primera fila del carpo. Un 80% está recubierto por cartílago. El escafoides se articula con el radio, semilunar, grande, trapecio y trapezoide. (Ilustración 3)

Lo más importante del escafoides es su función biomecánica ya que actúa como eslabón entre las dos filas carpianas, sin embargo, a pesar de su importante función tiene una vascularización precaria (80% de ramas dorsales viene de ramas dorsales, otra parte viene de la articulación radial).



Ilustración 3. Posición del escafoides.

- **Fracturas de otros huesos del carpo**

Son infrecuentes y tienen los síntomas clásicos de las fracturas. Este tipo de fracturas suelen producirse asociadas, como por ejemplo el síndrome de Fenton que ocurre cuando se fracturan escafoides y grande a la vez.

Además de fracturas del piramidal también se pueden encontrar en el gancho del ganchoso (Os Hamatum), muy frecuentes en jugadores de golf o tenis y se producen a causa del estrés.

Entre las fracturas y luxaciones carpianas se pueden encontrar disociación escafo-semilunar (afecta al ligamento radio-escafo-semilunar y al escafo-semilunar), disociación luno-piramidal (afecta al ligamento luno-piramidal), luxación perilunar (luxación del carpo hacia dorsal con el semilunar in situ), luxación del semilunar (luxación volar del semilunar mientras que el resto del carpo permanece alineado con el radio).

- **Fracturas metacarpianas**

Este tipo de fracturas son no desplazadas. Las fracturas del tercer metacarpo son las más estables, después irán las del cuarto, segundo y quinto. Además, las diafisarias transversales y las oblicuas son las más inestables.

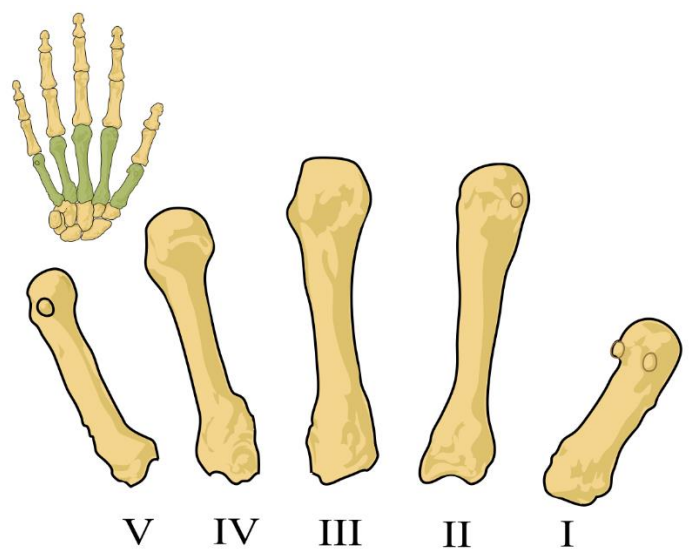


Ilustración 4. Posición de los metacarpos.

La fractura del cuello metacarpiano y la del dedo 5 son conocidas como la fractura del boxeador. En general ocurre cuando se golpea un objeto con el puño cerrado y el nudillo se dobla hacia la palma de la mano.



Ilustración 5. Fractura del boxeador.

También mencionar la fractura-luxación de Bennet (fractura intraarticular de la base del primer metacarpiano) y la fractura del Rolando (produce la fractura en tres fragmentos, generalmente en forma de “T” o de “Y”).

- **Fracturas de las falanges.**

Suelen ser benignas y es importante tener en cuenta la posición de las uñas. Normalmente el tratamiento se realiza con férulas o vendajes escayolados con el dedo malo unido al sano adyacente. Hay férulas especiales como la férula dorsal extensora, para fractura o arrancamiento de la tercera falange.

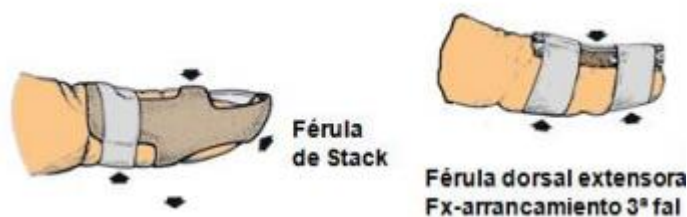


Ilustración 6. Tipos de férulas para las falanges.

Otras afecciones quirúrgicas de la mano son:

- **Tendinitis de DeQuervain.**

Se suele dar sobre todo en el sexo femenino. Localizada en la primera corredera tendinosa sobre el borde radial. Se produce una fibrosis del ligamento

anular de la corredera, lo que provoca un dolor crónico al hacer una inclinación cubital de la corredera (movimiento muy común al servir una cafetera o jarra).

- **Tenosinovitis estenosante de correderas digitales**

También llamado “dedo en resorte” o “dedo en gatillo”. Se da sobre todo en mujeres entre 40-60 años. También es frecuente en el pulgar de un recién nacido, en personas con infecciones como la tuberculosis y en personas con artritis reumatoide.

Se produce dolor o bloque de la extensión del dedo que puede ser vencido (el bloqueo) con la extensión pasiva y da la sensación de chasquido o resorte. Se produce porque hay un conflicto de tamaño entre el tendón y la vaina que le rodea en la polea A1 en la parte distal metacarpiana.

- **Enfermedad de Dupuytren**

Es un engrosamiento nodular con acortamiento o retracción de la fascia palmar. Se suele dar en varones y suele tener cierto componente familiar. Está asociada con trabajos relacionados con traumatismos de repetición.

Es una fibrosis en la fascia palmar de origen desconocido que provoca el cierre progresivo de la mano por retracción de la aponeurosis palmar superficial

2.2. Movimientos de cada articulación

Para poder centrarnos en los ejercicios de rehabilitación primero se necesitará saber cuáles son los movimientos naturales de cada articulación de la mano y ángulos de apertura.

- **Muñeca**

Para la muñeca existen dos movimientos tanto horizontal como verticalmente partiendo desde una posición inicial llamada posición 0. La medición de los ángulos se basará en dos distintas medidas dadas por la Asociación para el estudio de la Osteosíntesis (AO) y la Academia Americana de Cirujanos Ortopédicos (AAOS). Ambas siglas corresponden con sus traducciones.

Verticalmente existen los siguientes movimientos:

- Flexión, en el eje negativo bajar la mano de 0-50°/60° según AO y de 0-80° según AAOS.
- Extensión, en el eje positivo subir la mano de 0-35°/60° según AO y de 0-70° según AAO

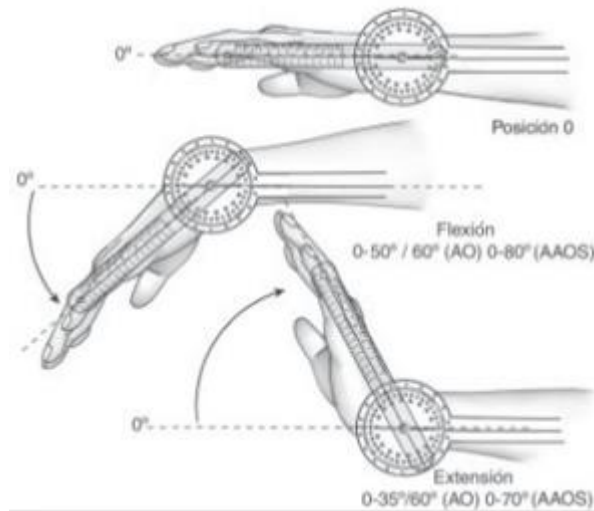


Ilustración 7. Flexión y extensión de la mano.

Y horizontalmente se encuentran los siguientes:

- Desviación radial, girar la mano hacia el interior de 0-25°/30° según AO y de 0-20° según AAOS.
- Desviación cubital, girar la mano hacia el exterior de 0-30°/40° según AO y de 0-30° según AAOS.

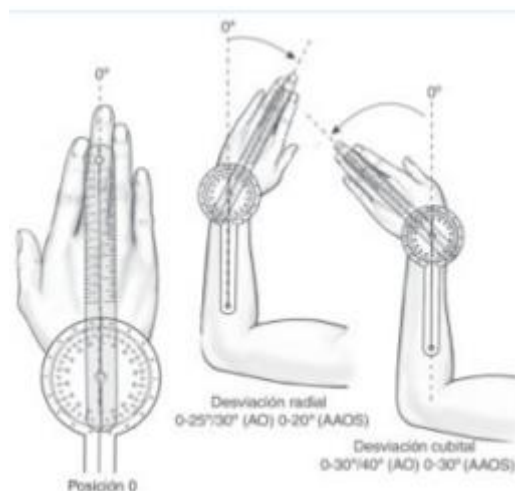


Ilustración 8. Desviaciones de la mano.

- **Pulgar**

Partiendo de la posición 0 existe 3 tipos de movimientos para el pulgar y para las distintas articulaciones del pulgar:

- Abducción, separar el pulgar hacia el exterior de 0-70° según AO y AAOS.
- Aducción, recuperar el movimiento anterior formando 0° según AO y AAOS.
- Oposición, llevar el dedo hacia la palma de la mano. Es el movimiento natural del pulgar para coger algo.

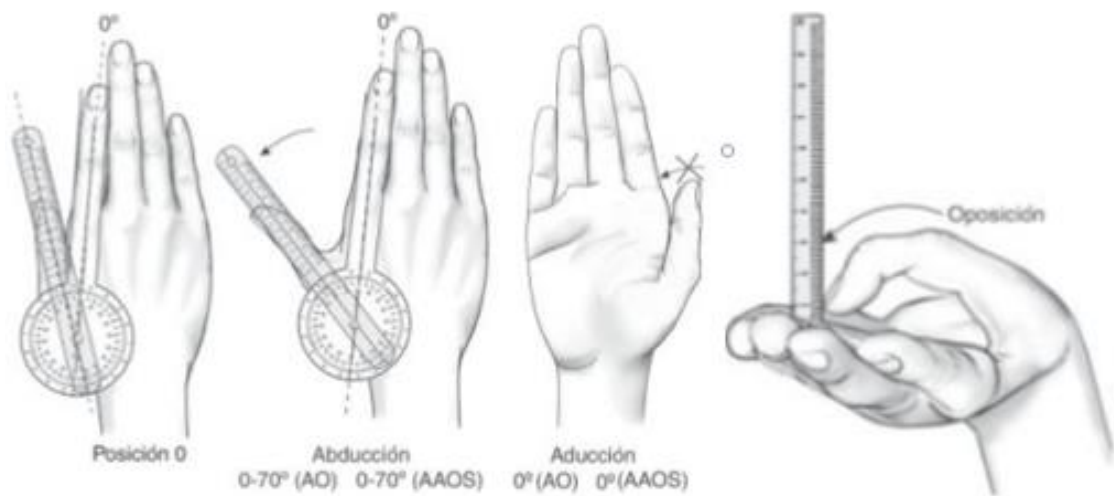


Ilustración 9. Movimientos del pulgar.

- Articulación metacarpofalángica
 - Flexión, doblar el pulgar hacia el interior de 0-50° según AO y AAOS.
 - Extensión, recuperar la posición cero ya que no hay variación.

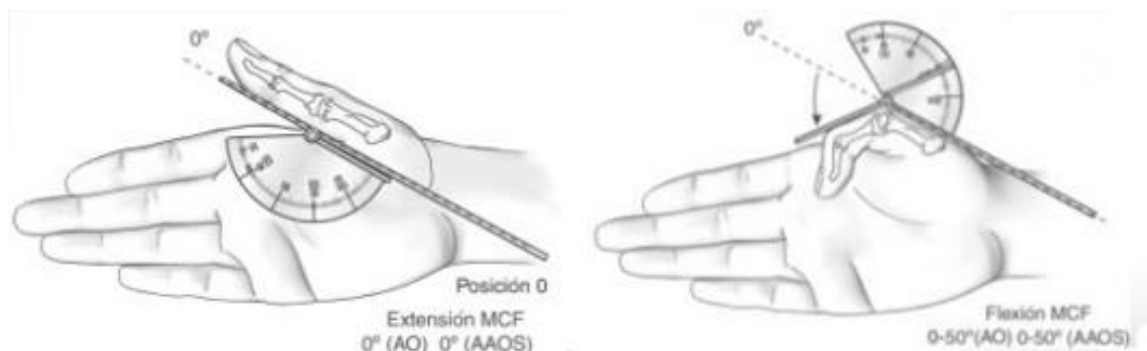


Ilustración 10. Movimientos de la articulación metacarpofalángica pulgar.

- Articulación interfalángica
 - Flexión, doblar la falange del pulgar de 0-80° según AO y AAOS.

- Extensión, desde la posición 0 doblar hacia el exterior de 0-20° según AO y AAOS

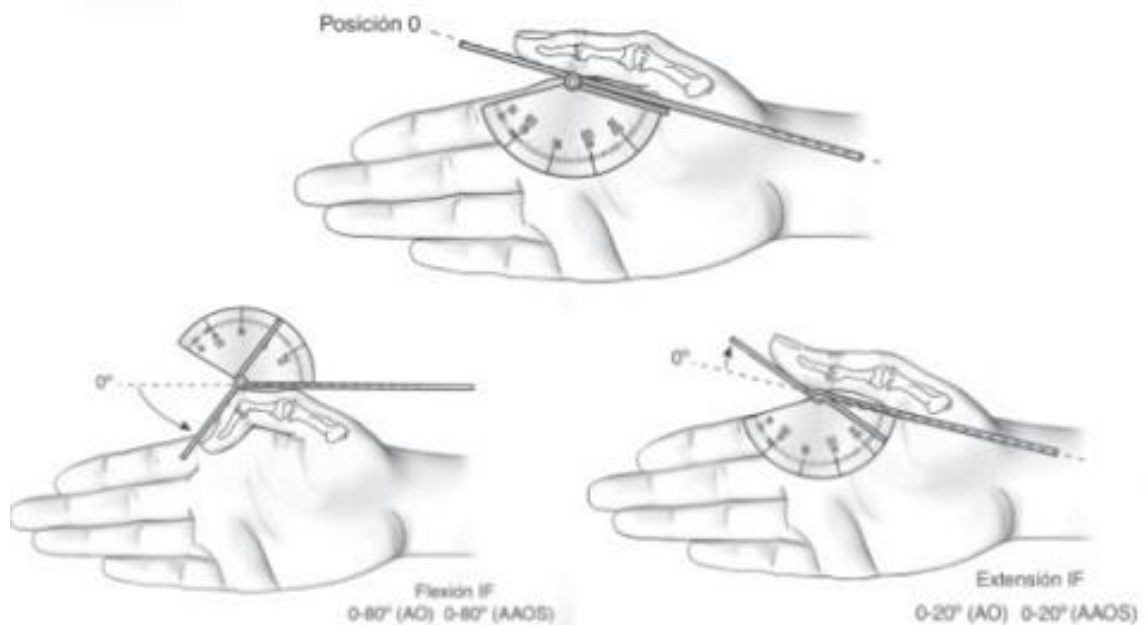


Ilustración 11. Movimientos de la articulación interfalángica pulgar.

- **Dedos**

Se clasifican los movimientos según su articulación:

- Articulación metacarpofalángica
 - Flexión, doblar el dedo hacia el interior de la palma de 0-90° según AO y AAOS.
 - Extensión, estirar el dedo hacia el exterior de 0-30° según AO y de 0-45° según AAOS.

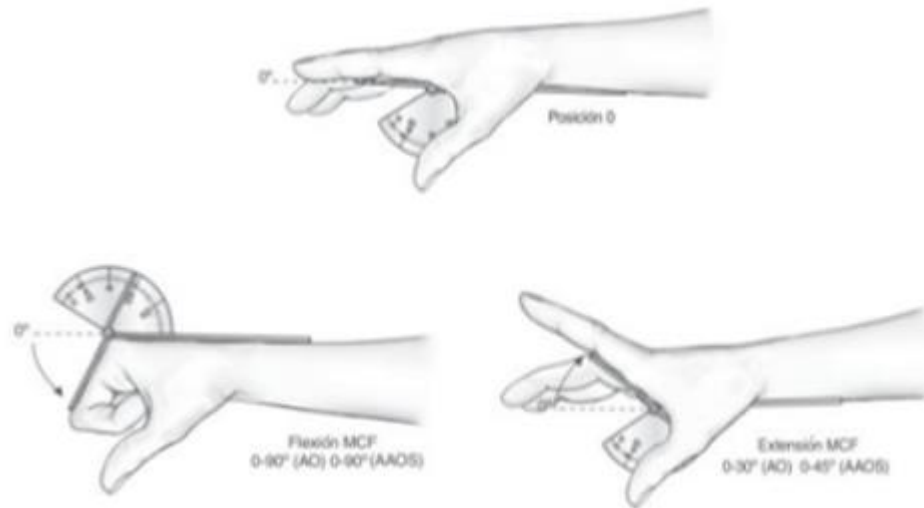


Ilustración 12. Movimientos de la articulación metacarpofalángica del dedo.

- Articulación interfalángica proximal
 - Flexión, doblar el dedo hacia el interior de 0-100° según AO y AAOS.
 - Extensión, corresponde con la posición 0 ya que no hay variación.

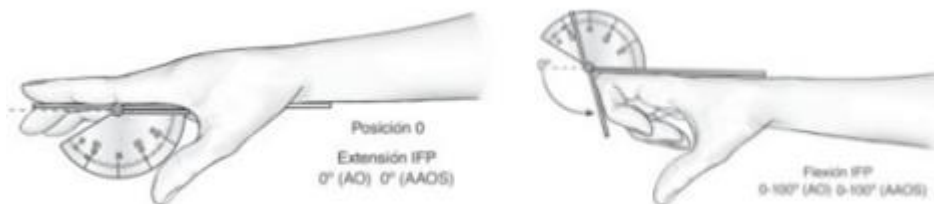


Ilustración 13. Movimientos de la articulación interfalángica proximal del dedo.

- Articulación interfalángica distal
 - Flexión, doblar el dedo hacia el interior de 0-90° según AO y AAOS.
 - Extensión, corresponde con la posición 0 ya que no hay variación.

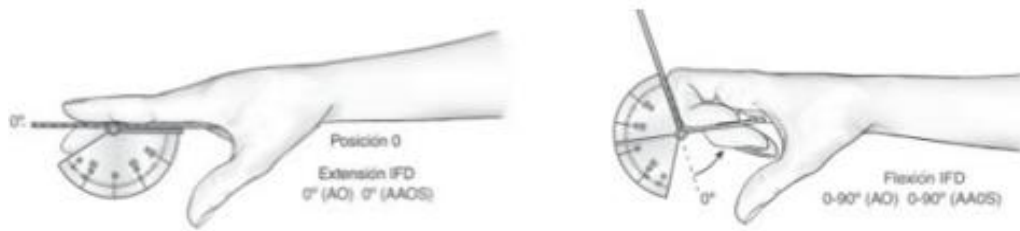


Ilustración 14. Movimientos de la articulación interfalángica distal del dedo.

2.3. Aplicaciones existentes

Entre las gran cantidad de app existentes destacan las tres más populares relacionadas con el tema de la rehabilitación.

- **Pt Pal Pro**

Pt Pal permite a los fisioterapeutas y médicos enviar instrucciones, tareas de autocuidado, encuestas, ejercicios y direcciones de actividad directamente al teléfono o tableta de sus pacientes. Por medio de esta app se proporciona un conjunto de instrucciones claras que indican exactamente qué hacer, cómo hacerlo correctamente (con un vídeo) y programar los días para hacerlo, incluyendo en el caso de los ejercicios la frecuencia (es decir, cuántas veces por día se debe realizar el ejercicio) y la duración (es decir, por cuánto tiempo se ejecuta el ejercicio).

Pt Pal también hace un seguimiento de lo que le fue asignado al paciente, de lo que este realiza o deja de realizar y todos los datos le llegan al médico para su evaluación y seguimiento.

Esta aplicación es gratuita, se puede bajar en español y en gran cantidad de idiomas y está disponible para iOS y Android.

- **Physioadvisor**

Todo el contenido fue construido por fisioterapeutas altamente experimentados y cuenta con más de 500 ejercicios con 800 imágenes, incluidas instrucciones detalladas sobre cómo realizar los ejercicios correctamente.

Con esta app el fisioterapeuta puede enviar un programa de rehabilitación personalizado al dispositivo de su paciente. Además, posee una útil función de recordatorio que le asegura al paciente nunca olvidar su rutina de ejercicios.

Physioadvisor está disponible tanto para iOS como para Android. Lamentablemente esta aplicación no existe en español, pero se pueden aprovechar los excelentes videos e imágenes.

- **Muscle Premium**

Esta aplicación proporciona docenas de modelos de lesiones y afecciones músculo-esqueléticas comunes.

Muscle Premium es una app increíblemente recomendada para fisioterapeutas, entrenadores deportivos, masajistas y especialistas ortopédicos. Viene en 7 idiomas incluyendo español y está disponible para iPhone e iPad.

A modo de **conclusión**, todas estas aplicaciones proporcionan información sobre las lesiones, cómo recuperarse y los ejercicios de rehabilitación para una lesión determinada. Pero a diferencia de nuestro prototipo, estas aplicaciones no monitorizan los ejercicios para saber si el paciente los está realizando de la manera correcta y en el tiempo correcto.

3. DISEÑO DE LOS EJERCICIOS

El diseño de los ejercicios se centrará en diseñar al menos un ejercicio para cada tipo de movimiento que anteriormente se han mencionado. De esta manera se separarán los ejercicios en tres bloques distintos dependiendo de la lesión que se vaya a tratar.

- **Muñeca**
 - **Flexión y extensión**

Para provocar este tipo de movimiento durante la realización del ejercicio lo que se hará será sostener el móvil con la mano de manera horizontal y se flexiona hacia nosotros la mano y se extiende hacia afuera (Ilustración 15). Visualmente en el móvil se verá una pelota que se mueve en función del movimientos del móvil, por lo tanto si se inclina hacia un lado la pelota se moverá y así llevar la pelota hacia los objetivos que serán una zona iluminada. Para el caso de realizar el ejercicio con la palma hacia abajo se ha añadido un sonido al llevar la bola al objetivo para tener así un estímulo acústico y poder avanzar.



Ilustración 15. Posición del móvil para realizar flexión y extensión.

- **Desviación cubital y radial**

El diseño de este ejercicio se basará en lo anterior pero con la diferencia de que se obliga a hacer el movimiento de distinta forma ya que los objetivos estarán en otra posición y para alcanzarlos habrá que inclinar el móvil hacia izquierda o derecha (Ilustración 16).



Ilustración 16. Posición del móvil para realizar desviación cubital y radial.

- **Combinación**

Este ejercicio consistirá en la combinación de los dos tipos de movimientos anteriores a la vez, la idea general es que haya cuatro pelotas de distintos colores y sus respectivos objetivos del mismo color. La dificultad de este ejercicio viene dada porque todas las pelotas se moverán a la vez y en la misma dirección cuando se incline el dispositivo.

- **Pulgar**

- **Oposición**

La oposición, es la facultad de poner el pulpejo del pulgar por delante de la palma y en ella, generalmente, el pulgar se dirige al encuentro de otro dedo, con mayor frecuencia del índice. Para realizar este movimiento con el móvil lo que se hace será obligar a cogerlo como en la ilustración 17 y hacer que con el dedo pulgar toque repetidamente un objeto que esté situado en el otro extremo de la pantalla. De esta forma se obliga a levantar el pulgar (repitiendo los toques en la pantalla) y a repetir el movimiento de oposición al tocar otra vez.



Ilustración 17. Posición del móvil para realizar oposición del pulgar.

- **Flexión y extensión de la articulación metacarpofalángica e interfalángica**

En este caso se aprovechará para combinar las dos articulaciones en un mismo ejercicio. La idea será que nuevamente habrá cuatro bolas de distintos colores ubicadas prácticamente en cada extremo de la pantalla y cuatro zonas objetivo en la parte contraria a ellas. Las pelotas se moverán arrastrando con el pulgar, de esta manera cogiendo el móvil como en la ilustración 17 se obliga tanto a la flexión como a la extensión de ambas articulaciones para llevar las pelotas de un lado a otro.

- **Abducción y aducción**

Para realizar este ejercicio hay que dejar apoyado el móvil en una superficie plana y colocar la mano de forma contigua al móvil quedando solo el pulgar sobre la pantalla (Ilustración 18). El objetivo es que, sin mover la mano, solamente con el movimiento del pulgar abriendo y cerrando se lleve arrastrando la bola a la zona objetivo obligando así a hacer este movimiento.

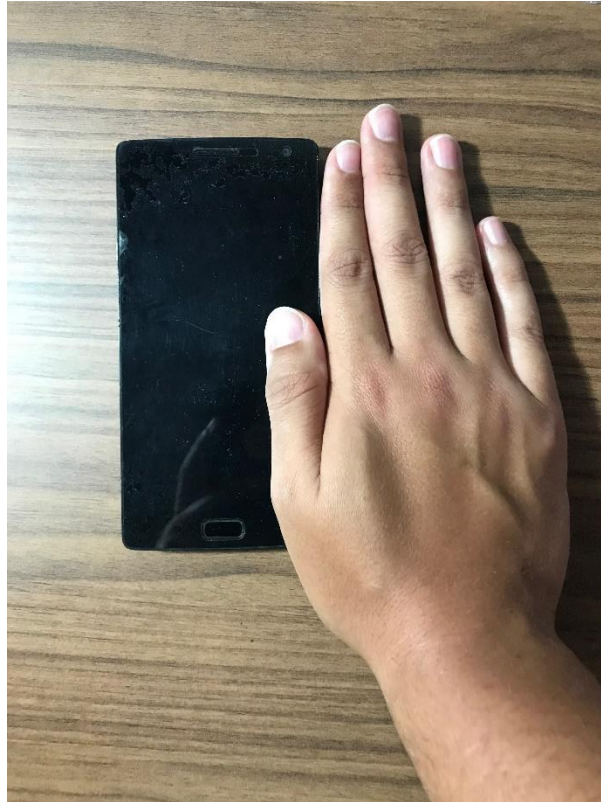


Ilustración 18. Posición del móvil para realizar abducción y aducción del pulgar.

- **Combinación**

Por último, los tres movimientos anteriores a la vez lo que se hace será obligar a coger el móvil como en la ilustración 15 se pondrá el mismo objetivo que será tocar a un objeto que estará en la escena. Pero con la diferencia de que esta vez con cada toque el objeto cambiará su posición así se obliga a hacer todos los movimientos, el de oposición al realizar los toques, las flexiones de las articulaciones al cambiar la posición del objeto y la abducción y aducción por el mismo motivo.



Ilustración 19. Posición del móvil para realizar el ejercicio de combinación.

- **Dedos**

Para la lesión en los dedos se englobarán los ejercicios para poder realizarlo con todos ellos (índice, corazón, anular y meñique).

- **Flexión y extensión de la articulación metacarpofalángica**

Para tratar estos movimientos se parte de la idea de que hay que realizarlos con los dedos estirados (Ilustración 20). Para ello, con el móvil apoyado en la mesa se obligará a poner dos dedos tocando sobre la pantalla (el dedo lesionado sobre la pelota y un dedo contiguo al lesionado en una zona de seguridad) de esta forma y sin levantar ninguno de los dedos arrastrar con el dedo lesionado a la zona objetivo. En resumen, el ejercicio se realiza de forma correcta teniendo siempre dos dedos tocando la pantalla con la punta de los dedos teniéndolos estirados, así se fuerza a hacer el recorrido de esta articulación.



Ilustración 20. Posición del móvil para realizar flexión y extensión del dedo.

- **Flexión y extensión de las articulaciones interfalángica proximal y distal**

Siguiendo la idea del ejercicio anterior, se varía la forma de la posición de la mano, pudiendo ahora flexionar los dedos para usar estas articulaciones al realizar el movimiento. La zona objetivo estará en dos localizaciones que faciliten este tipo de movimiento.



Ilustración 21. Posición del móvil para realizar flexión y extensión de las articulaciones proximal y distal del dedo.

- **Combinación unir con líneas**

Para combinar los movimientos anteriores se hace una especie de unir los puntos con líneas, de esta forma al obligar a hacer formas como números arrastrando el dedo por la pantalla de pelota en pelota se conseguirá obligar a extender y flexionar el dedo lesionado. El móvil estará colocado sobre la mesa y solo se permite el movimiento del dedo lesionado, es decir, mantener la mano parada.

4. PLANIFICACIÓN

En este apartado se detallará la planificación, el modelo de desarrollo elegido, las etapas o ciclos de vida por las que pasará el prototipo. Se marcarán los plazos de tiempo establecidos para cumplir los objetivos propuestos.

4.1. Metodología. Prototipado evolutivo o incremental

El modelo de ciclo de vida de software es una representación abstracta de un proceso de software. El software, como todos los sistemas complejos, evoluciona por lo que no es extraño que a medida del desarrollo de un software los

requerimientos del negocio y del proyecto también cambien. Es por ello que se presenta este modelo de ciclo de vida, el Prototipado evolutivo.

El modelo de prototipos permite que todo el sistema, o algunas de sus partes, se construyan rápidamente para comprender o aclarar aspectos. Tiene el mismo objetivo que un prototipo de ingeniería donde los requisitos o el diseño requieren de la investigación repetida para asegurar que el desarrollador, el usuario y el cliente tengan una comprensión unificada tanto de lo que se necesita como de lo que se propone como solución.

4.1.1. Ventajas

Una de las mayores ventajas que presenta es que se pueden explorar alternativas de diseño a través de consulta con el cliente, como equipo de desarrollo se cree más de una reunión con el cliente fomentando así una alta comunicación con los usuarios y el desarrollador. Esto hace que se obtenga una visión unificada de lo que se necesita y lo que se propone como solución.

- Incertidumbre: cuando el cliente conoce los objetivos generales para el software pero no identifica los requisitos detallados de entrada, procesamiento o salida.
- Dudas: cuando el desarrollador no está seguro de la eficacia de algún algoritmo, de si el software se adaptará a un sistema operativo o de la forma de interacción humano-máquina.
- Reutilización: permite la reutilización del código ya que el trabajo realizado no se desecha sino que se empieza a trabajar de lo que ya se tiene.

En conclusión el modelo de prototipos es un paradigma que puede ser efectivo para la ingeniería del software. Para conseguir el éxito es primordial establecer las reglas desde el principio para que el prototipo sirva como mecanismo para la definición de requisitos y que a partir de él, aunque puede haber descartes de partes del prototipo, se busque el desarrollo de un software real y de calidad.

4.1.2. Etapas

- Planificación: en esta etapa se definirán los plazos para la gestión de desarrollo.
- Análisis: conocer lo que se quiere y cómo se quiere para centrarnos en ello.
- Implementación: en esta etapa se llevan a cabo las actividades que conlleva el desarrollo para la realización del proyecto tanto diseño como construcción.
- Puesta en producción: una vez implementado, se presenta al usuario final después de que se haya logrado completar el proceso de realización del proyecto, es decir, cuando se haya cubierto todos los requisitos solicitados por el cliente.

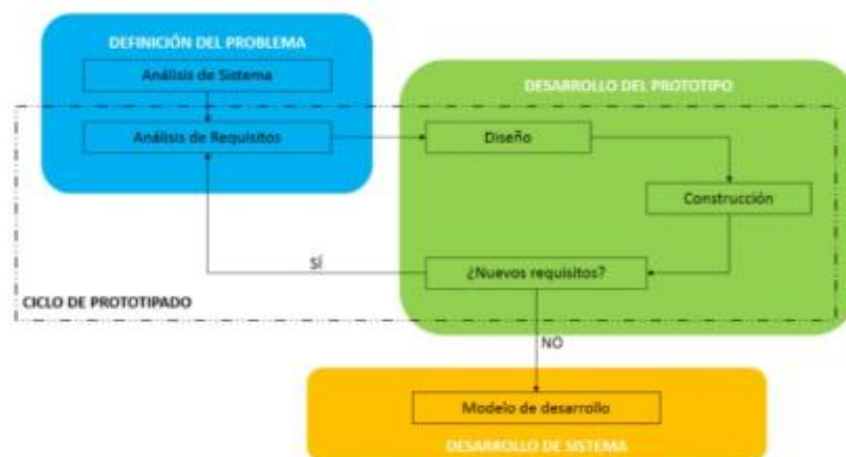


Ilustración 22. Esquema básico del ciclo de prototipado.

4.1.3. Ciclo de vida

El ciclo de vida determina todos los pasos que se hacen durante una iteración concreta y que dan paso a una nueva iteración.

- Requisitos del sistema
- Especificaciones: consiste en el detallar de los requisitos.
- Diseño del prototipo
- Implementación y prueba del prototipo
- Evaluación del prototipo y comunicación para refinamiento

Se repite este ciclo en caso de aparecer nuevos requisitos y las iteraciones que hagan falta hasta cubrir todos los requisitos. Una vez completado el prototipo se sigue con el diseño y el desarrollo final.



Ilustración 23. Esquema del ciclo de vida del prototipado.

4.2. Tareas

Las tres tareas principales de este proyecto serán el desarrollo, el estudio sobre pacientes y la documentación

- Desarrollo

Tras la recogida de requisitos se pasará al diseño y desarrollo. Cada iteración se centrará en unos requisitos de forma que se desarrolle el código y se pruebe con el cliente para poder así validar ese incremento o avance y recoger los nuevos requisitos para la nueva iteración.

- Estudio sobre pacientes

Para saber la eficacia que tendrá nuestro proyecto sobre pacientes reales, se realizará un estudio. Puesto que los ejercicios serán monitorizados y tendrán medidas tales como tiempo o frecuencia de movimientos por minuto, se podrá realizar el seguimiento del paciente durante unos días usando la aplicación.

De esta manera, si el paciente mejora los tiempos o el número de frecuencias notablemente y de forma más rápida que dejando recuperar la lesión, se podrá determinar si la aplicación es útil y realmente ayudaría en casos de rehabilitación para poder realizar ejercicios como complementación a los que realizarías con tu fisioterapeuta.

- **Documentación**

La documentación de este proyecto se realizará de forma paralela al desarrollo y se terminará completando una vez se tengan las pruebas realizadas con los pacientes y sus resultados. Se detallarán aparte un cuestionario de valoración del prototipo que se les pasará a los pacientes y que rellenarán una vez completados los días de rehabilitación.

Se incluirán un manual de instalación y puesta en marcha del prototipo en dispositivos Android y un manual de usuario de la misma.

Todos estos documentos se añadirán como anexos al final del proyecto.

4.3. Estimación de tiempos y costes

Se utiliza un diagrama de Gantt para la estimación del tiempo de desarrollo y su planificación. De esta manera se puede ver gráficamente el tiempo que nos llevará cada tarea del proyecto.

Los tiempos podrán variar hasta cierto límite y sin comprometer la fecha final del proyecto.

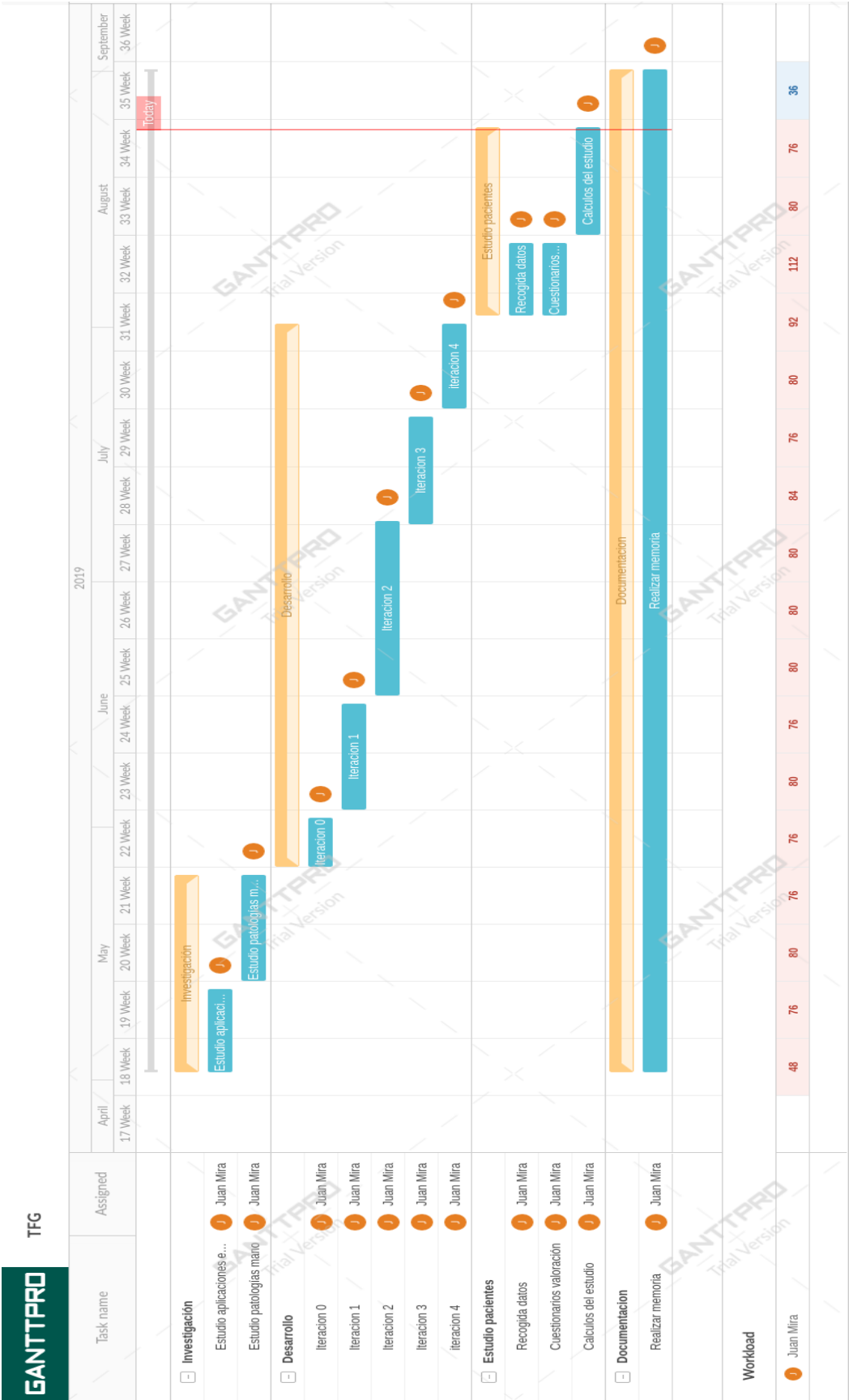


Ilustración 24. Diagrama de Gantt.

Para la estimación del presupuesto hay que tener en cuenta tanto el personal como el material utilizado para el desarrollo de la aplicación, el tiempo de trabajo dedicado.

En este proyecto el personal es solo una persona y esta misma hará tanto de jefe de proyecto, de diseñador y de programador a la vez. Según el XVI convenio colectivo estatal de empresas de consultoría y estudios de mercados y de la opinión pública, se establece que un salario base para un titulado de grado medio es de 1.133.46€, más un plus salarial de 80.02€, con un horario laboral de ocho horas diarias. La empresa debe aportar a la Seguridad Social un 30,90% en concepto de cotizaciones sociales.

El trabajo de fin de grado estipula un total de 300 horas de trabajo autónomo, es decir corresponde a dos meses de trabajo a jornada completa.

Por otro lado el material necesario para el desarrollo es un equipo valorado aproximadamente en 700€ con una vida útil de cuatro años y también se requiere de un Smartphone Android valorado en 100€ con una vida útil de 4 años.

Por lo tanto, la amortización por uso en 4 meses del equipo es de 58,33€ para el ordenador y de 8,33€ para el Smartphone.

Recurso	€/mes	Coste Total
Personal	1.213,48 €	2.246,96 €
Seguridad Social	374,96 €	749,93 €
Ordenador	-	58,33 €
Móvil	-	8,33 €
Total	-	3.063,55 €

Tabla 1. Estimación de los costes

En conclusión, el presupuesto estimado es de 3.063,55 € contando con el personal y los equipos necesarios para realizar el prototipo en cuatro meses.

4.4. Tecnologías utilizadas

4.4.1. Unity

Unity es un motor de videojuego multiplataforma creado por Unity Technologies. Unity está disponible como plataforma de desarrollo para Microsoft

Windows, OS X, Linux. La plataforma de desarrollo tiene soporte de compilación con diferentes tipos de plataformas (Véase la sección Plataformas objetivo). A partir de su versión 5.4.0 ya no soporta el desarrollo de contenido para navegador a través de su plugin web, en su lugar se utiliza WebGL. Unity tiene dos versiones: Unity Professional (pro) y Unity Personal.

El éxito de Unity ha llegado en parte debido al enfoque en las necesidades de los desarrolladores independientes que no pueden crear ni su propio motor del juego ni las herramientas necesarias o adquirir licencias para utilizar plenamente las opciones que aparecen disponibles. El enfoque de la compañía es "democratizar el desarrollo de juegos", y hacer el desarrollo de contenidos interactivos en 2D y 3D lo más accesible posible a tantas personas en todo el mundo como sea posible.

Por lo tanto al darnos la facilidad de manejar contenidos 3d e integrarlo para cualquier dispositivo (en nuestro caso Android) nos hace decantar por desarrollar nuestro prototipo íntegramente en Unity. Ya que los ejercicios de rehabilitación serán orientados como si fueran minijuegos con los que obligar a hacer una acción concreta que ayude a la rehabilitación de esa lesión, se tratará de hacerlo todo en esta plataforma.

En cuanto a la gestión de los datos lo se integrará en Unity simplemente almacenando en un fichero de forma local en el dispositivo, y a la hora de gestionarlos dentro de la aplicación habrá que adoptar una solución a la hora de mostrarlos. Esta solución es crear una tabla dinámica a través de elementos de UI los cuales son creados y rellenados desde script. De esta forma se suple la falta de elementos como tablas ya que en Unity no existe nada de ello.

Otro motivo por el cual se elige es la facilidad con la que Unity permite exportar un proyecto a una plataforma. Para Android simplemente se necesita la sdk de la versión que se necesite. Además a través, el scripting que nos ofrece Unity en c# permite incluir las clase de Java de Android, de esta manera integrar clases de Android en Unity es muy sencillo y se utilizará para añadir clase que nos ayuden a integrar la acción de compartir de ese sistema operativo.

4.4.2. Excel

Microsoft Excel es una hoja de cálculo desarrollada por Microsoft para Windows, macOS, Android e iOS.

Cuenta con cálculo, herramientas gráficas, tablas dinámicas y un lenguaje de programación macro llamado Visual Basic para aplicaciones. Ha sido una hoja de cálculo muy aplicada para estas plataformas, especialmente desde la versión 5 en 1993, y ha reemplazado a Lotus 1-2-3 como el estándar de la industria para las hojas de cálculo. Excel forma parte de la suite de software Microsoft Office.

Se ha utilizado para calcular los resultados del estudio de manera ordenada y rápida. Permittiéndonos calcular la media, la varianza, la desviación típica y los porcentajes de mejora para cada paciente tras pasar sus resultados al Excel.

4.5. Sensores del dispositivo móvil utilizados

- **Acelerómetro**

Un acelerómetro es capaz de detectar que tu móvil se está moviendo en cierta dirección y con cuanta intensidad, pero dista mucho de hacerlo con la precisión necesaria hoy en día en aplicaciones como realidad virtual. Ahí es donde entra el giroscopio, que añade el registro de la rotación del dispositivo en todos sus ejes.

- **Giroscopio**

Suelen estar presente junto con el acelerómetro en los dispositivos móviles. Hoy en día están incluidos en casi todos los teléfonos móviles a la venta.

El giroscopio supone un registro mucho más preciso de la posición y movimiento del dispositivo. Uniendo sus datos con los del acelerómetro y otros sensores proporciona una información muy precisa de dónde se encuentra el teléfono y si se está moviendo o rotando en cualquier eje.

Mencionar que se utilizará Paint3D o Photoshop para alguna edición de fotos que sea necesaria para la aplicación pero que prácticamente la totalidad del proyecto se desarrollará en Unity.

5. DESARROLLO DEL PROTOTIPO

En este apartado se detallarán las diferentes fases por la que pasará el proyecto hasta llegar a su versión final. Se llamará a cada ciclo de vida del prototipo Iteración y en cada iteración se recogerán unos requisitos en concreto, se diseñarán, se desarrollarán y finalmente se validarán con el cliente con el fin de continuar el prototipo con su aprobación.

5.1. Iteración 0

En esta iteración se recogerán los requisitos generales que se necesiten solventar en este proyecto tras reunirnos con el cliente. En esta iteración no desarrollará nada, se recopilará información y se analizarán.

Tras mantener la reunión con el cliente se obtienen los siguientes requisitos para nuestro proyecto:

Requisitos
Desarrollar el prototipo en Unity, haciendo una interfaz navegable integrada en el propio sistema operativo.
Realizar ejercicios que monitoricen y cubran los movimientos básicos para cada lesión.
Permanencia de los datos, almacenar los datos de manera local.
Compartir los datos, para poder mandarlos por correo al fisioterapeuta.

Tabla 2. Requisitos del proyecto

Conocidos todos los requisitos se comienza una nueva iteración centrada en el primer requisito.

5.2. Iteración 1

Esta iteración se centrará en el requisito número uno: Desarrollar el prototipo en Unity, haciendo una interfaz navegable integrada en el propio sistema operativo.

5.2.1. Diseño

Para cumplir con el requisito lo que se hace será seguir una estrategia en el Canvas en la que se distribuyen nuestras distintas ventanas en paneles separados. Es decir, se tiene para el mismo canvas todos los paneles disponibles y se visualizará el panel que nos sea conveniente en cada momento.

Se implementará un mecanismo que permita saber cuál es el panel que está activo para así poder enlazarlos todos tanto como para avanzar como para poder regresar a la vista anterior.

5.2.2. Desarrollo

Como ya se ha mencionado nuestra escena contendrá un canvas con los distintos paneles. En cada panel se pondrán elementos como botones, imágenes o textos dependiendo de la función de ese panel.

Una vez rellenados todos los paneles con los elementos que se deseen, se añade un componente llamado “Canvas Group”, esto lo que permite será cambiar los paneles entre visibles y no visibles.

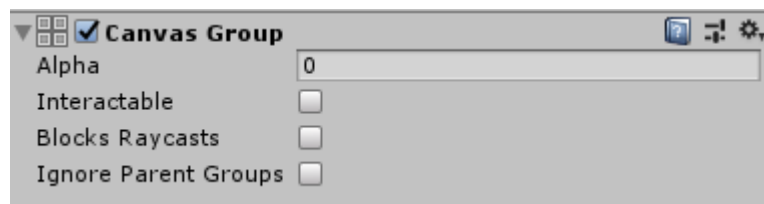


Ilustración 25. Componente Canvas Group.

El atributo alpha lo que hace es que si está a 0 el panel no se ve y si está a 1 el panel esta visible. El atributo interactable permite activar si se puede o no pinchar sobre la escena o si está habilitada para ello al igual que el atributo Blocks Raycast hace que capture o no los toques sobre esa interfaz.

Se crea un Script llamado Interfaz.cs que será el encargado de gestionar todos estos cambios entre los paneles desde código, habilitando y deshabilitando los paneles que correspondan.

La estructura básica de los métodos para los cambios es la siguiente:

```
public void activarPanelX ()  
  
{  
  
panelSeleccionado.alpha = 0;  
  
panelSeleccionado.interactable = false;  
  
panelSeleccionado.blocksRaycasts = false;  
  
panelSeleccionado = panelPanelX;  
  
panelSeleccionado.alpha = 1;  
  
panelSeleccionado.interactable = true;  
  
panelSeleccionado.blocksRaycasts = true;  
  
}
```

En la escena se asocia este script al objeto GameManager que será el que contenga todos los scripts necesarios para la ejecución.

Todos los métodos para activar los paneles se llamarán desde los sitios en concreto, y en algunos como por ejemplo el de nivel o el de confirmación utilizará la variable Time.timeScale para ponerla a 0 o a 1 y así parar el tiempo del nivel o reanudarlo según convenga.

Además, en el método Update () se comprobará si se pulsa el botón “atrás” del dispositivo móvil y si es así, dependiendo del panel que se encuentre seleccionado se llamará a un método u otro.

5.2.3. Validación

En esta iteración no se ha concretado una reunión debido a que se juntará la validación de esta con la siguiente.

5.3. Iteración 2

En esta iteración se tratará de dar solución al segundo requisito que se nos propone: Realizar ejercicios que monitoricen y cubran los movimientos básicos para cada lesión.

5.3.1. Diseño

Se parte de la idea del punto 3 donde se mencionan el diseño de cada uno de los ejercicios a desarrollar en la app. Por lo tanto en todo momento se hará referencia a cada una de esas ideas.

5.3.2. Desarrollo

Para afrontar este requisito se afronta la siguiente estrategia, se creará un GameController.cs el cual su función principal es inicializar los ejercicios y un NivelManager.cs el cual comprobará si un nivel ha terminado y lo finalizará.

- **GameController.cs**

Se creará siguiendo el patrón singleton para tener una sola instancia de esta clase y acceder desde las demás clases. Este script recibirá todos los prefabs necesarios para cada ejercicio y lo iniciará en las posiciones correspondientes

Una vez instanciados cada objeto es almacenado en un vector para poder acceder después a las instancias si fuese necesario y para eliminarlas al acabar un nivel.

- **NivelManager.cs**

Este script es el encargado de la monitorización de los niveles. Su atributo más significativo es la variable numObjetivos que es usada para saber en el ejercicio el número de objetivos que llevas o los que quedan.

El método Update () se encarga de llevar el tiempo del ejercicio y con un Switch comprobará según el nivel en el que se encuentre si ese nivel cumple el objetivo para terminar. Si lo cumple se escribe el resultado en fichero y se inicia la corutina FinJuego () la cual para el tiempo, lo muestra por pantalla, elimina las instancias del nivel y resetea el tiempo para poder iniciar un nuevo nivel.

A continuación se dará la solución aplicada a cada ejercicio llevando a cabo las ideas del apartado 3. Se comentarán según la categoría y el movimiento.

- **Muñeca**
 - **Desviación cubital radial**

Para este ejercicio se ha creado un prefab llamado “pasillo” el cual consiste en cuatro paredes entre las que se encontrará la pelota y una zona iluminada que será el objetivo donde hay que entregar la pelota. Esta zona variará entre los dos extremos del pasillo cuando se entregue la pelota y el ejercicio terminará cuando se haya llevado la pelota al objetivo seis veces.



Ilustración 26. Vista del ejercicio desviación cubital y radial.

Los scripts necesarios para este nivel han sido:

- **Target.cs:** la función de este script es comprobar si la pelota ha sido entregada en la zona iluminada. Por lo tanto, utilizando la función `OnTriggerEnter ()` que sirve para saber si algún objeto ha entrado en contacto con el collider al que esté asociado este script. También contará con un clip de audio que se reproducirá cada vez que se consiga un objetivo en el ejercicio. Este script se utilizará además en todos los ejercicios en los que haya que una zona objetivo donde llevar la pelota, por lo se hará referencia a este script en repetidas ocasiones.
- **ControlPelota.cs:** este script será el encargado de hacer mover la pelota a través de los datos que se obtengan del acelerómetro. Aprovechando los datos que nos proporciona la clase `Input`, lo que se hace será aplicar una fuerza sobre el `rigidbody` de la pelota en la dirección en la que haya variado el acelerómetro. De esta forma se consigue que al inclinar nuestro dispositivo la pelota se desplace por la superficie.

De esta manera se consigue el objetivo propuesto en el apartado tres para este movimiento, ya que al realizar este nivel con el móvil en posición horizontal, para poder llevar la pelota a los objetivos solo es posible realizar tanto desviación radial como cubital.

○ **Flexión y extensión**

Para este ejercicio se sigue la misma idea y se utilizan tanto el prefabs como la pelota y los scripts anteriores. El objetivo es llevar la pelota a la zona seis veces pero en este caso hay una variación en la rotación del prefab en el eje Y de 90º de manera que el ejercicio se verá de la siguiente forma.

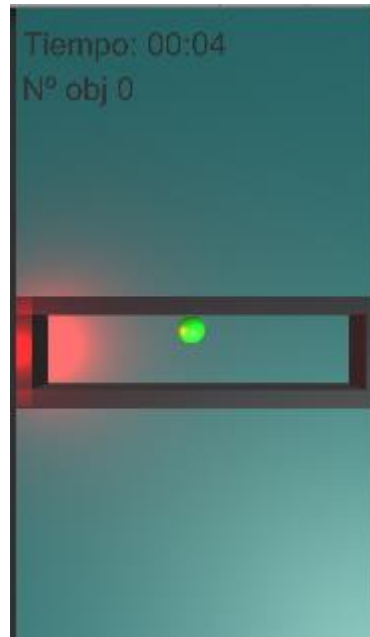


Ilustración 27. Vista del ejercicio flexión y extensión.

De esta manera nuevamente se obliga al paciente que al coger el dispositivo de manera horizontal solo pueda hacer flexión o extensión para mover la pelota hacia el objetivo.

- **Precisión**

Para combinar ambos movimientos anteriores se crea un prefab con forma de cruz y que tiene cuatro pasillos finalizados en una pared de cada color. El objetivo en este ejercicio es entregar la pelota de cada color en su objetivo correspondiente.

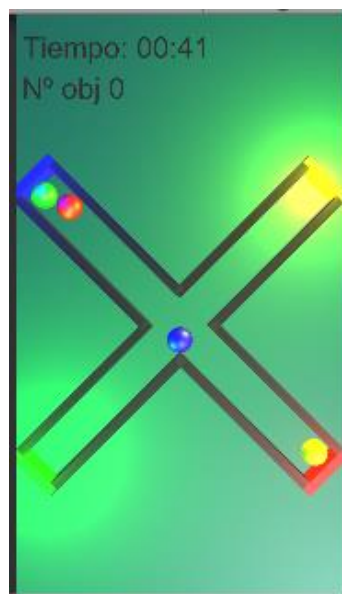


Ilustración 28. Vista del ejercicio precisión.

Las cuatro pelotas se moverán a la vez ya que todas tienen el mismo script asociado.

La diferencia con los ejercicios anteriores es que cada pelota llevará un tag distinto (su color) y a la hora de comprobar en el script lo que se hace es comprobar si el objeto que colisiona tiene la misma etiqueta que this (la zona objetivo) en caso afirmativo se activará la propiedad del Rigidbody "isKinematic" para dejar la pelota quieta y se contará como entregado.

De esta manera se pueden combinar ambos movimientos para conseguir llevar las pelotas al objetivo.

- **Pulgar**
 - **Abducción y aducción**

Para dar solución a este ejercicio se necesita el siguiente script

- **Interaccion.cs:** la función principal de este script es conseguir arrastrar un objeto al tocarlo sobre la pantalla. Con el método onDrag() se calcula la posición que corresponde al lugar donde está el dedo y se le asigna esa posición al transform de la pelota.

Se crea un nuevo tipo de objetivo donde entregar la pelota el cual consta de un cuadrado y una luz, este objeto tendrá asociado el script target.cs y una pelota con el script anterior asociado. El nivel quedará de la siguiente manera.

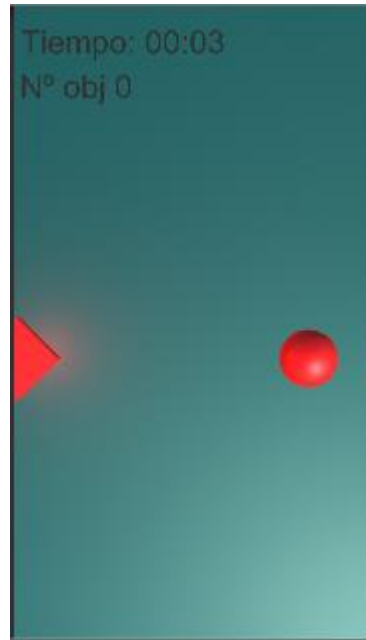


Ilustración 29. Vista del ejercicio precisión.

El dispositivo será colocado en una superficie plana y al colocar la mano como se indica en la información, solo quedará la opción de llevar la bola al objetivo realizando tanto abducción como aducción.

- **Oposición**

En este ejercicio se utilizará un nuevo script que se asocia a un tambor que aparecerá fijo en la escena.

- **Tambor.cs:** la función principal será usar el método `onPointerDown()` para contabilizar si se ha realizado un toque sobre el objeto. En caso de ser tocado, se suma un objetivo y se reproduce el audio del golpeo de un tambor para tener feedback del toque.

La escena consiste en un prefab de un tambor colocado de la siguiente manera.

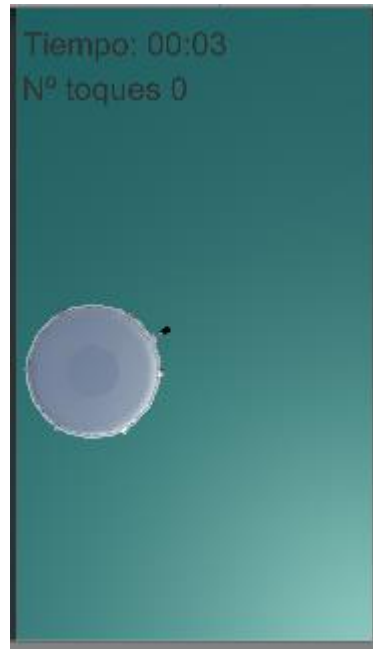


Ilustración 30. Vista del ejercicio oposición.

Al colocar el tambor desplazado y coger el teléfono como se indica en la información solo se tendrá como opción el movimiento de oposición, al tener que realizar el mayor número de toques en 10 segundos al realizar el movimiento para tocar en la pantalla.

- **Flexión meta e interfalángica**

Esta escena contendrá 4 pelotas y 4 zonas objetivo con distinto color, se vuelven a utilizar los scripts de Interacción.cs y Target.cs utilizando de nuevo las tag para comprobar si se han entregado correctamente. La escena quedará de la siguiente manera.



Ilustración 31. Vista del ejercicio flexión meta-interfalángica.

Por lo tanto, teniendo el móvil cogido como indica la información del ejercicio, el único modo de arrastrar las pelotas hacia el objetivo será realizando este movimiento.

- **Combinación**

Para este nivel se busca la combinación de los movimientos anteriores. Esto se consigue haciendo lo mismo que en el ejercicio de oposición (hacer toques en el tambor) pero con la variación de que al realizar el toque sobre el tambor este cambiará su posición. Este cambio se realiza en el script Tambor.cs y simplemente lo que hace es calcular posiciones aleatorias dentro de los límites y aplicarlas al transform del tambor.

No hace falta mostrar vista de este ejercicio ya que visualmente es igual a la ilustración 25.

Con esta variación se ha conseguido combinar todos los movimientos ya que al realizar los distintos toques tienes que realizar movimientos de oposición y al variar la posición realizarás tanto la flexión como la abducción y aducción.

- **Dedos**

- **Articulación metacarpofalángica**

Para este ejercicio se necesita hacer variaciones sobre dos scripts que servirán para cuando se ejecute este ejercicio. La primera variación script Tambor.cs para aprovechar que hay un método que detecta un toque, se usará para comprobar si un objeto está siendo tocado (se llamará zona segura). La segunda variación es sobre el script Interaccion.cs para no permitir el arrastre de un objeto mientras no haya dos dedos puestos en la pantalla y el primer dedo no sea en la zona segura. Se fuerza esto para conseguir mover solo esa articulación.

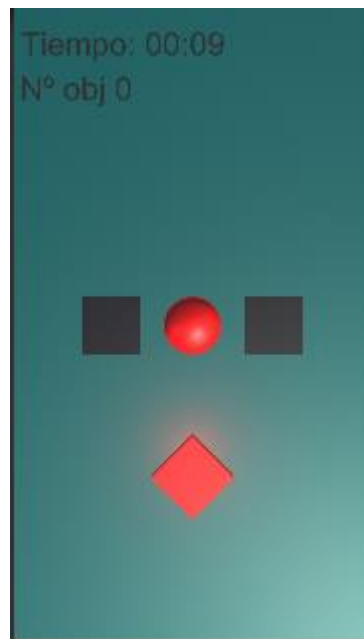


Ilustración 32. Vista del ejercicio articulación metacarpofalángica.

Teniendo dos dedos estirados sobre la pantalla (el lesionado sobre la pelota y uno de los dedos contiguos al lesionado sobre una de las zonas seguras) solo será posible realizar este movimiento para conseguirlo.

- **Articulación interfalángica proximal y distal**

Para este ejercicio se utilizará la misma idea que el anterior con la variación de que la posición de los dedos si permite flexionarlos. Las posiciones del target varían un poco con el objetivo de buscar este movimiento en concreto.

Visualmente el ejercicio es similar al anterior por lo que no hace falta adjuntar ilustración del ejercicio.

Permitiendo flexionar los dedos en este ejercicio se consigue obligar justamente a hacer este tipo de movimiento.

○ **Combinación. Unir con líneas.**

Para llevar a cabo la idea de unir los puntos mediante líneas se necesitan los siguientes scripts.

- **UnirNumeros.cs** su función principal es la gestión de la línea, hay una línea asociada a cada punto, este script gestiona si se está pulsando para arrastrar la línea y la actualiza, si se pasa por otro punto se une la línea y se pasa a la siguiente. Si se ha completado la forma del número cambiará los puntos de orden para hacer otro número (los numero son 1,2 y 3).
- **puntosLinea.cs** su función está asociada con actualizar las variables para saber si se está produciendo un arrastre sobre el punto para y donde está el dedo situado en ese caso. Este script se asociará a los puntos situados en la escena.

La línea solo se puede unir pasando por los puntos en un orden concreto para obligar a hacer la forma del número. La escena queda de la siguiente manera.



Ilustración 33. Vista del ejercicio unir los puntos.

Dejando el móvil sobre la mesa se obliga al dedo a hacer todos los movimientos anteriores a la vez.

Ejercicios	Patologías
Desviación radial y cubital Flexión y extensión Precisión	Fractura de cualquier hueso de la muñeca, gancho ganchoso, escafoides, fractura de colles (radio), luxación...
Abducción y aducción Flexión meta-inter falángicas Oposición Combinación	Fractura de metacarpo, de la falange proximal, de la falange distal, ...
Articulación metacarpofalángica Articulación proximal y distal Unir números	Fractura de cualquier hueso de los dedos índice, corazón, anular y meñique, fractura del boxeador, luxación de Bennet

Tabla 3. Relacion ejercicios con las patologías.

5.3.3. Validación

Habiendo desarrollado todos los ejercicios se concreta una reunión con el cliente. En esta reunión tanto el cliente como la fisioterapeuta M^a Catalina Osuna Pérez han dado el visto bueno tras probar todos los ejercicios por lo tanto se puede pasar al siguiente requisito.

5.4. Iteración 3

En esta iteración se tratará de dar una solución al requisito: Permanencia de los datos, almacenar los datos de manera local.

5.4.1. Diseño

Para poder almacenar los datos se sigue la estrategia simple de guardar los resultados en un fichero de texto en el que al acabar se grabe en el fichero. El formato usado para los datos será el siguiente:

Id nivel+"," + nombre ejercicio + "," + min + "," + seg + "," + parámetro adicional

De esta manera luego se podrán entender los datos para poder leerlos y clasificarlos en una tabla.

5.4.2. Desarrollo

Se necesitará el siguiente script

- Fichero.cs se encargará de tener los métodos para poder escribir o leer para mantener los datos, para cargarlos en la tabla o para adjuntarlos en el correo.

De esta manera se consigue cumplir con los objetivos del requisito. Este script se asociará al objeto GameController y se enlazarán los métodos con sus llamadas correspondientes.

5.4.3. Validación

Una vez conseguidos los objetivos se decide no concretar una reunión para completar el siguiente requisito, por lo que se validará conjuntamente en la siguiente iteración.

5.5. Iteración 4

En esta iteración se tratará de dar solución al requisito: compartir los datos, para poder mandarlos por correo al fisioterapeuta.

5.5.1. Diseño

Puesto que Android nos permite incluir código java en Unity se utilizará esta oportunidad para integrar el método que tiene el propio sistema operativo para compartir contenido.

5.5.2. Desarrollo

En primer lugar se añade en la vista de resultados una imagen con el símbolo de script y se añade un componente de botón para que actúe como tal y al ser pulsado aparezca la ventana de compartir de Android.

Se necesitará el siguiente script:

- **Share.cs:** su función será integrar el método de Android para compartir y configurar el correo de forma que al pulsar sobre la aplicación del correo y se abra para enviar un correo, este aparezca ya autocompletado con los resultados cargados en el cuerpo del correo. Para ello se usará una corutina llamada `shareandroidtext ()` en la cual se utiliza la clase `AndroidJavaObject` para configurar el contenido del correo.

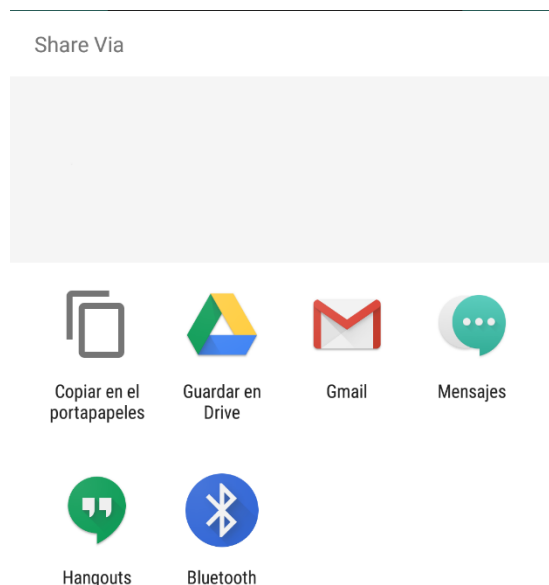


Ilustración 34. Pestaña compartir de Android.

Una vez completado el script se le asocia al objeto `GameController` para poder usarlo cuando se necesite.

5.5.3. Validación

Tras completar el los objetivos del requisito se ha concretado una reunión final para validar tanto esta iteración como la anterior y dar por finalizado el desarrollo del proyecto.

En esta reunión se han dado por buenos las soluciones propuestas a los requisitos, por lo tanto al haber cumplido todos los requisitos que inicialmente se pedían se da por finalizada la fase de desarrollo.

5.6. Aspectos de mejora

Tras concluir el desarrollo del prototipo se pueden ver distintos aspectos a mejorar en un futuro para completar más la aplicación.

- Permitir añadir una planificación de los ejercicios por parte del fisioterapeuta, es decir que la aplicación te vaya indicando cuantos ejercicios te quedan por hacer de los que te han indicado.
- Permitir configuración de datos personales del paciente.
- Implementar más tipos de ejercicios para cada lesión.

6. PRUEBAS SOBRE PACIENTES

Una vez se tiene el prototipo desarrollado, se realizarán las pruebas sobre un grupo reducido de pacientes reales para ver si es de utilidad la aplicación.

Para estas pruebas los pacientes han sido escogidos entre jugadores de las distintas categorías de los equipos de baloncesto y balonmano de Bailén (Jaén). Entre ellos son 4 para lesión de muñeca, 3 para lesión de pulgar y 4 para lesión de dedo. Todos los pacientes a los que se les ha realizado el estudio estaban recibiendo fisioterapia por parte de un profesional.

Las pruebas han consistido en que los pacientes tenían que realizar 3 veces al día (mañana, tarde y noche) durante 5 días seguidos los ejercicios correspondientes al bloque de su lesión para así intentar ver si hay algo de variación en los datos. Como ejemplo, si el paciente tiene una lesión de muñeca tendrá que hacer durante 5 días consecutivos los tres ejercicios de bloque de muñeca (independientemente de lo que tarde cada uno en realizar cada ejercicio), obteniendo así al final de las pruebas 15 resultados para cada ejercicio del bloque de muñeca.

Una vez hayan terminado con los ejercicios los pacientes me comparten a través del correo los resultados obtenidos para utilizar así esta función.

- **Estructura del análisis de los datos**

Se analizarán individualmente los resultados obtenidos por cada paciente ya que depende de la gravedad de la lesión este análisis será más concluyente con la efectividad de la aplicación. Se ordenan en función de su tipo de lesión en los tres bloques generales que se han marcado (muñeca, pulgar y dedo).

Todos los datos calculados para cada paciente se utilizarán en el apartado de conclusiones para determinar con estos datos si la aplicación ha influido en la recuperación de los pacientes.

En primer lugar se recogen los datos en una tabla y se introducen a una gráfica de líneas para poder ver la evolución de los datos con el paso de los días de manera más clara. En la gráfica se usa la propiedad que permite representar para cada línea su línea de tendencia para así poder calcular el porcentaje de mejora en ese ejercicio según su línea de tendencia.

- **Porcentaje de mejora**

Para el cálculo del porcentaje de mejora se utiliza una regla de tres que dependerá de las siguientes variables.

$$\%_{\text{mejora}} = 100 - (t_{\text{fin}} * 100 / t_{\text{ini}})$$

Fórmula 1. Porcentaje de mejora.

Para poder realizar un análisis más exhaustivo de los datos se calcula la media aritmética, varianza y la desviación típica para cada conjunto de datos de cada ejercicio del paciente. A continuación se citan las correspondientes fórmulas que se usarán para el cálculo correspondientes y cómo se interpretarán los datos obtenidos

- **Media aritmética**

La media aritmética, también llamada promedio o media, de un conjunto infinito de números es el valor característico de una serie de datos cuantitativos, objeto de

estudio que parte del principio de la esperanza matemática o valor esperado, se obtiene a partir de la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos.

Dados los n números $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$, la media aritmética se define como:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Fórmula 2. Media aritmética.

Siendo:

- X_i : cada dato
- $\bar{X}$: media de los datos
- N : número de datos

○ Varianza

La varianza o variancia (que suele representarse como σ^2) de una variable aleatoria es una medida de dispersión definida como la esperanza del cuadrado de la desviación de dicha variable respecto a su media.

Si se tiene un conjunto de datos de una misma variable, la varianza se calcula de la siguiente forma:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^N x_i^2}{N} - \bar{x}^2 = \frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_N^2}{N} - \bar{x}^2$$

Fórmula 3. Varianza.

Siendo:

- X_i : cada dato
- $\bar{X}$: media de los datos
- N : número de datos

- **Desviación típica**

La desviación típica es la raíz cuadrada de la varianza y se representa por la letra σ . Para calcularla se calcula la varianza y se saca la raíz. Las interpretaciones que se deducen de la desviación típica son, por lo tanto, parecidas a las que se deducían de la varianza.

Una desviación estándar baja indica que la mayor parte de los datos de una muestra tienden a estar agrupados cerca de su media aritmética (también denominada el valor esperado), mientras que una desviación estándar alta indica que los datos se extienden sobre un rango de valores más amplio.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (X_i - \bar{X})^2}{N}}$$

Fórmula 4. Desviación típica.

6.1. Resultados obtenidos

Los resultados recibidos en el correo serán dispuestos en una tabla para poder analizarlos.

- **Muñeca**

- 6.1.1. Paciente 1.**

En este caso el paciente tiene una fractura en el gancho del hueso ganchoso (Os Hamatum) como ya se ha comentado en el apartado de las lesiones este tipo de lesión se suele dar en tenistas también y a causa del estrés, este paciente realiza tanto tenis como baloncesto con lo cual es normal que haya padecido esta lesión.

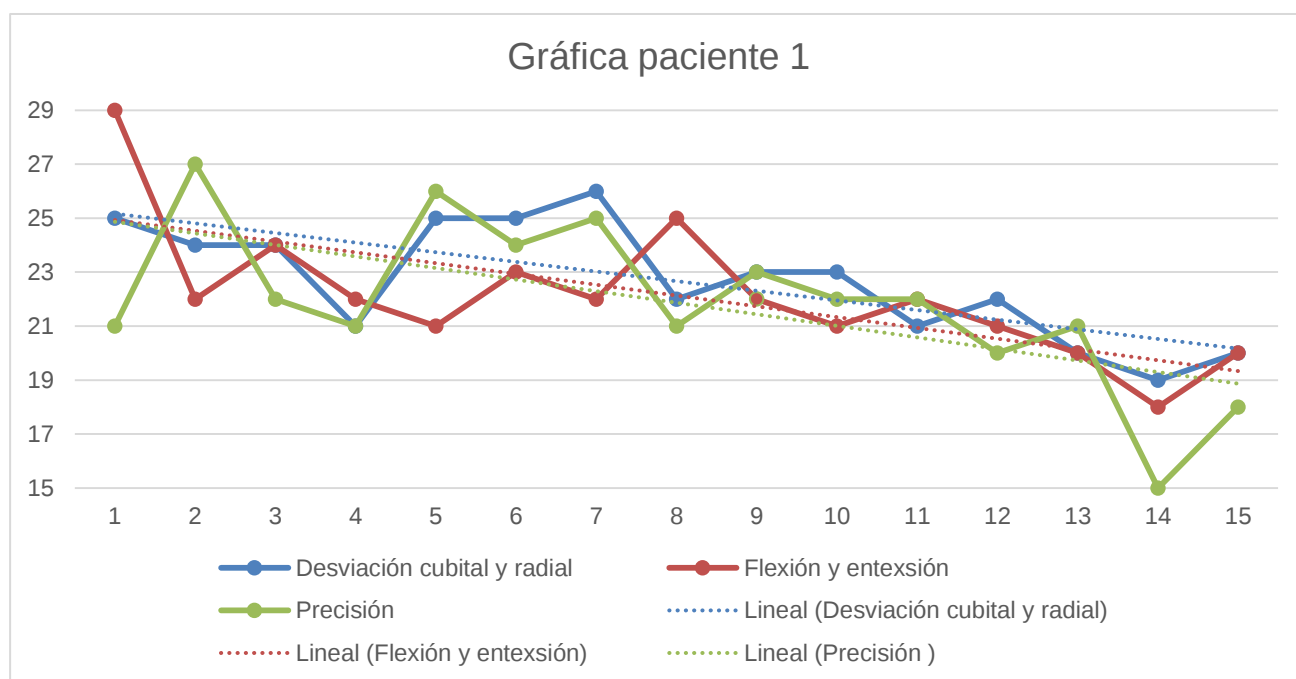
Hace dos semanas de la lesión por lo tanto el estado de la recuperación de la lesión es medio pues se encuentra a mitad del plazo normal de recuperación de un paciente con esta lesión cuando se realizaron las pruebas con el mismo.

A continuación en una tabla se recogen los resultados de este paciente en los distintos niveles del apartado de muñeca. El contenido de las columnas corresponde al tiempo. Hay 15 columnas correspondientes a 15 veces de realizar el ejercicio 3 veces por día durante 5 días.

EJERCICIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Desviación cubital y radial	00:25	00:24	00:24	00:21	00:25	00:25	00:26	00:22	00:23	00:23	00:21	00:22	00:20	00:19	00:20
Flexión y extensión	00:29	00:22	00:24	00:22	00:21	00:23	00:22	00:25	00:22	00:21	00:22	00:21	00:20	00:18	00:20
Precisión	00:21	00:27	00:22	00:21	00:26	00:24	00:25	00:21	00:23	00:22	00:22	00:20	00:21	00:15	00:18

Tabla 4. Resultados paciente 1.

Para poder tener una idea más representativa de estos datos se utilizará una gráfica para poder seguir la evolución de los tiempos.



Gráfica 1. Resultados paciente 1.

Utilizando la opción que nos da la gráfica de representar la línea de tendencia (línea discontinua) de cada ejercicio se puede calcular el porcentaje de mejora que se ha obtenido para esos datos.

Para la tendencia en **desviación cubital y radial** con un tiempo inicial de 25,1 segundos y un tiempo final de 20 segundos se obtiene **una mejora del 20,32%**.

Para la tendencia en **flexión y extensión** con un tiempo inicial de 25 segundos y un tiempo final de 19,4 segundos se obtiene **una mejora del 22,4%**.

Para la tendencia en **precisión** con un tiempo inicial de 25 segundos y un tiempo final de 19 segundos se obtiene **una mejora del 24%**.

Ahora para tener unos datos más representativos se calcula la media, la varianza y la desviación típica de los mismos como ya se ha explicado con anterioridad.

Paciente 1	Media	Varianza	Desviación
Desviación cubital y radial	22,67	4,67	2,16
Flexión y extensión	22,13	6,41	2,53
Precisión	21,87	9,12	3,02

Tabla 5. Cálculos Paciente 1.

A priori se observa que hay una leve mejora en todos los niveles, destacando una mejora más elevada en el nivel precisión como indica la desviación es decir que hay dispersión en los datos lo cual observando en la gráfica indica mejoría. Estos parámetros entran dentro de lo esperado pues su estado de la lesión era medio.

6.1.2. Paciente 2.

Este paciente ha sufrido la fractura más común que puede ocurrir en el radio, se trata de la fractura distal en la que el fragmento quebrado del radio se inclina hacia arriba. Este tipo de fractura se le llama la fractura de Colles.

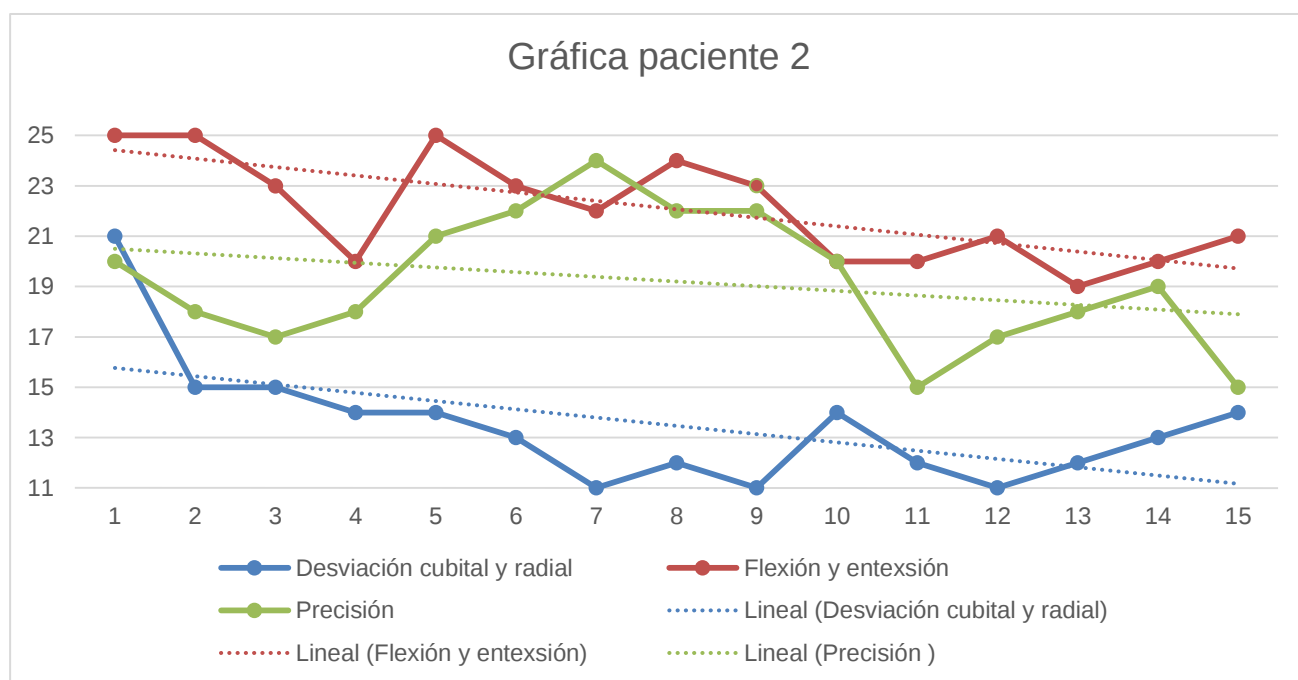
Han pasado tres semanas desde la lesión por lo tanto el estado de la recuperación de la lesión es leve pues está prácticamente al final de la recuperación del paciente cuando se realizan las pruebas con el mismo.

A continuación en una tabla se recogen los resultados de este paciente en los distintos niveles del apartado de muñeca. El contenido de las columnas corresponde al tiempo. Hay 15 columnas correspondientes a 15 veces de realizar el ejercicio 3 veces por día durante 5 días.

EJERCICIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Desviación cubital y radial	00:21	00:15	00:15	00:14	00:14	00:13	00:11	00:12	00:11	00:14	00:11	00:12	00:11	00:13	00:14
Flexión y extensión	00:25	00:25	00:23	00:20	00:25	00:23	00:22	00:24	00:23	00:20	00:20	00:21	00:19	00:20	00:21
Precisión	00:20	00:18	00:17	00:18	00:21	00:22	00:24	00:22	00:22	00:20	00:15	00:17	00:18	00:19	00:15

Tabla 6. Resultados paciente 2.

Para poder tener una idea más representativa de estos datos se utiliza una gráfica para poder seguir la evolución de los tiempos.



Gráfica 2. Resultados paciente 2.

Utilizando la opción que nos da la gráfica de representar la línea de tendencia (línea discontinua) de cada ejercicio se puede calcular el porcentaje de mejora que se ha obtenido para esos datos.

Para la tendencia en **desviación cubital y radial** con un tiempo inicial de 15,9 segundos y un tiempo final de 11,1 segundos se obtiene **una mejora del 30,19%**.

Para la tendencia en **flexión y extensión** con un tiempo inicial de 24,5 segundos y un tiempo final de 20 segundos se obtiene **una mejora del 18,36%**.

Para la tendencia en **precisión** con un tiempo inicial de 19,7 segundos y un tiempo final de 18 segundos se obtiene **una mejora del 8,63%**.

Ahora para tener unos datos más representativos se calcula la media, la varianza y la desviación típica de los mismos como ya se ha explicado con anterioridad.

Paciente 2	Media	Varianza	Desviación
Desviación cubital y radial	13,47	6,27	2,50
Flexión y extensión	22,07	4,35	2,09
Precisión	19,20	7,17	2,68

Tabla 7. Cálculos Paciente 2.

De este paciente se puede percibir una leve mejora en los tres ejercicios sin destacar ningún ejercicio. Puesto que la lesión era leve no se ha producido una mejora significativa.

6.1.3. Paciente 3.

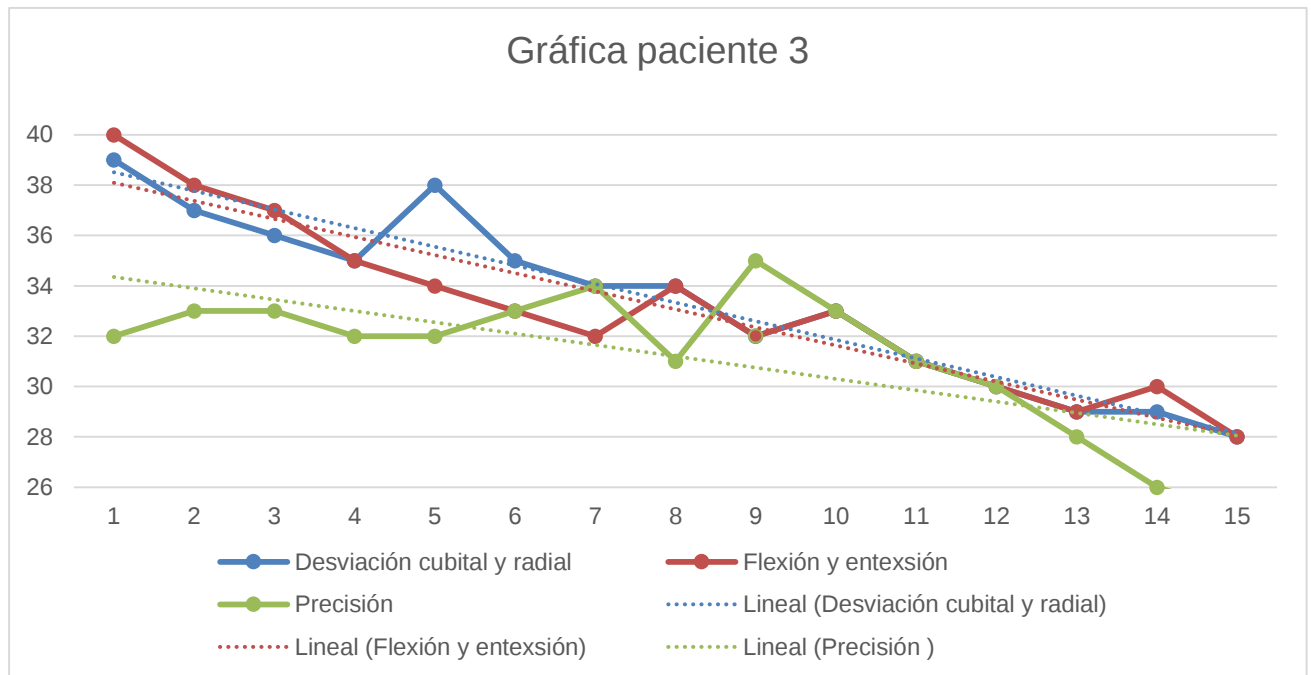
Este paciente ha sufrido recientemente una fractura en el escafoide, por lo tanto el estado de la recuperación de la lesión es grave puesto que se encuentra prácticamente al principio de la recuperación del paciente cuando se realizan las pruebas con el mismo.

A continuación en una tabla se recogen los resultados de este paciente en los distintos niveles del apartado de muñeca. El contenido de las columnas corresponde al tiempo. Hay 15 columnas correspondientes a 15 veces de realizar el ejercicio 3 veces por día durante 5 días.

EJERCICIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Desviación cubital y radial	00:39	00:37	00:36	00:35	00:38	00:35	00:34	00:34	00:32	00:33	00:31	00:30	00:29	00:29	00:28
Flexión y extensión	00:40	00:38	00:37	00:35	00:34	00:33	00:32	00:34	00:32	00:33	00:31	00:30	00:29	00:30	00:28
Precisión	00:32	00:33	00:33	00:32	00:32	00:33	00:34	00:31	00:35	00:33	00:31	00:30	00:28	00:26	00:25

Tabla 8. Resultados paciente 3.

Para poder tener una idea más representativa de estos datos se utiliza una gráfica para poder seguir la evolución de los tiempos.



Utilizando la opción que nos da la gráfica de representar la línea de tendencia (línea discontinua) de cada ejercicio se puede calcular el porcentaje de mejora que se ha obtenido para esos datos.

Para la tendencia en **desviación cubital y radial** con un tiempo inicial de 38,5 segundos y un tiempo final de 28 segundos se obtiene **una mejora del 27,27%**.

Para la tendencia en **flexión y extensión** con un tiempo inicial de 38 segundos y un tiempo final de 28,2 segundos se obtiene **una mejora del 25,78%**.

Para la tendencia en **precisión** con un tiempo inicial de 34,5 segundos y un tiempo final de 28 segundos se obtiene **una mejora del 18.84%**.

Ahora para tener unos datos más representativos se calcula la media, la varianza y la desviación típica de los mismos como ya se ha explicado con anterioridad.

Paciente 3	Media	Varianza	Desviación
Desviación cubital y radial	33,33	11,81	3,44
Flexión y extensión	33,07	11,50	3,39
Precisión	31,20	8,17	2,86

Tabla 9. Cálculos Paciente 3.

La conclusión a priori es que al encontrarse en estado grave se percibe mayor mejora ya que realiza más avances. Hay mejora significativa en todos los ejercicios.

6.1.4. Paciente 4.

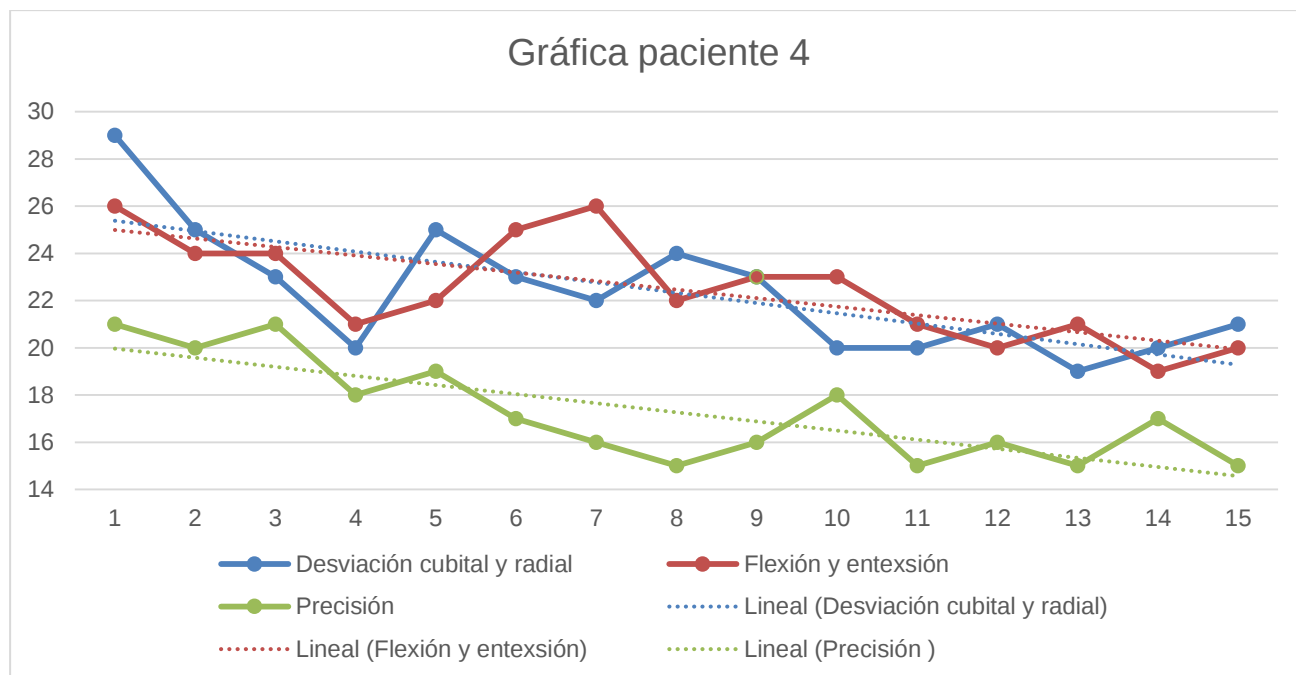
En este caso el paciente tiene una luxación de muñeca. Hace dos semanas desde la lesión por lo tanto el estado de la lesión es medio ya que se encuentra a mitad del periodo de recuperación en el momento de realizar la prueba sobre él.

A continuación en una tabla se recogen los resultados de este paciente en los distintos niveles del apartado de muñeca. El contenido de las columnas corresponde al tiempo. Hay 15 columnas correspondientes a 15 veces de realizar el ejercicio 3 veces por día durante 5 días.

EJERCICIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Desviación cubital y radial	00:29	00:25	00:23	00:20	00:25	00:23	00:22	00:24	00:23	00:20	00:20	00:21	00:19	00:20	00:21
Flexión y extensión	00:26	00:24	00:24	00:21	00:22	00:25	00:26	00:22	00:23	00:23	00:21	00:20	00:21	00:19	00:20
Precisión	00:21	00:20	00:21	00:18	00:19	00:17	00:16	00:15	00:16	00:18	00:15	00:16	00:15	00:17	00:15

Tabla 10. Resultados paciente 4.

Para poder tener una idea más representativa de estos datos se utiliza una gráfica para poder seguir la evolución de los tiempos.



Gráfica 4. Resultados paciente 4.

Utilizando de la opción que nos da la gráfica de representar la línea de tendencia (línea discontinua) de cada ejercicio se puede calcular el porcentaje de mejora que se ha obtenido para esos datos.

Para la tendencia en **desviación cubital y radial** con un tiempo inicial de 25,5 segundos y un tiempo final de 19,5 segundos se obtiene **una mejora del 23,52%**.

Para la tendencia en **flexión y extensión** con un tiempo inicial de 25 segundos y un tiempo final de 20 segundos se obtiene **una mejora del 20%**.

Para la tendencia en **precisión** con un tiempo inicial de 20 segundos y un tiempo final de 14.5 segundos se obtiene **una mejora del 27,5%**.

Ahora para tener unos datos más representativos se calcula la media, la varianza y la desviación típica de los mismos como ya se ha explicado con anterioridad.

Paciente 4	Media	Varianza	Desviación
Desviación cubital y radial	22,33	7,10	2,66
Flexión y extensión	22,47	4,84	2,20
Precisión	17,27	4,64	2,15

Tabla 11. Cálculos Paciente 4.

En este paciente se observa mejoría en todos los ejercicios con una progresión lineal clara. Puesto que su estado era medio la mejora sobre el paciente está dentro de lo esperado.

- **Pulgar**

6.1.5. Paciente 5.

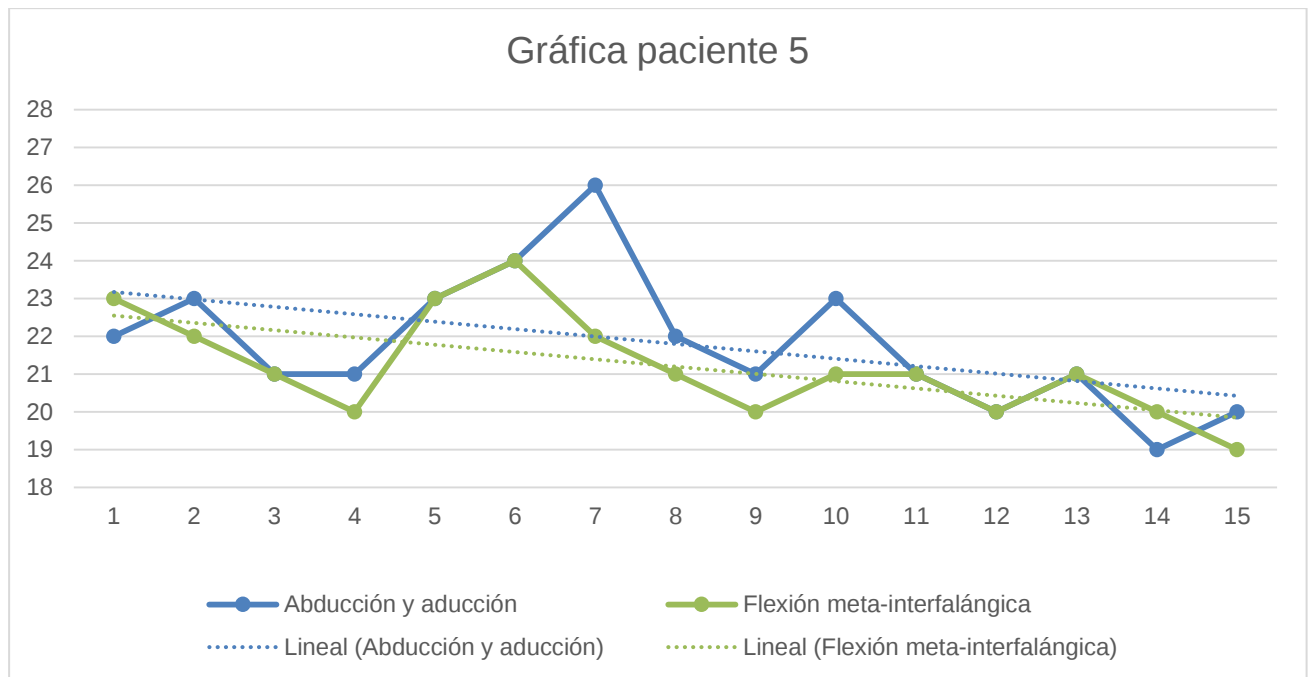
En este caso el paciente tiene una fractura del metacarpo del dedo pulgar. Han pasado 3 semanas desde la lesión por lo tanto el estado de la lesión es leve pues en el momento de realizar las pruebas el paciente estaba en el periodo final de recuperación de la lesión.

A continuación en una tabla se recogen los resultados de este paciente en los distintos niveles del apartado de pulgar. El contenido de las columnas corresponde al tiempo. Hay 15 columnas correspondientes a 15 veces de realizar el ejercicio 3 veces por día durante 5 días.

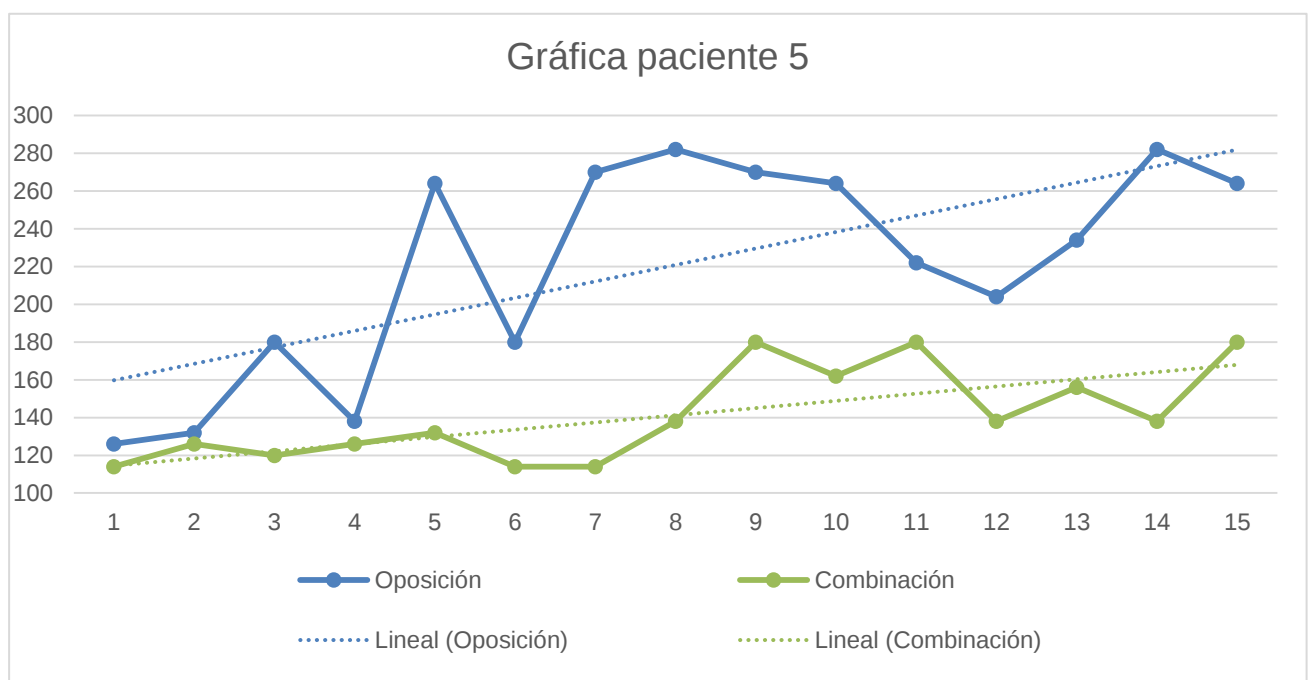
EJERCICIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Abducción y aducción	00:22	00:23	00:21	00:21	00:23	00:24	00:26	00:22	00:21	00:23	00:21	00:20	00:21	00:19	00:20
Oposición	126	132	180	138	264	180	270	282	270	264	222	204	234	282	264
Flexión meta-interfalángica	00:23	00:22	00:21	00:20	00:23	00:24	00:22	00:21	00:20	00:21	00:21	00:20	00:21	00:20	00:19
Combinación	114	126	120	126	132	114	114	138	180	162	180	138	156	138	180

Tabla 12. Resultados paciente 5.

Para poder tener una idea más representativa de estos datos se utiliza una gráfica para poder seguir la evolución de los tiempos. Ahora se utilizarán dos gráficas distintas ya que hay dos unidades de medidas distintas, en la primera se mide en segundos y en la segunda se mide en pulsaciones por minuto.



Gráfica 5. Resultados paciente 5.



Gráfica 6. Resultados paciente 5 parte 2.

Utilizando la opción que nos da la gráfica de representar la línea de tendencia (línea discontinua) de cada ejercicio se puede calcular el porcentaje de mejora que se ha obtenido para esos datos.

Para la tendencia en **abducción y aducción** con un tiempo inicial de 23,2 segundos y un tiempo final de 20,5 segundos se obtiene **una mejora del 11,63%**.

Para la tendencia en **flexión meta-interfalángica** con un tiempo inicial de 22,5 segundos y un tiempo final de 20,9 segundos se obtiene **una mejora del 7,11%**.

Para la tendencia en **oposición** con una frecuencia inicial de 159 toques por segundo y una frecuencia final de 282 toques por segundo se obtiene **una mejora del 43,61%**.

Para la tendencia en **combinación** con una frecuencia inicial de 114 toques por segundo y una frecuencia final de 165 toques por segundo se obtiene **una mejora del 30,91%**.

Ahora para tener unos datos más representativos se calcula la media, la varianza y la desviación típica de los mismos como ya se ha explicado con anterioridad.

Paciente 5	Media	Varianza	Desviación
Abducción y aducción	21,80	3,17	1,78
Flexión meta-interfalángica	21,20	1,89	1,37
Oposición	220,80	3246,17	56,98
Combinación	141,20	601,03	24,52

Tabla 13. Cálculos Paciente 5.

Puesto que en este paciente se encontraba en el final de su recuperación en los ejercicios de tiempo apenas se nota mejoría. Sin embargo, en los de frecuencia la mejora es alta ya que al encontrarse casi recuperado se espera esta mejora sobre el paciente cuando va aprendiendo sobre el propio ejercicio.

6.1.6. Paciente 6.

En este caso el paciente tiene una fractura de la falange proximal del dedo pulgar. Han pasado poca más de 2 semanas desde la lesión por lo tanto el estado de la lesión es medio-leve puesto que se encuentra en el periodo medio de recuperación cuando se le realizan las pruebas.

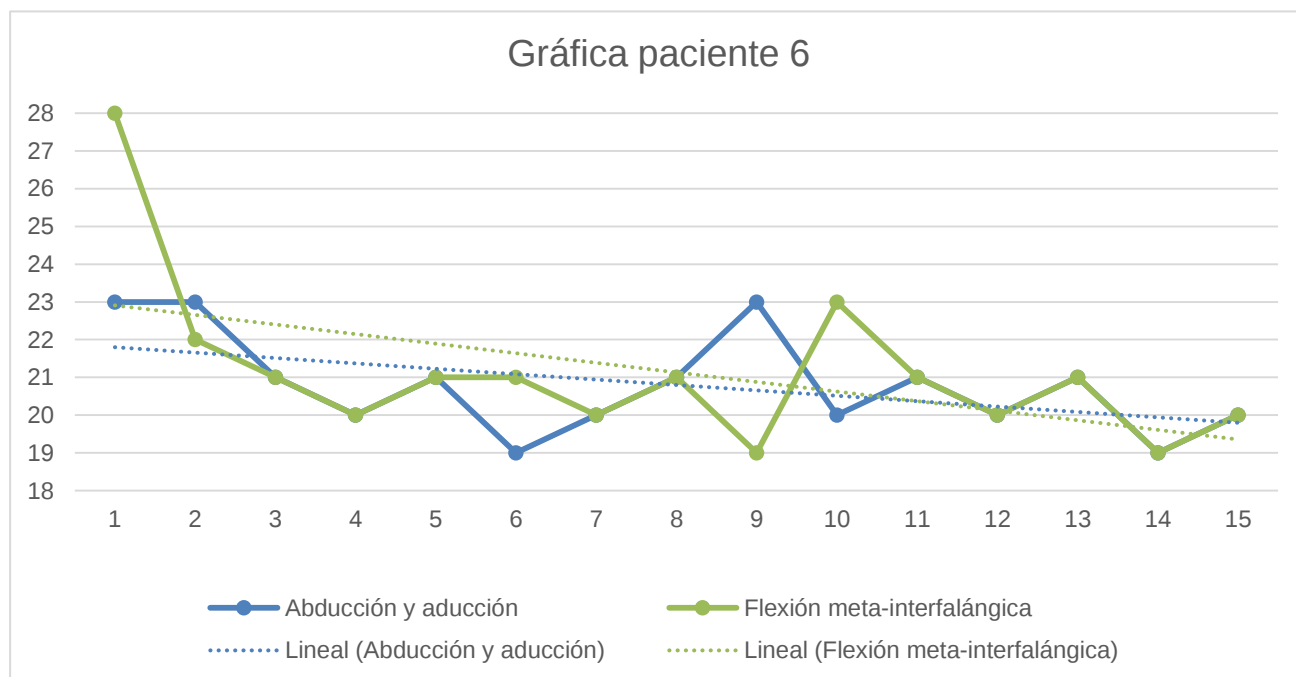
A continuación en una tabla se recogen los resultados de este paciente en los distintos niveles del apartado de pulgar. El contenido de las columnas corresponde

al tiempo. Hay 15 columnas correspondientes a 15 veces de realizar el ejercicio 3 veces por día durante 5 días.

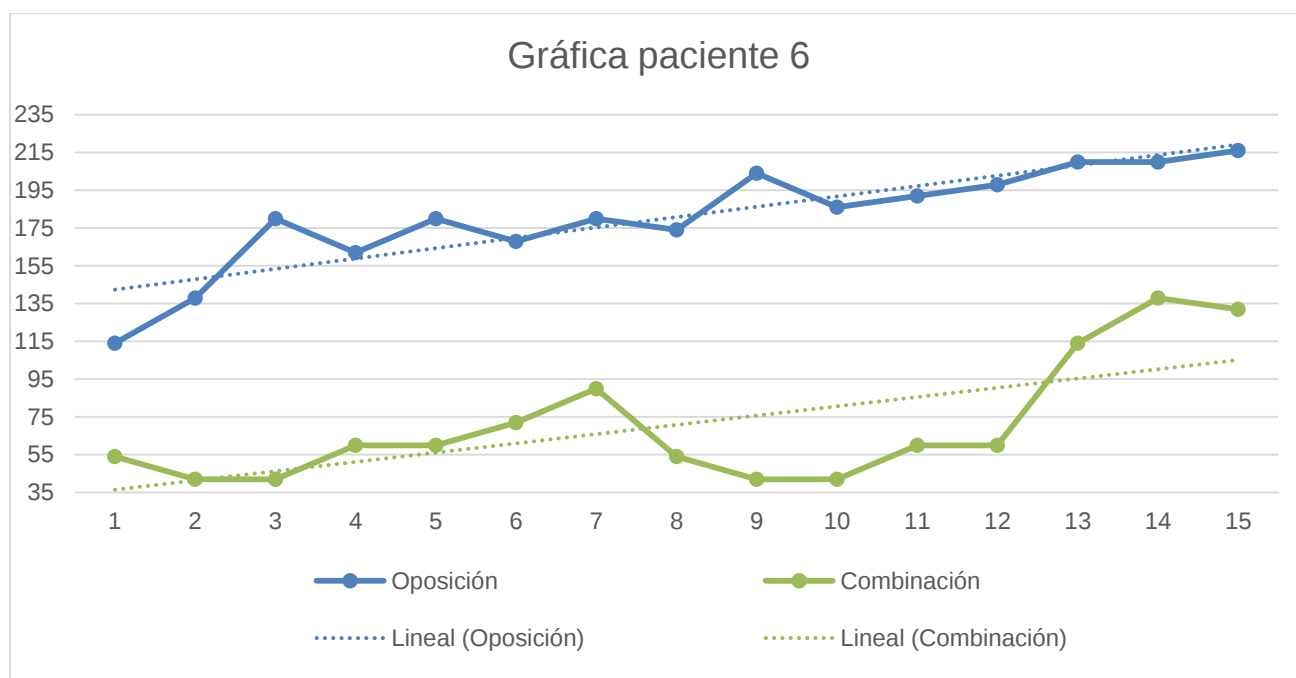
EJERCICIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Abducción y aducción	00:23	00:23	00:21	00:20	00:21	00:19	00:20	00:21	00:23	00:20	00:21	00:20	00:21	00:19	00:20
Oposición	114	138	180	162	180	168	180	174	204	186	192	198	210	210	216
Flexión meta-interfalángica	00:28	00:22	00:21	00:20	00:21	00:21	00:20	00:21	00:19	00:23	00:21	00:20	00:21	00:19	00:20
Combinación	54	42	42	60	60	72	90	54	42	42	60	60	114	138	132

Tabla 14. Resultados paciente 6.

Para poder tener una idea más representativa de estos datos se utiliza una gráfica para poder seguir la evolución de los tiempos. Ahora se utilizarán dos gráficas distintas ya que hay dos unidades de medidas distintas, en la primera se mide en segundos y en la segunda se mide en pulsaciones por minuto.



Gráfica 7. Resultados paciente 6.



Gráfica 8. Resultados paciente 6 parte 2.

Utilizando la opción que nos da la gráfica de representar la línea de tendencia (línea discontinua) de cada ejercicio se puede calcular el porcentaje de mejora que se ha obtenido para esos datos.

Para la tendencia en **abducción y aducción** con un tiempo inicial de 21,9 segundos y un tiempo final de 19,9 segundos se obtiene **una mejora del 9,13%**.

Para la tendencia en **flexión meta-interfalángica** con un tiempo inicial de 23 segundos y un tiempo final de 19,4 segundos se obtiene **una mejora del 15,65%**.

Para la tendencia en **oposición** con una frecuencia inicial de 142 toques por segundo y una frecuencia final de 220 toques por segundo se obtiene **una mejora del 35,45%**.

Para la tendencia en **combinación** con una frecuencia inicial de 36 toques por segundo y una frecuencia final de 105 toques por segundo se obtiene **una mejora del 60,71%**.

Ahora para tener unos datos más representativos se calcula la media, la varianza y la desviación típica de los mismos como ya se ha explicado con anterioridad.

Paciente 6	Media	Varianza	Desviación
Abducción y aducción	20,80	1,74	1,32
Flexión meta-interfalángica	21,13	4,70	2,17
Oposición	180,80	770,74	27,76
Combinación	70,80	1060,46	32,56

Tabla 15. Cálculos Paciente 6.

Sobre este paciente se puede ver que la mejora en los ejercicios por tiempo es bastante poca y que en los niveles de frecuencia la mejoría si es algo notable. Su estado era medio leve por lo tanto la mejora está dentro de lo esperado.

6.1.7. Paciente 7.

El siguiente paciente sufre una fractura del metacarpo del dedo pulgar. Ha pasado menos de una semana desde la lesión por lo tanto el estado de la lesión es grave ya que al realizar las pruebas sobre él, el paciente se encontraba al principio del periodo de recuperación de su lesión.

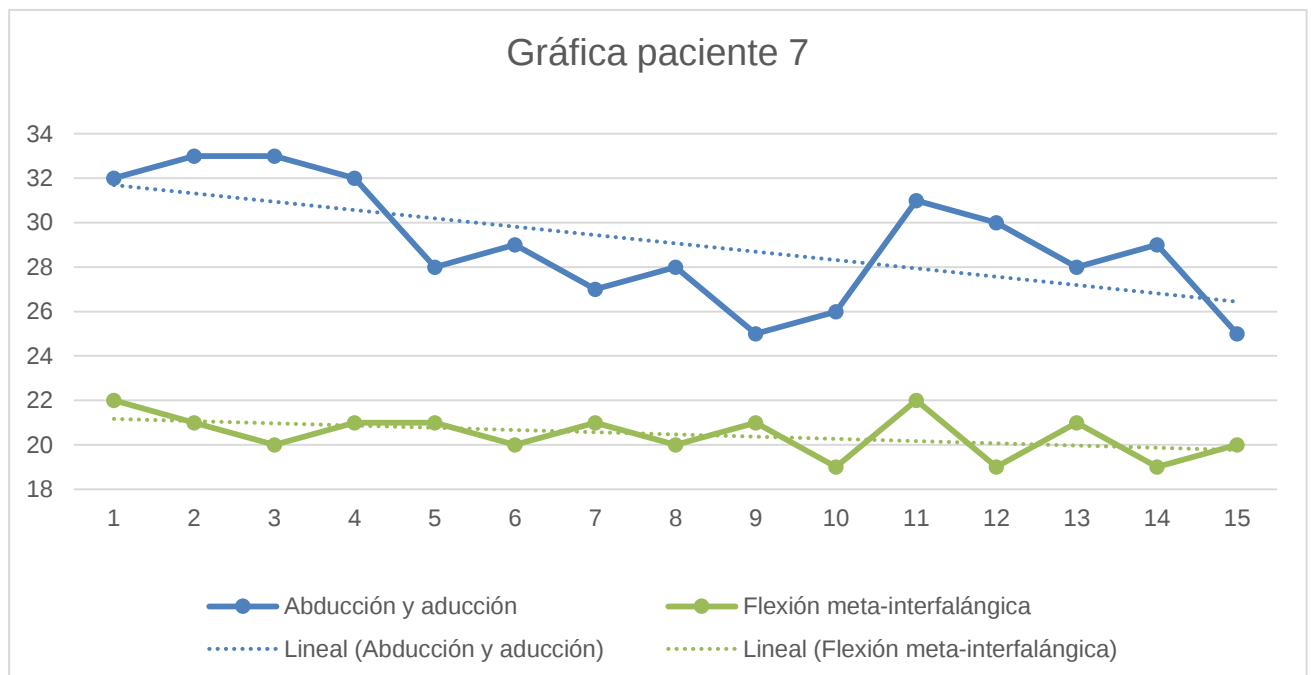
A continuación en una tabla se recogen los resultados de este paciente en los distintos niveles del apartado de pulgar. El contenido de las columnas corresponde al tiempo. Hay 15 columnas correspondientes a 15 veces de realizar el ejercicio 3 veces por día durante 5 días.

EJERCICIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Abducción y aducción	00:32	00:33	00:33	00:32	00:28	00:29	00:27	00:28	00:25	00:26	00:31	00:30	00:28	00:29	00:25
Oposición	54	60	42	66	60	72	90	108	102	122	144	138	132	144	126
Flexión meta-interfalángica	00:22	00:21	00:20	00:21	00:21	00:20	00:21	00:20	00:21	00:19	00:22	00:19	00:21	00:19	00:20
Combinación	66	54	48	60	66	72	90	66	72	78	90	96	114	120	120

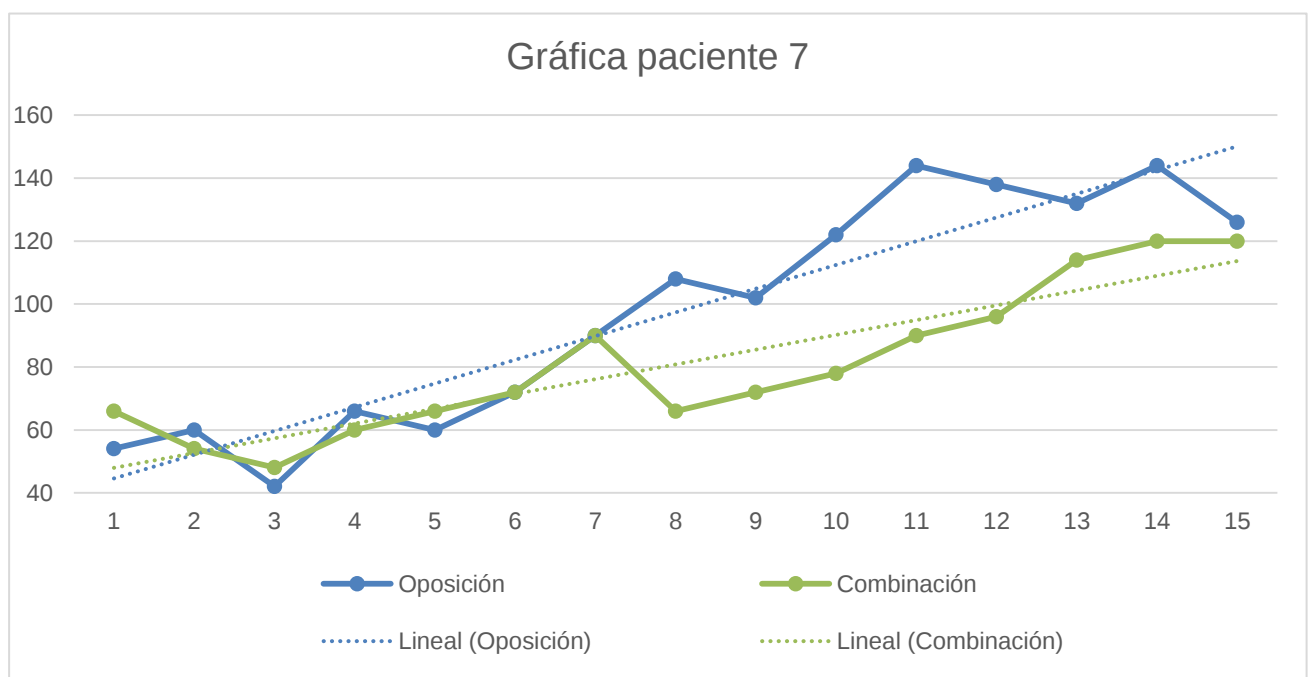
Tabla 16. Resultados paciente 7.

Para poder tener una idea más representativa de estos datos se utiliza una gráfica para poder seguir la evolución de los tiempos. Ahora se utilizan dos gráficas

distintas ya que hay dos unidades de medidas distintas, en la primera se mide en segundos y en la segunda se mide en pulsaciones por minuto.



Gráfica 9. Resultados paciente 7.



Gráfica 10. Resultados paciente 7 parte 2.

Utilizando la opción que nos da la gráfica de representar la línea de tendencia (línea discontinua) de cada ejercicio se puede calcular el porcentaje de mejora que se ha obtenido para esos datos.

Para la tendencia en **abducción y aducción** con un tiempo inicial de 31,9 segundos y un tiempo final de 26,5 segundos se obtiene **una mejora del 16,92%**.

Para la tendencia en **flexión meta-interfalángica** con un tiempo inicial de 21 segundos y un tiempo final de 19,8 segundos se obtiene **una mejora del 5,71%**.

Para la tendencia en **oposición** con una frecuencia inicial de 45 toques por segundo y una frecuencia final de 150 toques por segundo se obtiene **una mejora del 70%**.

Para la tendencia en **combinación** con una frecuencia inicial de 50 toques por segundo y una frecuencia final de 150 toques por segundo se obtiene **una mejora del 56,52%**.

Ahora para tener unos datos más representativos se calcula la media, la varianza y la desviación típica de los mismos como ya se ha explicado con anterioridad.

Paciente 7	Media	Varianza	Desviación
Abducción y aducción	29,07	7,35	2,71
Flexión meta-interfalángica	20,47	0,98	0,99
Oposición	97,33	1298,67	36,04
Combinación	80,80	544,46	23,33

Tabla 17. Cálculos Paciente 7.

Este paciente nota mejora en los ejercicios por tiempo y la mejoría en los ejercicios por frecuencia la mejor es normal, como su estado era grave la mejoría se considera favorable.

- Dedos

6.1.8. Paciente 8.

La lesión que padece este paciente es una fractura de la falange proximal del dedo corazón. Han pasado 3 semanas desde la lesión por lo tanto el estado de la

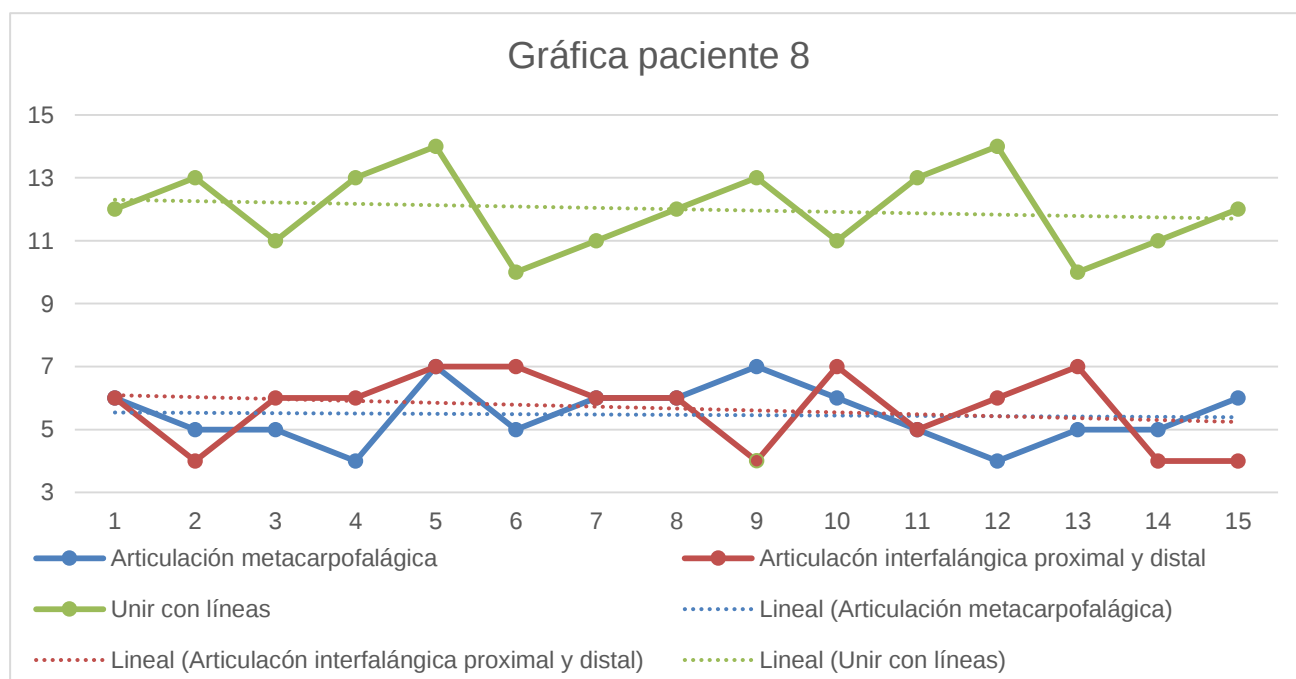
lesión es leve ya que se encuentra en el final del periodo de recuperación en el momento de realizar la prueba sobre él.

A continuación en una tabla se recogen los resultados de este paciente en los distintos niveles del apartado de dedos. El contenido de las columnas corresponde al tiempo. Hay 15 columnas correspondientes a 15 veces de realizar el ejercicio 3 veces por día durante 5 días.

EJERCICIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Articulación metacarpo-falángica	00:06	00:05	00:05	00:04	00:07	00:05	00:06	00:06	00:07	00:06	00:05	00:04	00:05	00:05	00:06
Articulación interfalángica proximal y distal	00:06	00:04	00:06	00:06	00:07	00:07	00:06	00:06	00:04	00:07	00:05	00:06	00:07	00:04	00:04
Unir con líneas	00:12	00:13	00:11	00:13	00:14	00:10	00:11	00:12	00:13	00:11	00:13	00:14	00:10	00:11	00:12

Tabla 18. Resultados paciente 8.

Para poder tener una idea más representativa de estos datos se utiliza una gráfica para poder seguir la evolución de los tiempos.



Gráfica 11. Resultados paciente 8.

Utilizando la opción que nos da la gráfica de representar la línea de tendencia (línea discontinua) de cada ejercicio se puede calcular el porcentaje de mejora que se ha obtenido para esos datos.

Para la tendencia en **articulación metacarpofalángica** con un tiempo inicial de 5,5 segundos y un tiempo final de 5,4 segundos se obtiene **una mejora del 1,81%**.

Para la tendencia en **articulación interfalángica proximal y distal** con un tiempo inicial de 6 segundos y un tiempo final de 5,3 segundos se obtiene **una mejora del 11,66%**.

Para la tendencia en **unir con números** con un tiempo inicial de 12,3 segundos y un tiempo final de 11,8 segundos se obtiene **una mejora del 4,06%**.

Ahora para tener unos datos más representativos se calcula la media, la varianza y la desviación típica de los mismos como ya se ha explicado con anterioridad.

Paciente 8	Media	Varianza	Desviación
Articulación metacarpo-falángica	5,47	0,84	0,92
Articulación interfalángica proximal y distal	5,67	1,38	1,18
Unir con líneas	12,00	1,71	1,31

Tabla 19. Cálculos Paciente 8.

Prácticamente no hay mejora ya que el paciente se encontraba casi recuperado y el estado de su lesión era leve.

6.1.9. Paciente 9.

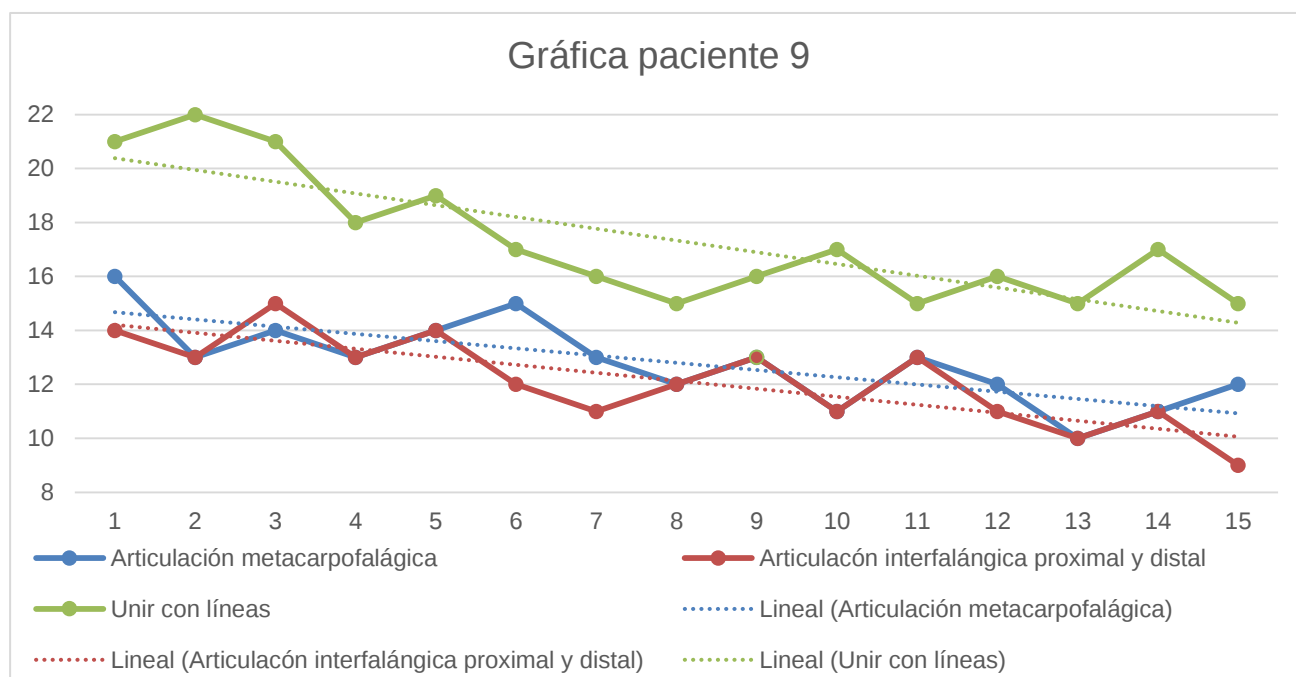
El paciente ha sufrido una fractura de la falange distal del dedo meñique. Han pasado casi 2 semanas desde la lesión por lo tanto el estado de la lesión es medio ya que se encuentra en la mitad del periodo de recuperación en el momento de realizar la prueba sobre él.

A continuación en una tabla se recogen los resultados de este paciente en los distintos niveles del apartado de dedos. El contenido de las columnas corresponde al tiempo. Hay 15 columnas correspondientes a 15 veces de realizar el ejercicio 3 veces por día durante 5 días.

EJERCICIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Articulación metacarpo-falángica	00:16	00:13	00:14	00:13	00:14	00:15	00:13	00:12	00:13	00:11	00:13	00:12	00:10	00:11	00:12
Articulación interfalángica proximal y distal	00:14	00:13	00:15	00:13	00:14	00:12	00:11	00:12	00:13	00:11	00:13	00:11	00:10	00:11	00:09
Unir con líneas	00:21	00:22	00:21	00:18	00:19	00:17	00:16	00:15	00:16	00:17	00:15	00:16	00:15	00:17	00:15

Tabla 20. Resultados paciente 9.

Para poder tener una idea más representativa de estos datos se utiliza una gráfica para poder seguir la evolución de los tiempos.



Gráfica 12. Resultados paciente 9.

Utilizando la opción que nos da la gráfica de representar la línea de tendencia (línea discontinua) de cada ejercicio se puede calcular el porcentaje de mejora que se ha obtenido para esos datos.

Para la tendencia en **articulación metacarpofalángica** con un tiempo inicial de 14,5 segundos y un tiempo final de 11 segundos se obtiene **una mejora del 24,13%**.

Para la tendencia en **articulación interfalángica proximal y distal** con un tiempo inicial de 14,1 segundos y un tiempo final de 10 segundos se obtiene **una mejora del 29,07%**.

Para la tendencia en **unir con números** con un tiempo inicial de 20,2 segundos y un tiempo final de 14,2 segundos se obtiene **una mejora del 29,70%**.

Ahora para tener unos datos más representativos se calcula la media, la varianza y la desviación típica de los mismos como ya se ha explicado con anterioridad.

Paciente 9	Media	Varianza	Desviación
Articulación metacarpo-falángica	12,80	2,46	1,57
Articulación interfalángica proximal y distal	12,13	2,70	1,64
Unir con líneas	17,33	5,67	2,38

Tabla 21. Cálculos Paciente 9.

Se observa que se produce mejoría en todos los ejercicios pero con mayor mejora en unir con números. El estado de la lesión era medio por lo tanto la recuperación era la esperada.

6.1.10. Paciente 10.

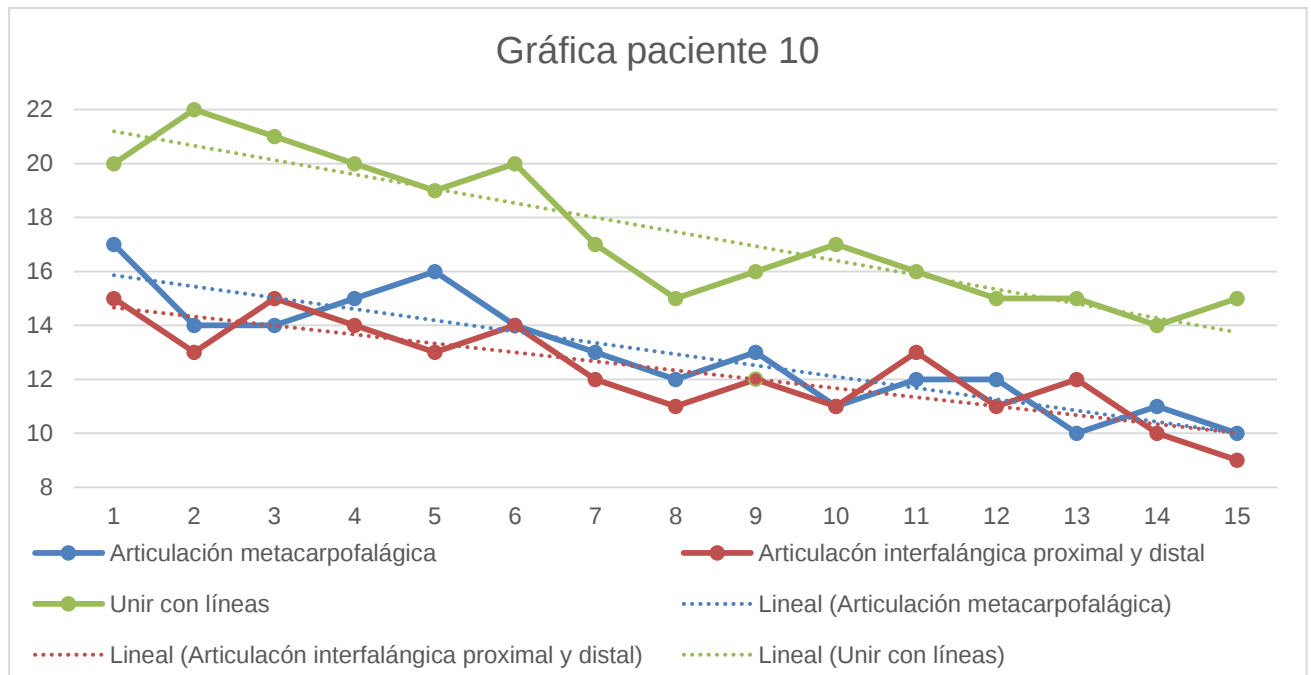
Este paciente ha sufrido la lesión conocida como fractura del boxeador producida en el cuello metacarpiano del dedo índice, ocurre al golpear con el puño teniendo los dedos cerrados. Han pasado 3 semanas desde la lesión por lo tanto el estado de la lesión es leve pues al hacer las pruebas el paciente se encontraba a mitad del periodo de recuperación de la lesión.

A continuación en una tabla se recogen los resultados de este paciente en los distintos niveles del apartado de dedos. El contenido de las columnas corresponde al tiempo. Hay 15 columnas correspondientes a 15 veces de realizar el ejercicio 3 veces por día durante 5 días.

EJERCICIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Articulación metacarpo-falángica	00:17	00:14	00:14	00:15	00:16	00:14	00:13	00:12	00:13	00:11	00:12	00:12	00:10	00:11	00:10
Articulación interfalángica proximal y distal	00:15	00:13	00:15	00:14	00:13	00:14	00:12	00:11	00:12	00:11	00:13	00:11	00:12	00:10	00:09
Unir con líneas	00:20	00:22	00:21	00:20	00:19	00:20	00:17	00:15	00:16	00:17	00:16	00:15	00:15	00:14	00:15

Tabla 22. Resultados paciente 10.

Para poder tener una idea más representativa de estos se utiliza una gráfica para poder seguir la evolución de los tiempos.



Gráfica 13. Resultados paciente 10.

Utilizando la opción que nos da la gráfica de representar la línea de tendencia (línea discontinua) de cada ejercicio se puede calcular el porcentaje de mejora que se ha obtenido para esos datos.

Para la tendencia en **articulación metacarpofalángica** con un tiempo inicial de 15,8 segundos y un tiempo final de 10 segundos se obtiene **una mejora del 36,71%**.

Para la tendencia en **articulación interfalángica proximal y distal** con un tiempo inicial de 14,9 segundos y un tiempo final de 10 segundos se obtiene **una mejora del 32,88%**.

Para la tendencia en **unir con números** con un tiempo inicial de 21,2 segundos y un tiempo final de 13,9 segundos se obtiene **una mejora del 34,43%**.

Ahora para tener unos datos más representativos se calcula la media, la varianza y la desviación típica de los mismos como ya se ha explicado con anterioridad.

Paciente 10	Media	Varianza	Desviación
Articulación metacarpo-falángica	12,93	4,35	2,09
Articulación interfalángica proximal y distal	12,33	3,10	1,76
Unir con líneas	17,47	6,84	2,61

Tabla 23. Cálculos Paciente 10.

El paciente mejora notablemente es los ejercicios destacando unir con líneas, su estado de la lesión era medio por lo tanto los resultado son acorde a lo esperado.

6.1.11. Paciente 11.

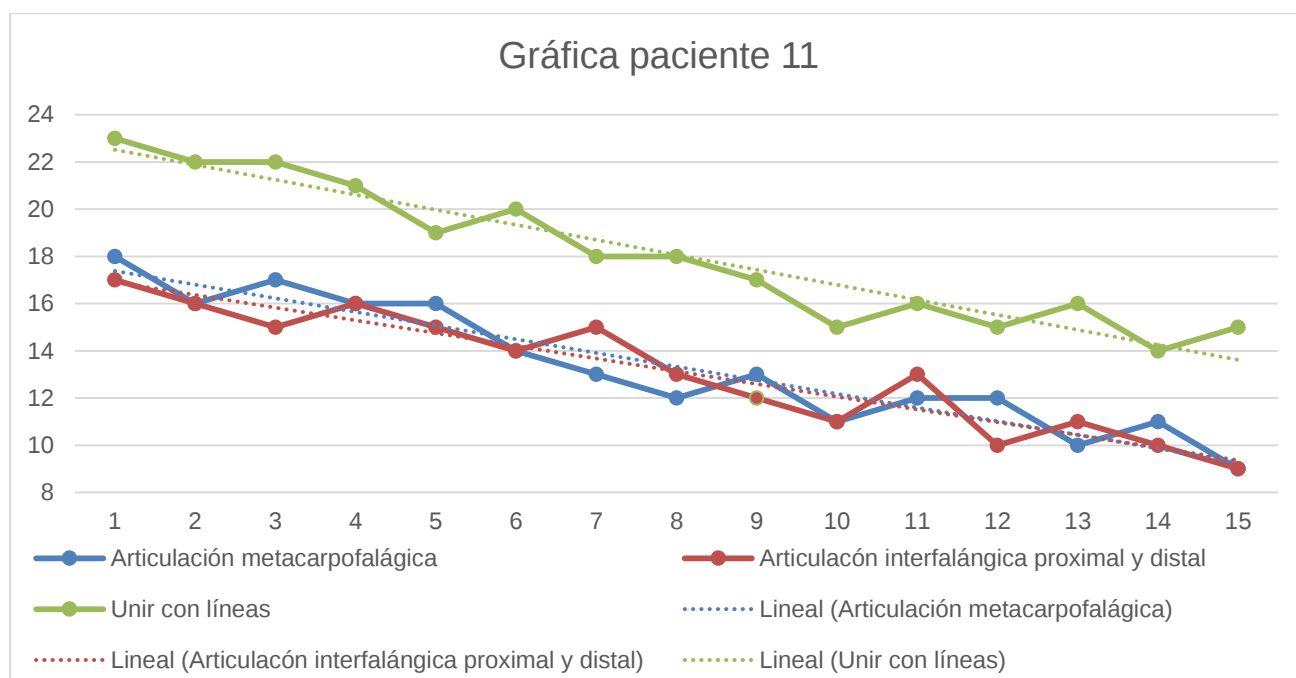
La lesión de este paciente es llamada como fractura-luxación de Bennet que consiste en una fractura intraarticular de la base del primer metacarpiano del dedo anular. Ha pasado menos de una semana desde la lesión por lo tanto el estado de la lesión es grave, puesto que al momento de realizar las pruebas el paciente se encontraba al principio de la recuperación de la lesión.

A continuación en una tabla se recogen los resultados de este paciente en los distintos niveles del apartado de dedos. El contenido de las columnas corresponde al tiempo. Hay 15 columnas correspondientes a 15 veces de realizar el ejercicio 3 veces por día durante 5 días.

EJERCICIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Articulación metacarpo-falángica	00:18	00:16	00:17	00:16	00:16	00:14	00:13	00:12	00:13	00:11	00:12	00:12	00:10	00:11	00:09
Articulación interfalángica proximal y distal	00:17	00:16	00:15	00:16	00:15	00:14	00:15	00:13	00:12	00:11	00:13	00:10	00:11	00:10	00:09
Unir con líneas	00:23	00:22	00:22	00:21	00:19	00:20	00:18	00:18	00:17	00:15	00:16	00:15	00:16	00:14	00:15

Tabla 24. Resultados paciente 11.

Para poder tener una idea más representativa de estos datos se utiliza una gráfica para poder seguir la evolución de los tiempos.

**Gráfica 14. Resultados paciente 11.**

Utilizando la opción que nos da la gráfica de representar la línea de tendencia (línea discontinua) de cada ejercicio se puede calcular el porcentaje de mejora que se ha obtenido para esos datos.

Para la tendencia en **articulación metacarpofalángica** con un tiempo inicial de 17,5 segundos y un tiempo final de 9 segundos se obtiene **una mejora del 48,57%**.

Para la tendencia en **articulación interfalángica proximal y distal** con un tiempo inicial de 17 segundos y un tiempo final de 9,2 segundos se obtiene **una mejora del 45,88%**.

Para la tendencia en **unir con números** con un tiempo inicial de 22,5 segundos y un tiempo final de 13,8 segundos se obtiene **una mejora del 38,66%**.

Ahora para tener unos datos más representativos se calcula la media, la varianza y la desviación típica de los mismos como ya se ha explicado con anterioridad.

Paciente 11	Media	Varianza	Desviación
Articulación metacarpo-falángica	13,33	7,38	2,72
Articulación interfalángica proximal y distal	13,13	6,41	2,53
Unir con líneas	18,07	8,78	2,96

Tabla 25. Cálculos Paciente 11.

En todos los ejercicios se observa una mejora bastante buena del paciente ya que su estado era grave y mejora notablemente.

- Cuestionario de valoración

A todos los pacientes se les proporcionó un cuestionario (Anexo III) para evaluar la aplicación y sus respectivos ejercicios una vez acabasen con el periodo de pruebas. **Los datos que se recopilan a continuación son una media entre todos los cuestionarios de los pacientes** para poder saber así la opinión general sobre la aplicación.

• Muñeca

Ejercicio	Puntúe del 1 al 10 siendo 0 lo mínimo y 10 lo máximo					
	Utilidad		Dificultad		Valoración general	
	Media	Desviación típica	Media	Desviación típica	Media	Desviación típica
Desviación radial y cubital	6.9	0.86	7.2	1.1	8.2	0.6
Flexión y extensión	7.5	1.12	6.5	0.8	8.5	0.72
Precisión	9	0.6	9.2	0.55	9.5	0.39

Tabla 26. Resultados medios muñeca.

• Pulgar

Ejercicio	Puntúe del 1 al 10 siendo 0 lo mínimo y 10 lo máximo					
	Utilidad		Dificultad		Valoración general	
	Media	Desviación típica	Media	Desviación típica	Media	Desviación típica
Abducción y aducción	9.1	0.4	5	1.33	7.2	0.83
Oposición	9.4	0.55	4.1	1.5	9	0.66
Flexión meta-inter falángicas	8.3	0.85	7.4	0.89	8.3	1.11
Combinación	9	0.66	9.2	0.55	9.5	0.42

Tabla 27. Resultados medios pulgar.

- **Dedos**

Ejercicio	Puntúe del 1 al 10 siendo 0 lo mínimo y 10 lo máximo					
	Utilidad		Dificultad		Valoración general	
	Media	Desviación típica	Media	Desviación típica	Media	Desviación típica
Articulación metacarpofalángica	6.5	1.12	9.1	0.55	8.2	0.66
Articulación proximal y distal	7.5	0.83	9	1.10	7.5	0.72
Unir números	9.5	0.32	5	1.89	9.7	0.25

Tabla 28. Resultados medios dedos.

Si se calcula la media de las columnas de los ejercicios es la siguiente:

- **8.56 /10 valoración general**
- **7.17 /10 dificultad**
- **8.27 /10 utilidad**

De estas tablas se deduce que la aplicación en general les ha parecido útil, que los ejercicios más difíciles han sido los de dedos y que los ejercicios que más han gustado son los que combinan varios movimientos a la vez. Todas estas afirmaciones se pueden tener en cuenta para futuras mejoras del prototipo.

7. CONCLUSIÓN

Tras recoger todos los datos y calcular para cada paciente por separado, ahora se comparan los resultados obtenidos en general con todos los pacientes. Se utiliza una tabla global que tendrá todos los datos ya calculados anteriormente.

Se utilizan dos tablas distintas, una con los porcentajes de mejora de cada ejercicio y otra con la desviación típica obtenida por cada paciente. De esta forma se puede ver si la aplicación ayuda a la rehabilitación de forma concreta.

La siguiente tabla muestra los **porcentajes de mejora** según la línea de tendencias para cada nivel por cada paciente. Los porcentajes que superen el **20%** (el **15%** en ejercicios del bloque pulgar) se considerará como límite para determinar que el resultado es **favorable** y que ese ejercicio colabora con la recuperación del paciente. Todos los porcentajes superiores a este límite se pintarán de **verde** en la tabla.

Paciente / Ejercicios	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Desviación radial y cubital	20,32	30,18	27,27	23,53							
Flexión y extensión	22,4	18,36	25,79	20							
Precisión	24	8,63	18,84	27,5							
Abducción y aducción					11,63	9,13	15,92				
Flexión meta-interfalángicas					7,11	15,65	5,71				
Oposición					43,61	35,45	70				
Combinación					30,91	65,71	56,52				
Articulación metacarpofalángica								1,81	24,13	36,70	48,57
Articulación proximal y distal								11,66	29,07	32,88	45,88
Unir números								4,06	29,70	34,43	38,66
Nº de mejoras	3/3	1/3	2/3	3/3	2/4	3/4	3/4	0/3	3/3	3/3	3/3

Tabla 29. Porcentajes generales de mejora.

Como se observa 26 de los 36 datos de la tabla son considerados favorables, pero para considerar que ayuda al paciente se necesita que mejore por encima en todos los ejercicios de los bloques de muñeca o dedo y en 3 de los 4 ejercicios de pulgar, es considerado así porque esto indica una mayor mejora puesto que no hay que olvidar que estos pacientes están recibiendo aparte fisioterapia y obviamente habrá mejora.

Por lo tanto se tiene que **7 de 11 pacientes** les ha servido la aplicación como método extra para la recuperación de su lesión.

Ahora se analiza lo mismo pero utilizando la **desviación típica** (se puede utilizar esta medida puesto que aunque sea una medida de dispersión se ha podido observar que en relación con la gráfica de líneas de los tiempos se aprecia mejora siempre y con ello la desviación siempre será indicador de mejora) calculada para cada paciente en los ejercicios que ha realizado.

Para esta tabla cambiarán los criterios y serán de la siguiente forma. Para el **bloque de muñeca** se considerará favorable si la desviación es **superior a 2,5**. Para el **bloque de pulgar** será favorable si es **superior a 2** y **superior a 20** en los ejercicios de frecuencias (oposición y combinación). El **último bloque** será favorable si la desviación es **superior a 1,5**.

Estos criterios se han decidido así pues en los ejercicios de menor duración habrá menor mejora puesto que los tiempos son bajos. Eligiendo estos criterios se conseguiría diferenciar si la mejora se ha producido por ayuda de la aplicación o simplemente por la recuperación esperada de un paciente normal en un grupo de control.

Paciente / Ejercicios	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Desviación radial y cubital	2,16	2,50	3,44	2,66							
Flexión y extensión	2,53	2,09	3,39	2,20							
Precisión	3,02	2,68	2,86	2,15							
Abducción y aducción					1,78	1,32	2,71				
Flexión meta-interfalángicas					1,37	2,17	0,99				
Oposición					56,98	27,76	36,04				
Combinación					24,52	32,56	23,33				
Articulación metacarpofalángica								0,92	1,57	2,09	2,72
Articulación proximal y distal								1,18	1,64	1,76	2,53
Unir números								1,31	2,38	2,61	2,96
Nº de mejoras	2/3	1/3	3/3	1/3	2/4	3/4	3/4	0/3	3/3	3/3	3/3

Tabla 30. Resultados generales de desviación típica.

En este caso se observa que 25 de los 36 datos son favorables en cuanto a mejoría sobre el paciente. Para considerar que un paciente mejora favorablemente se considera que un paciente mejore en la mayoría de ejercicios de su bloque, es decir, para el bloque de muñeca y dedo que mejoren en dos de los tres ejercicios y para el bloque de pulgar en tres de los cuatro.

Por lo tanto nuevamente se obtiene que **7 de 11 pacientes** su recuperación es considerada favorable gracias al uso extra de la aplicación durante su período de recuperación mientras recibían rehabilitación por parte de profesionales.

- **CONCLUSIÓN FINAL**

Tras el estudio se han obtenido los siguientes resultados.

- **7 de 11 pacientes** mejoran según el porcentaje de su línea de tendencia.
- **7 de 11 pacientes** mejoran según la relación entre desviación típica y la mejora de las gráficas de sus tiempos.

Por lo tanto con la muestra de paciente que se ha realizado el estudio, se puede asegurar que en torno al **65%** de los pacientes que usen el prototipo como método extra para la recuperación de su lesión les ayudará a recuperarse más rápido.

De esta manera se consigue así nuestro objetivo que se planteó al principio de este proyecto, obteniendo como resultado un prototipo que ayuda a la recuperación en la rehabilitación de fracturas en mano o dedos en el que todos los ejercicios han sido validados por una fisioterapeuta cumpliendo así la meta esperada desde el principio.

Bibliografía

Roger S. Pressman (2014). Software Engineering. A Practitioner's Approach. 8th Ed. McGraw-Hill.

Edward Lavieri (2018). Getting started with Unity 2018- Third edition. Packt Publishing.

Patología de la mano, [En línea] [Último acceso: 31 agosto 2019] Disponible:
<https://www.ucm.es/data/cont/docs/420-2014-02-18-17%20Patologia%20de%20la%20Mano.pdf>

Unity User Manual (2018.3), [En línea] [Último acceso: 31 agosto 2019] Disponible:
<https://docs.unity3d.com/es/current/Manual/UnityManual.html>

Varianza y desviación típica, [En línea] [Último acceso: 31 agosto 2019] Disponible:
<https://www.sangakoo.com/es/temas/varianza-y-desviacion-tipica>

Unity 2018, [En línea] [Último acceso: 31 agosto 2019] Disponible:
<https://unity3d.com/es/get-unity/download>

Excel, [En línea] [Último acceso: 31 agosto 2019] Disponible:
<https://products.office.com/es-es/excel>

Visual Studio 2017, [En línea] [Último acceso: 31 agosto 2019] Disponible:
<https://visualstudio.microsoft.com/es/downloads/>

YouTube, [En línea] [Último acceso: 31 agosto 2019] Disponible:
<https://www.youtube.com>

Boletín Oficial del Estado, [En línea] [Último acceso: 31 agosto 2019] Disponible:
<https://www.boe.es/boe/dias/2009/04/04/pdfs/BOE-A-2009-5688.pdf>

Stack Overflow, [En línea] [Último acceso: 31 agosto 2019] Disponible:
<http://stackoverflow.com/>

ANEXOS

Anexo I. Manual de instalación

En este manual se describe los pasos a seguir para poder desplegar el prototipo en nuestro dispositivo móvil a partir del proyecto de Unity.

En primer lugar se tiene que configurar Unity para poder ejecutarlo en nuestro dispositivo Android. Para ello lo primero que se debe hacer es asegurarse de tener descargado y configurado en Unity el Kit de Desarrollo de Software para Android (Android SDK).

Hay dos formas básicas de obtenerlo:

- La primera sería descargándolo como parte de Android Studio, esta solución es más sencilla, pues es un proceso más automático, sin embargo, instala software adicional que no nos será de utilidad.
- La segunda opción es instalarlo mediante las herramientas de línea de comandos, con las cuales se tiene más autonomía, pero pueden ser algo más complejas de manejar para un usuario poco experimentado.

En ambos casos se necesita acceder a la página oficial de Android Studio y descargar el archivo necesario. Se deberá en cualquier caso instalar el paquete correspondiente a la versión de Android que ejecute nuestro dispositivo, ya que por defecto sólo se instala la última para evitar errores de compatibilidad con las distintas versiones, aunque el prototipo ha sido probado con distintas versiones sin generar problema alguno.

Tras esto hay que asegurarse que Unity conoce la ruta al Android SDK. Se puede comprobar accediendo a **Edit>Preferences>External Tools**. Por defecto Unity será capaz de encontrar la carpeta en la que se almacena el SDK cuando se pulse sobre Browse.

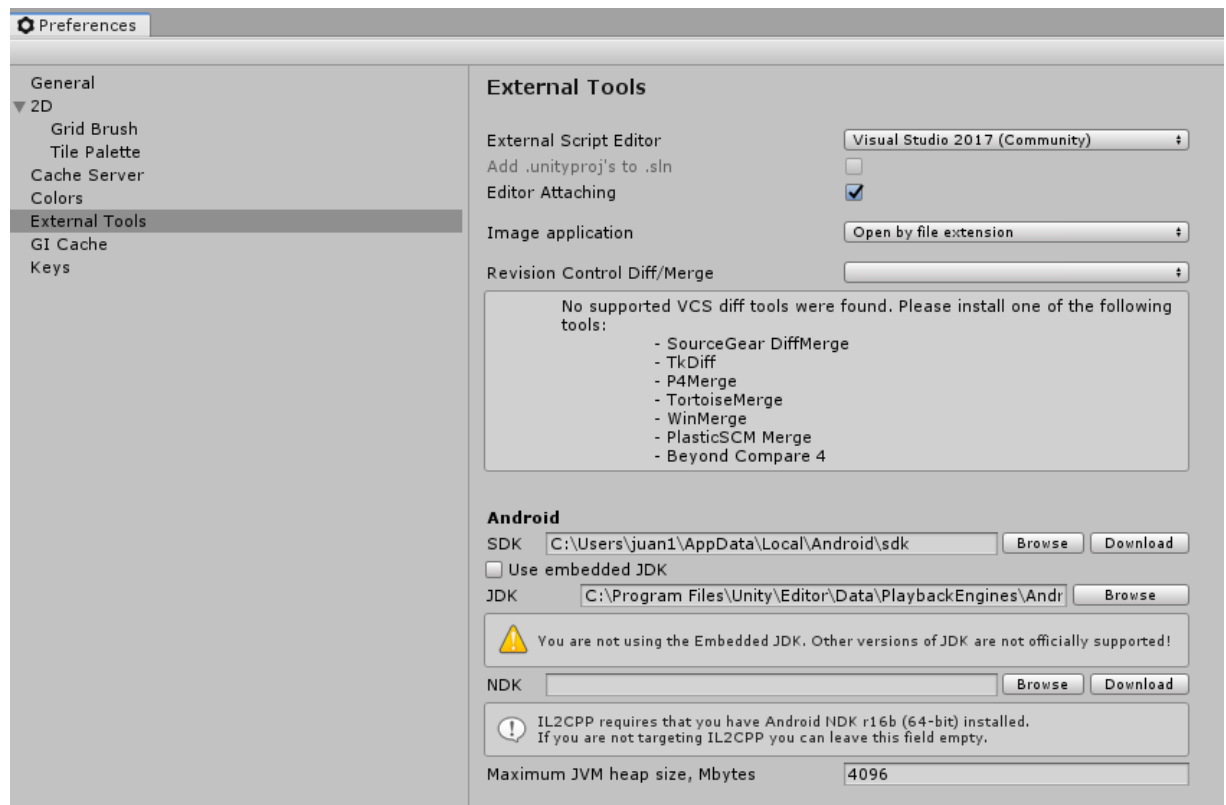


Ilustración 35. Pestaña configuración sdk.

A continuación, hay que activar las opciones de desarrollador en nuestro dispositivo Android. Simplemente hay que acceder a la app “Settings”, después “Información del teléfono” y pulsar 7 veces sobre el número de compilación.

Esto desbloqueará una nueva opción en “Settings” llamada “Opciones de desarrollo”. Ahora hay que acceder a ella y habilitar la “Depuración USB” para poder utilizar nuestro dispositivo como medio de depuración de la aplicación cuando se conecte por USB a un ordenador.

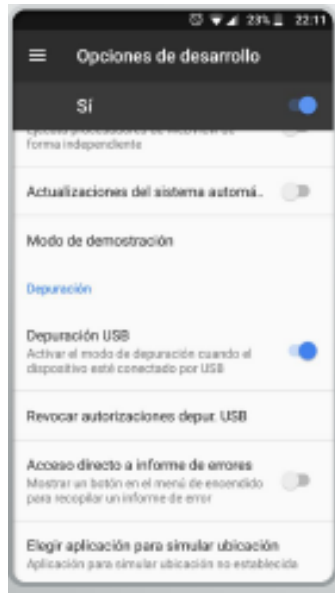


Ilustración 36. Ventana opciones de desarrollo.

Finalmente, hay que conectar nuestro dispositivo a Android al ordenador por USB, y aparecerá una ventana emergente para confirmar que se desea permitir la depuración con este dispositivo en el ordenador. El ordenador a su vez registrará al dispositivo en su ADB de dispositivos autorizados. Ahora hay que acceder a “Build Settings”, establecer como plataforma Android y pulsar en “Switch Platform”.

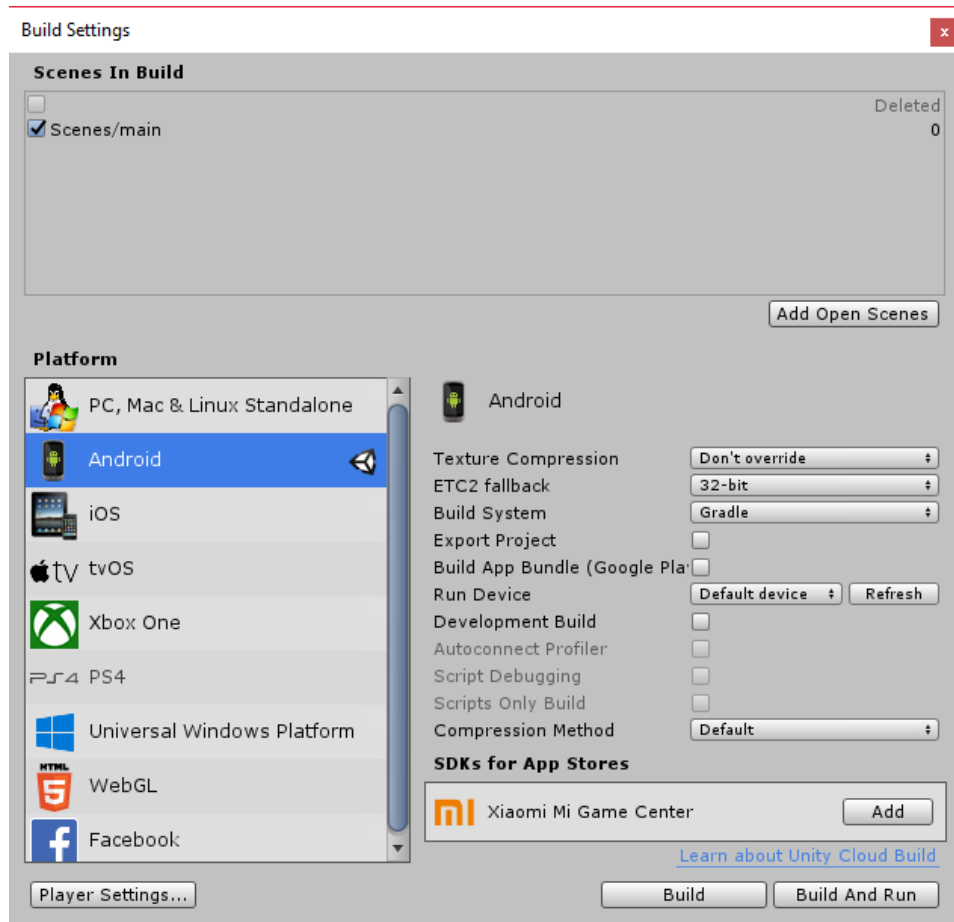


Ilustración 37. Ventana opciones de desarrollo.

Se debe pulsar sobre “Player Settings” y establecer un “Package Name” válido, pues no aceptará el que viene por defecto. Una vez configurado esto ya se puede dar a “Build And Run”, se selecciona una ruta y nombre para guardar la apk del juego y cuando se termine de compilar ya se puede jugar desde nuestro dispositivo móvil.

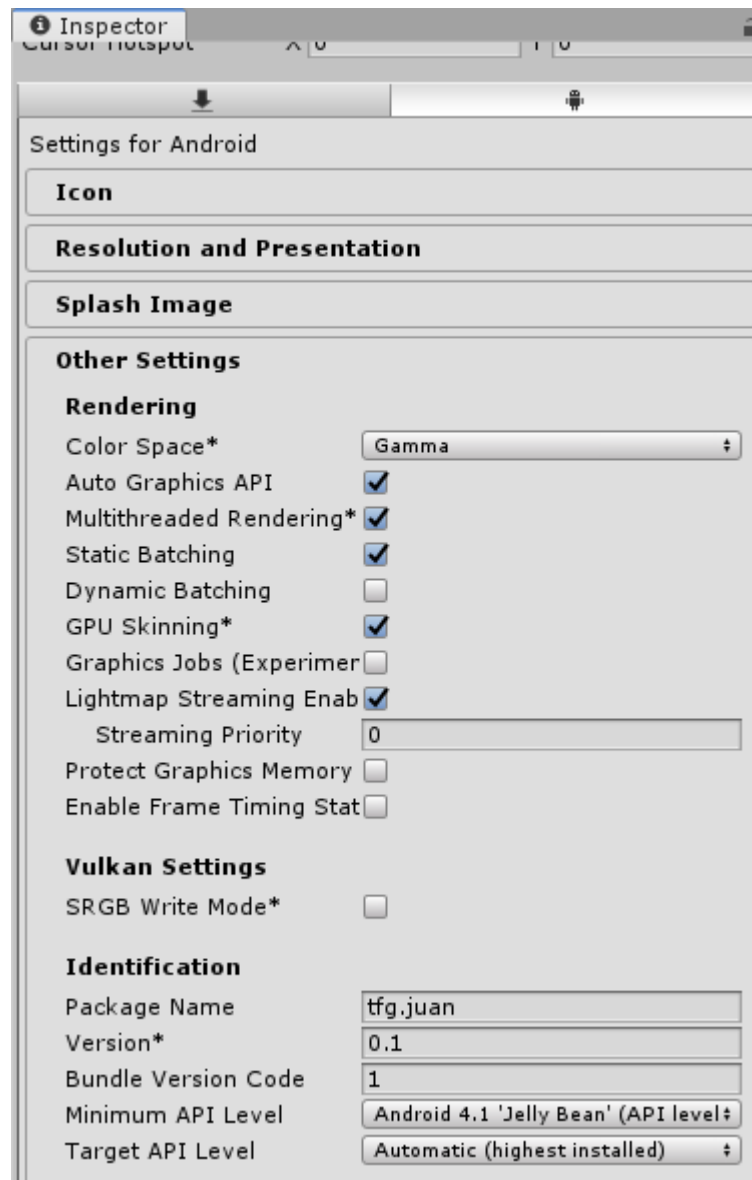


Ilustración 38. Ventana package name.

Una vez configurado esto y al tener el dispositivo conectado, al pulsar “build and run” la app se instalará automáticamente en el dispositivo y se abrirá. Otra forma de instalar la app es pulsando solo “build” de esta manera se generará la apk para instalar, al pasarla al dispositivo y pulsar sobre ella solamente hay que aceptar y comenzará la instalación.

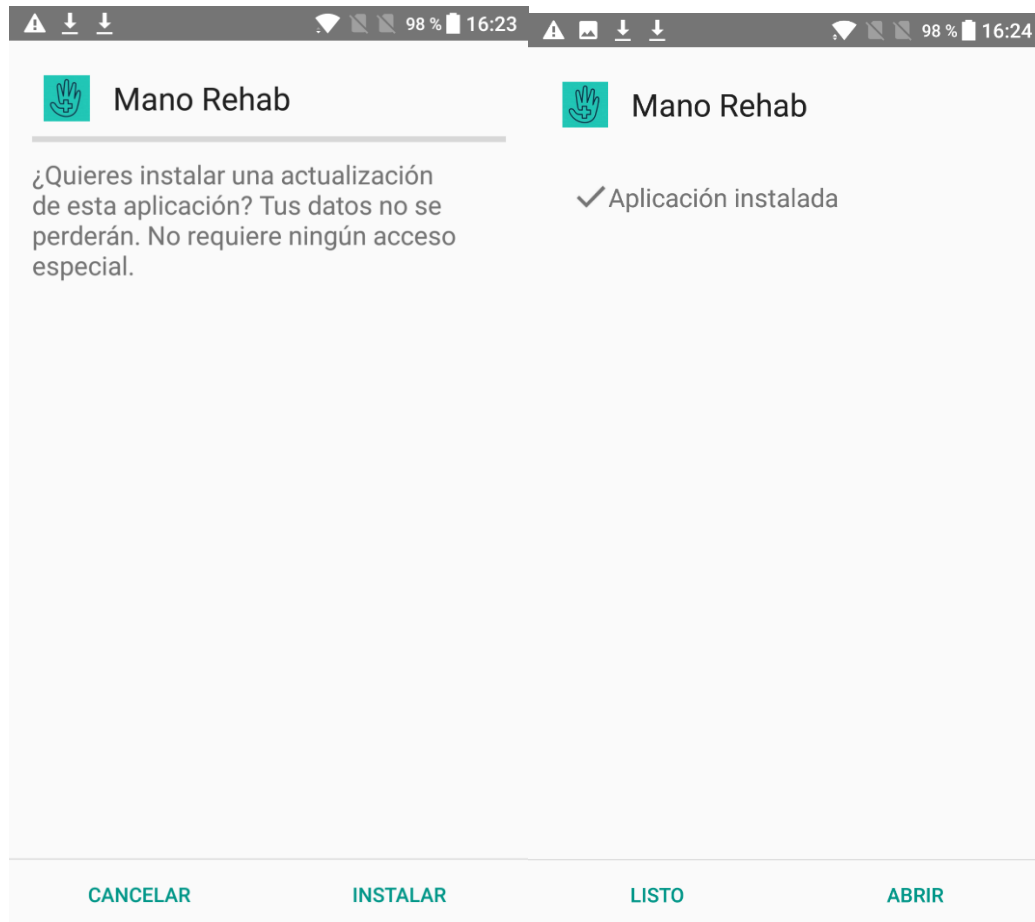


Ilustración 39. Estado del móvil durante la instalación.

De esta manera ya tendrías la aplicación instalada en tu dispositivo y lista para poder usarla.

Si lo que se desea es ejecutar el proyecto en el Pc lo que se deberá de hacer es modificar el script llamado Fichero.cs y en el método start() habrá que comentar la línea 26 y descomentar la línea 27, cada una tiene la ruta específica donde se aloja el fichero de guardado de datos. La primera es la ruta para el dispositivo móvil y la segunda es la ruta para Pc.

```
26 //la ruta del fichero es la siguiente @"C:\Users\juan1\Desktop\TFG\resultados.txt";  
27 //pero la ruta al proyecto no hace falta ponerla  
28 //la ruta en el dispositivo es /data/data/tfg.juan/resultados.txt funcione en el movil  
29  
30 ruta = "/data/data/tfg.juan/resultados.txt";  
31 //ruta = "resultados.txt";
```

Ilustración 40. Líneas configuración para Pc.

Una vez hecho esto se puede ejecutar la app en el Pc sin que salte ninguna excepción. La única diferencia será que en los ejercicios es lo que se usa

acelerómetro del móvil o en los que hay que poner dos dedos en la pantalla no se podrán probar puesto que el pc no dispone de estos componentes.

Anexo II. Manual de uso

Este manual detallará paso a paso cómo utilizar la aplicación y cómo moverse dentro de la misma.

Lo primero que se ve al entrar en la aplicación será la pantalla inicial desde la cual se puede acceder a los ejercicios o a los resultados.



Ilustración 41. Pantalla inicial de la aplicación.

Si se pulsa sobre ejercicios se accede a otra vista la cual aparecen tres botones que clasifica los ejercicios en tres tipos de lesiones distintas: muñeca, pulgar y lesión.



Ilustración 42. Pantalla inicial de la aplicación.

Al acceder a cualquiera de estos apartados volverán a aparecer los distintos ejercicios que contenga ese bloque que serán específicos para un movimiento en concreto de esa lesión. En el siguiente ejemplo se muestran los ejercicios disponibles para el pulgar.

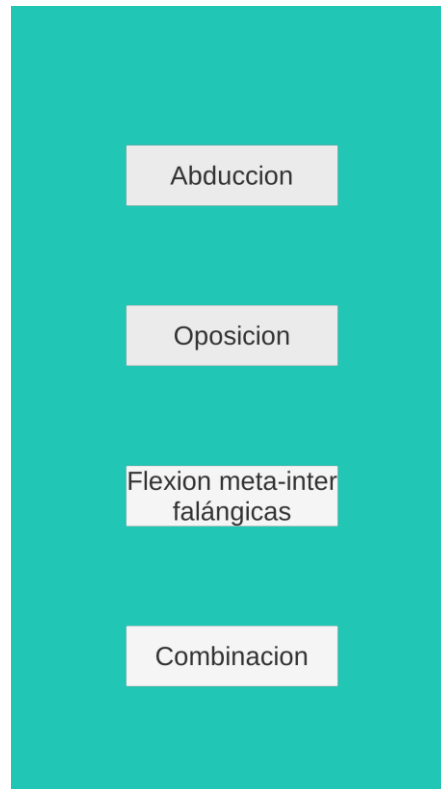


Ilustración 43. Pantalla ejercicios de pulgar.

Al pulsar en cualquier ejercicio, este comenzará y aparecerá una pantalla que da la información sobre el ejercicio y sobre cómo realizarlo. Al aceptar el ejercicio empezará.



Ilustración 44. Pantalla de información de un ejercicio.

Y una vez leído esto se podrá acceder al ejercicio el cual se verá de la siguiente forma.

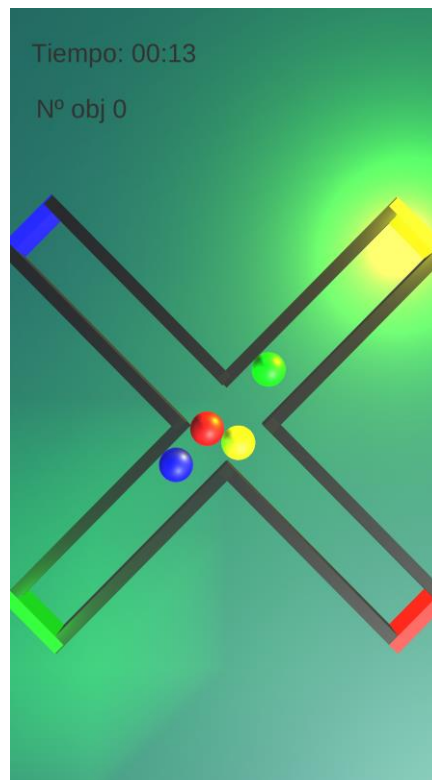


Ilustración 45. Pantalla realizando un ejercicio.

Una vez que se está dentro de un ejercicio las dos formas de salir de él son o realizando los objetivos que se pidan o pausando el juego y confirmar para salir. Para activar esta pantalla bastará con pulsar el botón de la acción “atrás” en tu dispositivo, ya que la aplicación ha sido diseñada para soportar este tipo de acción e integrar esta acción de Android.

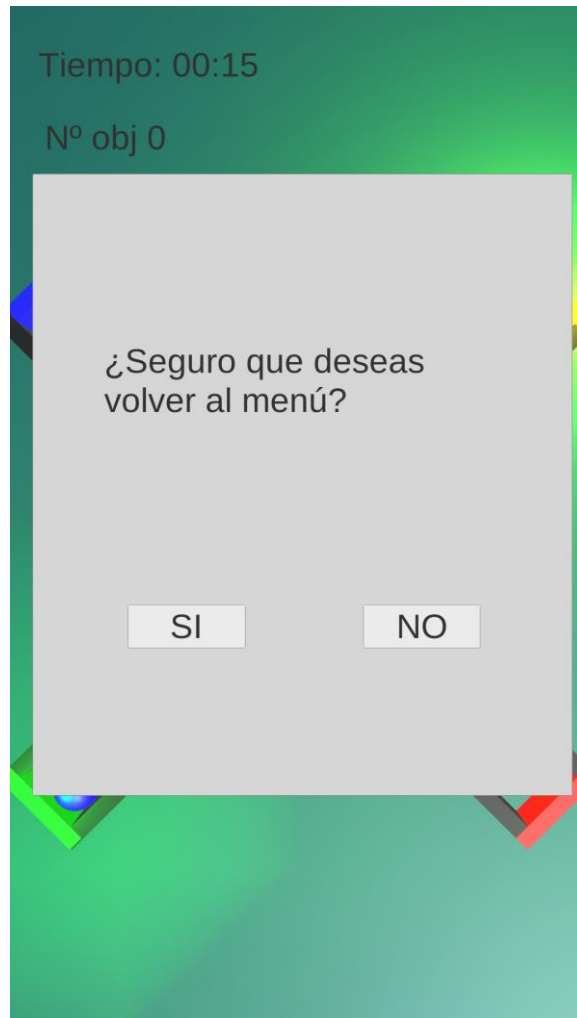
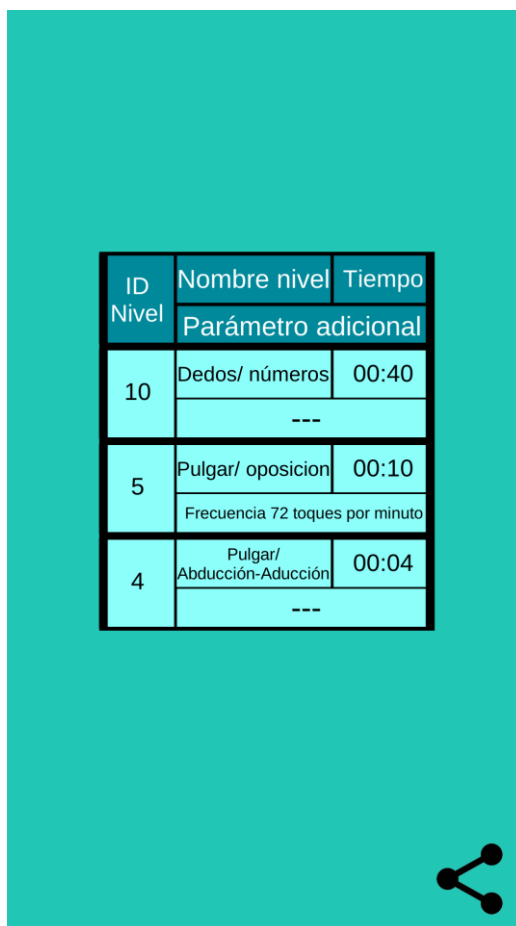


Ilustración 46. Pantalla de confirmación volver a inicio.

Desde la pantalla de inicio también se puede acceder a resultados, esta pantalla almacenará todos los resultados de los ejercicios que se hayan ido haciendo, estos aparecerán en una tabla cuyo contenido es deslizable para poder ver todos los resultados almacenados. Desde esta pantalla se permitirá compartir estos resultados pulsando sobre el icono de compartir de la esquina inferior derecha de la siguiente ilustración.



ID Nivel	Nombre nivel	Tiempo
10	Dedos/ números	00:40

5	Pulgar/ oposicion	00:10
	Frecuencia 72 toques por minuto	
4	Pulgar/ Abducción-Aducción	00:04

Ilustración 47. Pantalla de resultados.

El botón de compartir ha sido integrado con la función que nos ofrece Android para compartir contenido desde nuestras aplicaciones, de esta manera la aplicación estará integrada con el sistema operativo. Al pulsar sobre el correo, aparecerá directamente escritos en el cuerpo del correo, listo para escribir el correo del destinatario y enviar.

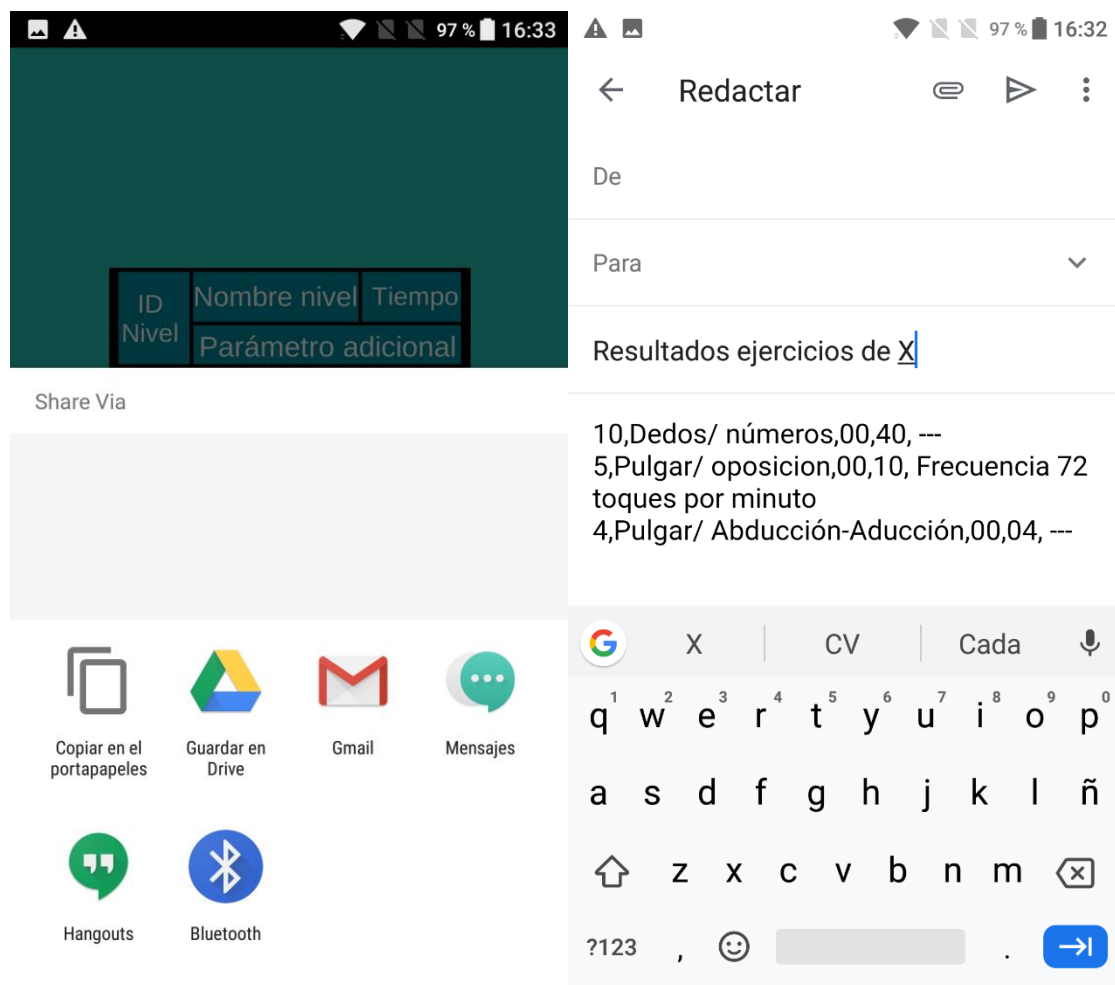


Ilustración 48. Ilustración de la acción de compartir resultados.

Con todo esto ya estás listo para poder usar la aplicación por tu cuenta sabiendo en todo momento donde te encuentras o como salir de ahí.

Anexo III. Cuestionario de evaluación**Nombre:****Versión Android:****Lesión:**

Conteste solo las cuestiones que pertenecen a su tipo de lesión. El apartado de dificultado a la hora de realizar el ejercicio, utilidad se refiere a si el nivel le es útil a la hora de ejercitar ese tipo de ejercicio y valoración general englobando tanto feedback, resolución u originalidad en cuanto a ese ejercicio.

- **Muñeca**

	Puntúe del 1 al 10 siendo 0 lo mínimo y 10 lo máximo		
Ejercicio	Utilidad	Dificultad	Valoración general
Desviación radial y cubital			
Flexión y extensión			
Precisión			

- **Pulgar**

	Puntúe del 1 al 10 siendo 0 lo mínimo y 10 lo máximo		
Ejercicio	Utilidad	Dificultad	Valoración general
Abducción y aducción			
Oposición			
Flexión meta-inter falángicas			
Combinación			

- **Dedos**

	Puntúe del 1 al 10 siendo 0 lo mínimo y 10 lo máximo		
Ejercicio	Utilidad	Dificultad	Valoración general
Articulación metacarpofalángica			
Articulación proximal y distal			
Unir números			

Observación (comente cualquier cosa sobre qué mejorar en la app, o cualquier problema que le haya surgido):	
---	--

Anexo IV. Diagrama de clases

A continuación se detalla el diagrama de clases utilizado en el proyecto de Unity.

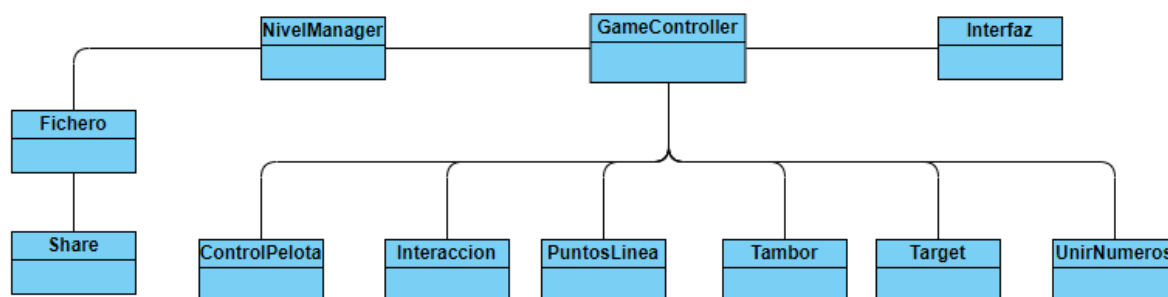


Ilustración 49. Diagrama de clases.