

DISEÑO DE UNA PLATAFORMA DE MOVIMIENTO OMNIDIRECCIONAL DE REALIDAD
VIRTUAL CON FIN TERAPÉUTICO PARA AYUDA DE MOVILIDAD DE EXTREMIDADES
INFERIORES.

JONATHAN CAMILO PAEZ ROLDAN

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

INGENIERIA EN MECATRONICA

BOGOTA

2017

DISEÑO DE UNA PLATAFORMA DE MOVIMIENTO OMNIDIRECCIONAL DE REALIDAD
VIRTUAL CON FIN TERAPÉUTICO PARA AYUDA DE MOVILIDAD DE EXTREMIDADES
INFERIORES.

JONATHAN CAMILO PAEZ ROLDAN

Desarrollo tecnológico

Tutor

Ing. Byron Alfonso Pérez Gutiérrez

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

INGENIERIA EN MECATRONICA

BOGOTA

2017

NOTA DE ACEPTACION

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

BOGOTA 2017

AGRADECIMIENTOS

Culminar un proyecto educativo y de formación requiere de gran gusto, labor y sacrificio. Requiere de ganas, entusiasmo y fortaleza mental para siempre estar dispuesto a aprender. Aprovechar cada palabra de apoyo, cada momento, cada ser humano y circunstancia que estuvo presente en el camino nos hace y me hace merecedor de logros importantes y en este caso obtener orgullosamente un éxito más en la vida.

Agradecer primeramente a Dios quien me puso en este punto, en este lugar, quien quiso que fuera yo el que viviera y estuviera en cada uno de los momentos que me llevaron a tomar las decisiones correctas o incorrectas pero que hoy en día formaron mi carácter y mis ganas de querer ser mejor.

A mi familia que ha sido una gran motivación, que en el día a día estuvieron presentes y pendientes en cada tropiezo y escalón superado, brindándome siempre el estímulo necesario para seguir adelante. Principalmente a mi madre quien es la persona de la que más he aprendido en la vida, quien me ha brindado las mejores oportunidades que ha podido y querido, de quien recibí la primera y mejor educación de todas que fue la de ser un hijo con valores y de buen espíritu, gracias a ella soy hoy lo que soy y no podría estar más orgulloso.

Agradecer a la Universidad Militar Nueva Granada que me abrió las puertas de su casa, para llenarme de principios y rodear mi entorno y corazón de patria ciencia y familia. Por permitirme ocupar sus espacios y aprovechar de sus excelentes servicios de personas y educación.

Al docente Ing. Byron Alfonso Pérez Gutiérrez quien fue parte fundamental con sus conocimientos permitiendo solventar dificultades, por su tiempo y dedicación en cada una de mis consultas para culminar de manera exitosa esta etapa.

Por ultimo agradecer a mis compañeros y docentes quienes con cada momento vivido dejaron huella en mi formación integral.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	14
1. NUCLEO TEMÁTICO.....	15
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.2. OBJETIVOS.....	15
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	16
1.4. ALCANCE O DELIMITACIÓN DEL PROYECTO.....	16
2. MARCO TEORICO.....	17
2.1.1. MARCO CONCEPTUAL.....	17
2.1.2. La realidad virtual.....	17
2.1.3. Tipos de inmersión.....	17
2.1.4. Elementos usados en realidad virtual.....	18
2.1.5. La realidad virtual y la rehabilitación.....	19
2.2. ANTECEDENTES / ESTADO DEL ARTE.....	20
3. INGENIERIA DEL PROYECTO.....	28
3.1. Parámetros y consideraciones en el diseño.....	28
3.2. Resultados esperados.....	29
3.3. DISEÑO DEL PROYECTO.....	29
3.3.1. Diseño ambiente virtual.....	29
3.3.2. Diseño mecánico.....	31
3.3.3. Diseño electrónico.....	34
4. ANALISIS DE RESULTADOS.....	48
4.1. Resultados encuesta.....	48
4.2. Estudio del movimiento de los pies al caminar	50
4.3. Simulaciones.....	53
5. CONCLUSIONES	60
5.1. Trabajos futuros	
6. ANEXOS.....	61
7. BIBLIOGRAFIA.....	71

TABLA DE FIGURAS

Ilustración 1: VUE VR TREADMILL.....	20
Ilustración 2: VIRTUIX OMNI.....	21
Ilustración 3: KATVR.....	21
Ilustración 4: INFINADECK.....	22
Ilustración 5: Participante en el papel de un adulto consolando a un niño que llora (crédito: UCL).....	23
Ilustración 6: Ambiente virtual UNITY.....	30
Ilustración 7: Ambiente virtual UNITY.....	30
Ilustración 8: Diseño en CAD (SolidWorks) base plataforma omnidireccional.....	31
Ilustración 9: Vista frontal de la base de la plataforma omnidireccional.....	32
Ilustración 10: Diseño en CAD (SolidWorks) columna soporte.....	32
Ilustración 11: CINTURON SOPORTE.....	33
Ilustración 12: Diseño plataforma omnidireccional.....	34
Ilustración 13: definición sistema movimiento corporal para el análisis del diseño electrónico de la plataforma omnidireccional.....	35
Ilustración 14: Diagrama de envío y recepción de datos.....	36
Ilustración 15: diagrama circuito eléctrico conexiones del sistema de adquisición procesamiento y envío de datos.....	36
Ilustración 16: caracterización giroscopio.....	37
Ilustración 17: Datos acelerómetros pie derecho e izquierdo con respecto al tiempo..	38
Ilustración 18: DIAGRAMA CONEXIÓN PIC - ACELEROMETRO ADXL335.....	39
Ilustración 19: PIC16F688.....	39
Ilustración 20: REGISTRO ADCON0.....	41
Ilustración 21: REGISTRO ADCON1.....	41
Ilustración 22: PIC16F688 (señalados puertos TX RX - comunicación serial).....	42
Ilustración 23: diferencia conexiones comunicación serial.....	43

Ilustración 24: REGISTRO TXSTA.....	44
Ilustración 25: REGISTRO RCSTA.....	45
Ilustración 26: DIAGRAMA CONEXIÓN MODULO INALÁMBRICO RF.....	46
Ilustración 27: diagrama envío datos mediante comunicación inalámbrica RF.....	47
Ilustración 28: Resultados encuesta población de 20 pacientes en terapia de rehabilitación.....	49
Ilustración 29: Movimiento de una persona al caminar.....	52
Ilustración 30: Análisis estático de fuerzas – 1000N.....	54
Ilustración 31: Análisis estático de fuerzas – 3000N.....	54
Ilustración 32: Análisis estático de fuerzas – 4000N.....	55
Ilustración 33: Análisis estático de fuerzas - 1500N.....	56
Ilustración 34: Análisis estático de fuerzas - 2500N.....	56
Ilustración 35: Análisis estático de fuerzas - 3000N.....	57
Ilustración 36: Análisis estático de fuerzas - 1500N.....	58
Ilustración 37: Análisis estático de fuerzas - 3000N.....	58
Ilustración 38: Análisis estático de fuerzas - 3500N.....	59

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: resultados población - movimiento al caminar.....	51
Tabla 2. caracterización/conversión giroscopio.....	37
Tabla 3. Resultados obtenidos.....	53

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Planos del diseño mecánico de la plataforma omnidireccional.....	63
Anexo 2. Encuesta realizada a población en terapia de rehabilitación de sus miembros inferiores.....	72

GLOSARIO

PSIOUS: Es una plataforma que ofrece los beneficios de la Realidad Virtual de manera rápida y sencilla a través de tu teléfono móvil y unas gafas de RV, sin necesidad de complejos o costosos equipamientos. Psious es fácil de utilizar y no requiere instalación ni conocimientos técnicos. Diseñada por psicólogos, Psious fue ideada como una herramienta complementaria para ayudarte a hacer frente a las dificultades que plantean las terapias de exposición. [1]

BIOFEEDBACK: Es un área muy desarrollada en la Medicina del Comportamiento en Estados Unidos. A través de aparatos electrónicos se mide de forma visual, analógica, digital y auditiva los procesos fisiológicos. Esto permite que el paciente obtenga información en tiempo real de sus reacciones fisiológicas y emocionales, a través de señales auditivas y lumínicas, proporcionándole la posibilidad de aumentar su autocontrol. Esta técnica se utiliza normalmente en terapia unida a técnicas de tipo cognitivo. [2]

OCULUS RIFT: Aparato de realidad virtual para usos tanto lúdicos como profesionales, desarrollado por la empresa Oculus VR. Funciona conectado a un ordenador, donde se ejecuta el software, lo que le permite aprovechar toda la potencia de aquel para su recreación del mundo virtual.

PLAY STATION VR: conocido también como Morpheus, es un casco de realidad virtual actualmente en desarrollo por Sony. Está diseñado para ser plenamente funcional con la consola Playstation 4 y Playstation 4 Pro. Sacado al mercado en 2016.

MICROSOFT HOLO LENTS: gafas de realidad aumentada y realidad mixta en desarrollo por Microsoft dentro de su plataforma Windows Holographic. Presentadas al público en 2015. A diferencia de otras, llevan incorporado su propio hardware de procesamiento y su sistema operativo (Windows), por lo que son independientes de cualquier aparato externo.

HTC VIVE: proyecto conjunto de Valve Corporation y HTC, actualmente en desarrollo, de un HMD con una resolución anunciada de 1080x1200 para cada ojo, tasa de refresco de 90 Hz, y más de 70 sensores de posición y orientación. Forma parte del proyecto SteamVR de Valve.

GLOVEONE: dispositivo háptico de realidad virtual desarrollado por NeuroDigital Technologies. Es un guante que permite recibir sensaciones hápticas mediante diez actuadores dispuestos estratégicamente en las yemas de los dedos y la palma de la mano con la finalidad de hacer llegar al usuario la sensación de tener o sentir un objeto en su propia mano. Gloveone además proporciona seguimiento de manos y dedos por sí mismo, aunque es 100 % compatible con Leap Motion, Intel RealSense. Permite interactuar con objetos mostrados en la pantalla de un ordenador o con HMD como Oculus Rift, Samsung Gear VR, HTC Vive o OSVR.

POWER CLAW: Interfaz que estimula la piel, logrando desarrollar el sentido del tacto. El dispositivo tiene la funcionalidad de generar la sensación de calor, frío, vibración y rugosidad. Este sistema cuenta con una integración directa con el Oculus Rift y Leap Motion.

VIRTUIX OMNI: accesorio periférico para el Oculus Rift, consistente en una plataforma omnidireccional sobre la que el usuario puede caminar sin moverse del sitio.

LEAP MOTION: accesorio consistente en un sensor que percibe a distancia los movimientos de la mano, convirtiéndola así en un dispositivo de entrada (un controlador).

STEM SYSTEM: sistema para la detección inalámbrica de los movimientos corporales, desarrollado por la empresa Sixense.

RESUMEN

El presente informe corresponde al diseño de una plataforma omnidireccional con fin terapéutico para la rehabilitación de miembros inferiores con integración de realidad virtual, con el propósito de establecer posibles soluciones a la problemática de la cantidad de pacientes que desertan en sus terapias de rehabilitación por falta de progreso o baja emocionalidad. Se presenta un diseño con sus respectivos análisis de elementos finitos, planos, opiniones de gente que se ve directamente afectada con el proyecto, integración de realidad virtual y toda la explicación detallada del proyecto.

ABSTRACT

The present report corresponds to the design of an omnidirectional platform with therapeutic purpose for the rehabilitation of the lower limbs with the integration of the virtual reality, with the purpose of establishing possible solutions to the problematic of the amount of patients that they wish in their therapies of rehabilitation for lack of progress or low emotionality. We present a design with their respective analysis of finite elements, plans of the people that is directly affected with the project, integration of virtual reality and the whole explanation of the project.

INTRODUCCION

Actualmente existen diversos tipos de terapias de rehabilitación para tratar cualquier tipo de discapacidades, complejos, lesiones, enfermedades etc., estas cuentan con diferentes métodos de exposición que involucran y conllevan al paciente a interactuar con diferentes medios, ya sea un fisioterapeuta para lesiones físicas, ejercicios físicos para terapias de rehabilitación cardíaca vestibular o pulmonar, rutinas de aprendizaje repetitivas para rehabilitación cognitiva o terapias psicológicas de exposición y choque por complejos emocionales o traumáticos. En este informe nos centraremos en la terapia para rehabilitación de miembros inferiores es decir personas que necesitan mejorar su movimiento motriz en sus piernas, volver a tener un caminar natural y dejar a un lado objetos como caminadores bastones o muletas. Un gran problema que experimentan muchos pacientes con respecto a sus sesiones y terapias de rehabilitación de miembros inferiores es que encuentran una rutina monótona la cual empieza como aburrimiento, evoluciona en abandono de la terapia lo que lleva a que el paciente no vea mejora en su problema y peor aún que no se recupere.

La realidad virtual brinda al usuario la capacidad de sumergirse e interactuar en un mundo totalmente diferente al que se encuentra, teniendo sensaciones físicas como el tacto, olor, gusto, oído y vista tan reales como si fuera posible. La inmersión en un mundo virtual le brinda al cerebro la capacidad de sentir satisfacción, gusto, alegría, miedo, terror, angustia, en fin, un sin mundo de emociones que ocasionan que la persona viva la realidad de una manera totalmente diferente. El diseño de una plataforma omnidireccional y la integración con un entorno virtual brindaran al paciente la sensación de estar haciendo su sesión terapéutica en un ambiente totalmente diferente, caminando y recorriendo lugares que ellos desearan conocer provocando una reacción positiva en su cerebro que hará satisfactoria la sesión esperando a que no abandonen su recuperación sino hasta que mejoren.

1. NUCLEO TEMÁTICO

En este capítulo se describe el planteamiento del problema, los objetivos principales y específicos, justificación y el alcance del proyecto

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente la población mundial cuenta con años de investigación y desarrollo de prácticas de rehabilitación terapéutica incluyendo seguimientos de procesos, evaluaciones y buenos resultados, no obstante, siguen existiendo terapias no muy prácticas que inducen al paciente a la rutina aburrimiento monotonía y por ende el abandono a la terapia lo que causa que no haya una mejoría en su recuperación. La incursión de la realidad virtual en el área de la rehabilitación terapéutica provoca que el paciente se sumerja en entornos virtuales sintiendo una realidad diferente provocando un estado mental optimo y así mismo una disposición mayor para su propia recuperación.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar una plataforma de movimiento omnidireccional de realidad virtual con fin terapéutico para ayuda de movilidad de extremidades inferiores.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Detallar el proceso de diseño mecánico de una plataforma omnidireccional.
2. Justificar diseños electrónicos necesarios para su diseño.
3. Desarrollar un ambiente virtual para la inmersión del sujeto en la plataforma.
4. Explicar el enlace de la plataforma con el ambiente virtual propuesto.
5. Evaluar el desarrollo del diseño de la plataforma omnidireccional.

1.3. JUSTIFICACION

El presente trabajo se centrará en el diseño de una plataforma de movimiento omnidireccional con inmersión en realidad virtual enfocada a la terapia y rehabilitación de extremidades inferiores, ya que debido a recientes estudios investigaciones y demostraciones se ha comprobado que someter a pacientes en entornos virtuales provoca una experiencia positiva en la terapia y por consiguiente una mejoría en su recuperación. Así, el siguiente trabajo permitirá mostrar todo el diseño de este dispositivo y su explicación de cómo se enlazaría a un entorno virtual.

1.4. ALCANCE O DELIMITACION DEL PROYECTO

El proyecto se enfocará en el proceso de diseño de una plataforma omnidireccional, en el desarrollo de un ambiente virtual y la integración entre estos dos.

2. MARCO TEORICO

2.1.1. MARCO CONCEPTUAL

2.1.2. La realidad virtual

La realidad virtual es la simulación de un entorno o situación real a través de un ordenador, que le brinda a la persona la sensación inmersiva de estar dentro de algún lugar viviendo momentos reales e interactuando con las diferentes situaciones a las que fuese expuesto, teniendo como resultado sensaciones visuales, auditivas, táctiles, del olfato y el gusto.

Las aplicaciones que en la actualidad encontramos de la realidad virtual en actividades de la vida cotidiana son muchas y diversas. Cabe destacar: la reconstrucción de la herencia cultural, la medicina, la simulación de multitudes y la sensación de presencia. [3]

2.1.3. Tipos de inmersión

Realidad virtual inmersiva:

Se consigue una inmersión total mediante periféricos (cascos de realidad virtual, gafas, posicionadores, HDM...), hasta el punto de desaparecer el mundo real. Dentro de esta podemos distinguir dos tipos de sistemas, *los oclusivos* que no permiten la interacción con el mundo real, de forma que se reduce la comunicación entre el sujeto y su entorno externo, permitiendo una mayor interacción con el entorno virtual y los *no oclusivos* que permiten la interacción con el entorno externo del mundo virtual, por lo tanto, consiguen una menor inmersión en el entorno virtual.

Realidad virtual semi-inmersiva:

Interactuamos con el mundo virtual, pero sin estar sumergidos en el mismo, por ejemplo, a través de un monitor. Este tipo de RV es muy común en videojuegos en la actualidad ya que no requiere ningún hardware especial.

Individual o compartida:

Únicamente puede interaccionar una persona por mundo virtual. Ejemplo de este tipo de RV serían los videojuegos no multijugador, Cines 3d, etc...

Humanos-maquina:

Es posible que más de una persona compartan el mismo mundo virtual e interactúen al mismo tiempo con el mismo y/o entre ellos.

Avatares:

Con los avatares los usuarios pueden unirse al entorno virtual de dos formas, una es eligiendo un avatar prediseñado con gráficos de ordenador y la otra es realizando una grabación de sí mismo a través de un dispositivo de vídeo. La realidad virtual a través de avatares mejora la interacción entre la persona en sí y el ordenador, ya que esta forma es más efectiva que el sistema convencional de ordenador de escritorio.

Proyección de imágenes reales:

Se basa en el diseño gráfico de entornos reales en aplicaciones como, por ejemplo, la navegación autónoma, construcción del diseño gráfico de simuladores de vuelo etc.

Este tipo de RV está ganando popularidad sobre todo en los gráficos de ordenador, ya que mejora el realismo utilizando imágenes foto-realistas. A la hora de generar modelos realistas, es esencial registrar con exactitud datos en tres dimensiones. Normalmente se utilizan cámaras para diseñar pequeños objetos a corta distancia.

Los usos actuales más frecuentes de la realidad virtual son los siguientes:

- Entrenamiento de pilotos, astronautas, soldados, etc...
- Medicina educativa, por ejemplo, para la simulación de operaciones
- CAD (diseños asistido por ordenador). Permite ver e interactuar con objetos antes e ser creados, con el evidente ahorro de costes.
- Creación de entornos virtuales (museos, tiendas, aulas, etc.).
- Tratamiento de fobias. (aerofobia, aracnofobia, claustrofobia, etc.).
- Juegos, cine 3D y todo tipo de entretenimiento.
- Educación y formación ya que se permite un aprendizaje más dinámico y visual.
- Rehabilitación y terapia de pacientes con algún tipo de trauma o problema.

2.1.4. Elementos usados en la realidad virtual

Cascos o gafas:

Son también llamados HMD (head mounted display), su construcción se basa principalmente en un par de lentes o displays, uno para cada ojo que van a una distancia y un ángulo determinado para obtener una percepción completa en 3D.

Otro aspecto importante de los HMDs es el campo de visión. Los seres humanos tenemos un campo de visión horizontal de unos 180° a 220°, en ocasiones más, aunque varía de persona a persona. Esta visión es monocular, es decir sólo es percibida por uno de los dos ojos. El campo de visión percibido por ambos ojos (y que por tanto se ve en 3D) es de unos 114°. Por este motivo, un campo de visión de 360° sería innecesario. La mayoría de HMDs funcionan con un campo de visión de entre 110° y 120°.

Por último, hay que destacar dos puntos: los fotogramas por segundo (FPS) y la latencia. Es imprescindible un mínimo de 60 FPS para que el ojo perciba las imágenes de manera natural y no provoque mareo. Todos los HMDs importantes superan este mínimo. El otro punto es la latencia, que ha de ser inferior a 20 ms para que el usuario no experimente una sensación de retraso entre lo que hace y lo que ve.

Actualmente podemos encontrar algunos HMDs como el Oculus rift, play station VR, Microsoft Holo Lents, HTC Vive, entre otros.

Guantes:

Su función es simular el sentido del tacto en las manos, provocando sensaciones reales de texturas cuando se interactúa con objetos en el ambiente virtual, se puede encontrar en el mercado los Gloveone y PowerClaw.

Periféricos:

Son accesorios que sirven para sumergir al usuario en un ambiente virtual, simulando acciones en las que se interactúa con el medio simulado. Unos ejemplos de estos pueden ser *virtuix omni*, *leap motion*, *Stem system*, entre otros. [4]

2.1.5. La realidad virtual y la rehabilitación

En la última década los avances y desarrollos tecnológicos aportan de gran medida a todo tipo de industria, desde lo industrial hasta la medicina, educación y entretenimiento, es por esto que en los últimos años se ha optado y aceptado la inclusión de la realidad virtual a la rehabilitación, ya sea mental tratando fobias o experiencias postraumáticas y terapéuticas,

sometiendo a pacientes a simulaciones donde sus respuestas a la terapia se ven altamente estimuladas y un progreso más rápido; se ven pacientes que al ser sometidos a ambientes totalmente diferentes a los que son expuestos todos los días como por ejemplo las clínicas o los centros de rehabilitación, experimentan una sensación fructífera ya que pueden ser llevados a lugares naturales, playas, bosques, calles y cualquier escenario que se pueda simular, siempre y cuando sea seguro para el paciente.

Los pacientes son sometidos a hacer terapia no solamente en un mundo virtual sino con actividades diferentes que hacen que la mente se distraiga y salga de la rutina, como por ejemplo en la universidad de Carlos III en Madrid se hace que el paciente con terapia de rehabilitación de hombro se sumerja en la realidad virtual siendo un portero de futbol el cual tiene que atrapar balones que le disparan haciendo los movimientos orientados a la mejora de su miembro. [5]

2.2. ANTECEDENTES / ESTADO DEL ARTE

Las plataformas de movimiento de realidad virtual son dispositivos que han cambiado la manera de sumergirse en simulaciones y videojuegos, dando al usuario una experiencia mucho más realista al momento de interactuar en un entorno virtual.

A continuación, se mostrarán algunas plataformas ya existentes en el mercado que tienen la capacidad de simular acciones como caminar, correr, sentarse, saltar e ir hacia atrás de forma natural en los juegos de realidad virtual y simulaciones.

Las siguientes tienen estas características:

- poseen plataforma cóncava que permite una marcha suave y natural que dan un sentido de inmersión cuando el movimiento se ejecuta.
- tienen un anillo de soporte robusto y un arnés sin ataduras que proporcionan la máxima seguridad y versatilidad de 360 grados.

VUE VR Treadmill



Ilustración 1: VUE VR TREADMILL

[Fuente 6]

Personas entre 145 cm - 195 cm y hasta 130 kg.

Dimensiones: 123 cm ancho, 220 cm de largo, 245 cm de alto. [6]

VIRTUIX OMNI



Ilustración 2: VIRTUIX OMNI

[Fuente 7]

Personas entre 145 cm – 195 cm y hasta 130 kg.

Dimensiones: 140 cm de ancho, 139 cm de largo, 89 cm de alto. [7]

KATVR



Ilustración 3: KATVR

[Fuente 8]

Personas entre 150 cm – 190 cm y hasta 100 kg.

Dimensiones: área 2.16 m² y 2.8 m alto. [8]

INFINA DECK



Ilustración 4: INFINA DECK

[Fuente 9]

Dimensiones: área 2.13 m² y 2.6 m de alto. [9]

El segundo tema a desarrollar son los estudios presentes existentes y aprobados que han hecho de la práctica de la realidad virtual una herramienta útil para su integración en el campo de la medicina con lo que respecta a terapias y actividades de rehabilitación de diferentes causas.

Terapia de realidad virtual para tratar la depresión:

Un estudio llevado a cabo por la University College London (UCL) y el Institución Catalana de Investigación y Estudios Avanzados (ICREA) sugiere que la terapia de realidad virtual (TRV) puede llegar a ser una forma de tratamiento para la depresión en el futuro. La investigación se llevó a cabo con 15 sujetos que sufrían un trastorno depresivo. La edad de los participantes oscilaba entre los 23 y los 61 años, y los resultados fueron positivos en el 60% de los casos. El estudio se ha publicado en el British Journal of Psychiatry abierto y fue financiado por el Consejo de Investigación Médica.



Ilustración 5: Participante en el papel de un adulto consolando a un niño que llora (crédito: UCL)

[Fuente 10]

Los pacientes en el estudio llevaban un casco de realidad virtual para verse ellos mismos desde con la perspectiva de un tamaño natural en un cuerpo virtual “avatar”.

los participantes fueron entrenados para expresar compasión hacia un niño virtual en dificultades; mientras hablaban al niño, este parecía detener gradualmente el llanto y responder positivamente a la compasión. Después de unos minutos los pacientes fueron incorporados como el niño virtual y vieron el avatar adulto produciendo sus propias palabras y gestos de compasión para ellos. Esto se repitió tres veces a intervalos semanales, y los pacientes fueron seguidos hasta un mes después. [10]

Realidad virtual para tratamiento de fobias:

Desde hace años el centro de psicología clínica de Donostia - San Sebastián, España, ofrece a sus pacientes tratamientos innovadores, siempre con base científica demostrada, que van apareciendo gracias a las nuevas tecnologías. Actualmente disponen de un tratamiento de última generación para afrontar las fobias sin tener que desplazarse a lugares reales. Este tratamiento utiliza tecnología 3D de Realidad Virtual inmersiva que está desarrollada por Psious, siendo centro pionero en su región en este tipo de desarrollo.

En el Centro de Psicología Clínica se utiliza la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada en el tratamiento de:

- Aerofobia, el miedo a volar.
- Belonefobia, el miedo a las agujas.
- Amaxofobia, el miedo a conducir.
- Glosofobia, el miedo a hablar en público.
- Entomofobia, el miedo a los insectos.
- Acrofobia, miedo a las alturas.
- Claustrofobia, miedo a los espacios cerrados,
- Agorafobia, miedo a los espacios abiertos

También se usa de forma combinada y complementaria a la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada, el sistema de Biofeedback, para obtener la valoración real de la ansiedad a nivel fisiológico y de lo que supone para el paciente la exposición a sus fobias. Esta tecnología permite que terapeuta y paciente obtengan información en tiempo real de sus reacciones fisiológicas y emocionales, a través de señales auditivas y lumínicas, proporcionándole al paciente la posibilidad de aumentar su autocontrol. El resultado es facilitar al terapeuta la intervención, además de acortar los procesos terapéuticos. [11]

Tratamiento de estrés postraumático mediante entornos de realidad virtual:

El Trastorno de Estrés Postraumático (TEPT) es un trastorno de ansiedad que se produce en personas que han sufrido u observado un acontecimiento que ha implicado un impacto físico o psicológico crítico. Esta experiencia origina un aprendizaje emocional que tiene como fin proteger al individuo frente a situaciones similares, pero que puede dar lugar a un estado de hipervigilancia que mantiene la situación de estrés como si se estuviera repitiendo o fuera a repetirse dicho acontecimiento, esto provoca una serie de trastornos clínicos que merman la calidad de vida del paciente.

La realidad virtual es un conjunto de herramientas tecnológicas que permite diseñar y reproducir de manera artificial experiencias que son percibidas por el usuario como reales a través de diferentes sistemas de inmersión. Entre otras aplicaciones, la realidad virtual se

puede utilizar para desarrollar terapias que mejoren la salud de personas con distintos tipos de desórdenes psicológicos.

El Instituto Interuniversitario de Investigación en Bioingeniería y Tecnología Orientada al Ser Humano (I3BH) posee una larga trayectoria de investigación en el diseño de entornos y tecnologías de realidad virtual y aumentada, y en su aplicación a muy diversos ámbitos de la experiencia humana, entre otros, a la psicología clínica.

A partir de este conocimiento, el I3BH ha desarrollado para la empresa INDRA una solución para el tratamiento del TEPT de aplicación para personas que han sufrido acontecimientos violentos, como las víctimas de violencia de género. El sistema permite diseñar y modificar el escenario para reflejar los cambios en el estado anímico de los pacientes, o el paso del tiempo, y utiliza objetos y símbolos que representan el trauma y permite elaborar un libro de la vida que el propio paciente va escribiendo con el fin de facilitar el proceso de cambio. [12]

Walk again Project:

Un grupo de investigadores de la Duke University (California - E.E.U.U) liderados por el neurocientífico Miguel Nicolelis está consiguiendo logros que no se esperaban obtener con ocho pacientes parapléjicos a los que están tratando usando una mezcla de realidad virtual y un exoesqueleto robótico que el propio paciente maneja mediante su actividad neuronal en el llamado Walk Again Project, que está consiguiendo que estos pacientes obtengan de nuevo parte de la sensación perdida y el control de los músculos de sus piernas.

Tras siete meses, algunos de los pacientes observaron cambios en su capacidad de movilidad. Y al año, cuatro de ellos habían tenido tanto éxito con el experimento que su condición podía cambiarse de parálisis completa a parálisis parcial. De hecho, para Miguel Nicolelis fue un éxito inesperado, ya que "no podíamos haber predicho este resultado clínico tan sorpresivo cuando empezamos el proyecto". Y como ejemplo tenemos a una mujer de 32 años que llevaba 13 paralizada tras un accidente de coche. Incapaz de ponerse en pie, al final del proyecto ha sido capaz de mover sus piernas de forma voluntaria y caminar ayudada por un andador y un terapeuta.

Tras dos años recibiendo terapia, los pacientes del proyecto Walk Again seguirán en tratamiento mientras los investigadores documentan su progreso. El proyecto se abrirá para nuevos pacientes con lesiones más recientes en el tiempo, para comprobar si el tratamiento es capaz de actuar con más celeridad en enfermos parapléjicos que tienen lesiones más recientes. [13]

Un framework para la rehabilitación física en miembros superiores con realidad virtual:

La propuesta se basa en una arquitectura de hardware y software para la rehabilitación física de miembros superiores empleando realidad virtual que satisfaga unas necesidades como, fácil de usar por el personal médico, intuitivo, natural, factible y seguro para el paciente, además de bajo costo y fácil instalación en lugares hospitalarios u hogares. [14]

Impacto del entrenamiento del balance a través de realidad virtual en una población de adultos mayores:

La tercera edad tanto en Chile como en el mundo es una población creciente, que se caracteriza por que sus habilidades motoras sufren un deterioro progresivo y natural, destaca la pérdida del balance como una más afectadas; facilitando las caídas y por consiguiente lesiones traumáticas graves, como es la fractura de cadera. Este trabajo persigue reeducar el balance y control postural en los adultos mayores a través del uso de realidad virtual. El estudio se llevó a cabo en el Laboratorio de Biomecánica de la Universidad de Talca. Participaron 20 sujetos adultos mayores (edad promedio 69 años). Se utilizó un modelo de intervención de 8 semanas con una frecuencia de 3 veces a la semana, 20 minutos cada sesión. Se evaluó el balance y control postural a partir de una plataforma posturográfica estática (Estándar y Tándem) antes de comenzar la intervención, a las 3, 6 y 8 semanas de tratamiento. [15]

Aplicación de realidad virtual en la rehabilitación cognitiva:

Las aplicaciones de realidad virtual son cada día más utilizadas para mejorar y ampliar el proceso de la rehabilitación cognitiva. Este proceso busca que la gente con daño cerebral trabaje para remediar o aliviar los déficits cognitivos que surgen tras una afección neurológica.

Como principales afecciones neurológicas se tiene los accidentes cerebro vascular y la enfermedad de Alzheimer, que son la principal causa de discapacidad en adultos y la tercera causa de muerte en países desarrollados. Para una buena rehabilitación de los pacientes es necesaria una terapia intensiva con el fin de aprender de nuevo a realizar las tareas de la vida cotidiana. Esta comienza con un periodo inicial en el que se realizan ejercicios de rehabilitación mediante juegos de mesa, el siguiente paso en el proceso de rehabilitación consiste en acompañar al paciente en el hogar y realizar tareas de la vida diaria.

El objetivo del trabajo es el de sustituir un juego de mesa utilizado el mismo tipo de juego simulado en un entorno de realidad virtual. Algo interesante de estas aplicaciones de realidad virtual es que se pueden extender a casos de niños que sufren trastornos de atención o problemas de aprendizaje. [16]

Experiencia clínica de la aplicación del sistema de realidad toyra en la neuro-rehabilitación de pacientes con lesión medular:

Se trata de un estudio prospectivo, controlado, en el que se incluyeron 10 pacientes con tetraplejia por LM cervical. El sistema TOyRA consiste en un dispositivo que captura el movimiento basado en sensores inerciales que permite la reproducción de los movimientos del paciente por parte de un avatar en un monitor. La intervención consistió en la aplicación de sesiones de actividades de la vida diaria a los 5 pacientes del grupo intervención como complemento a la terapia tradicional frente a un grupo control de otros 5 pacientes en los que solo se realizó terapia convencional.

Se encontraron mejorías en el grupo tratado con TOyRA. Se sugieren mejorías tanto en los parámetros cinemáticos de flexión de hombro y pronación de antebrazo como en otras escalas funcionales. [17]

Descripción del efecto de los ejercicios de la extremidad superior ipsilateral realizados con realidad virtual en mujeres sometidas a mastectomía:

El trabajo se centra en escribir los efectos de la rehabilitación física temprana sobre el dolor y la funcionalidad de la extremidad superior en pacientes mastectomizadas, mediante la realización de ejercicios con realidad virtual.

En conclusión, las pacientes mastectomizadas, al someterse a rehabilitación física temprana con realidad virtual, ven disminuido el dolor y experimentan un incremento en la funcionalidad de la extremidad superior ipsilateral a la mastectomía. [18]

Biotrak: análisis de efectividad y satisfacción de un sistema de realidad virtual para la rehabilitación del equilibrio en pacientes con daño cerebral:

El estudio se centra en la efectividad y satisfacción de un sistema de realidad virtual (BioTrak) para la rehabilitación del equilibrio en pacientes con daño cerebral adquirido (DCA). Los resultados confirman la validez de los sistemas de realidad virtual para la rehabilitación del equilibrio en esta población. Las características de usabilidad del sistema BioTrak permite la generalización del sistema a un alto número de pacientes y entornos. [19]

3. INGENIERIA DEL PROYECTO

En este capítulo se describen los procesos llevados a cabo para la realización del proyecto como lo son los parámetros de consideración para el diseño, el diseño a detalle mecánico, electrónico y virtual y la integración de los anteriormente mencionados.

3.1. Parámetros y consideraciones en el diseño

Para el diseño del proyecto se parte de unas consideraciones esenciales generales a tener en cuenta:

La plataforma omnidireccional debe ser apta para el uso de la mayoría de la población del país inicialmente con complicaciones motoras en sus extremidades inferiores, considerando edades, alturas y diferentes tipos de complejidades físicas.

La plataforma omnidireccional debe ofrecer comodidad y simple uso al paciente.

La plataforma omnidireccional debe soportar el peso en reposo y la fuerza en movimiento que un paciente pueda llegar a tener, brindándole seguridad y confianza al momento del uso.

La plataforma debe tener un diseño agradable a la vista, armonía en sus medidas y que ocupe el menor espacio posible.

Se debe garantizar el buen funcionamiento de la integración de la plataforma con los circuitos electrónicos.

El mantenimiento o reemplazo del sistema electrónico usado debe ser simple y de fácil acceso.

Los circuitos eléctricos no deben ser un obstáculo para el movimiento libre del usuario.

El entorno virtual desarrollado debe ofrecer percepciones realistas en cuanto a tamaños sonidos y distancias.

El entorno virtual debe ser desarrollado en un software compatible con los diferentes accesorios que se quieren involucrar en la plataforma y con los circuitos eléctricos diseñados.

3.2. Resultados esperados

Conocimiento detallado de las plataformas omnidireccionales y de cómo estas junto con la realidad virtual hacen un gran aporte al ámbito de la salud terapéutica.

Satisfacer actuales necesidades terapéuticas como la interacción con diferentes entornos para una percepción diferente de la realidad y motivar más al paciente.

Realizar un diseño sólido, legítimo, útil y apropiado para una posible implementación en un futuro.

Un correcto desarrollo en la gestión y evaluación general del proyecto a través del cumplimiento de las fechas establecidas de trabajo.

3.3. DISEÑO DEL PROYECTO

El diseño del proyecto consta de tres partes, el diseño del ambiente virtual, el diseño mecánico y el diseño electrónico.

3.3.1. Diseño ambiente virtual

Para el diseño del ambiente virtual se elige como herramienta de software a UNITY 3D, un gran motor de videojuegos multiplataforma creado por Unity Technologies enfocado a diseño y elaboración de videojuegos, plataformas y en este caso entornos virtuales realistas.

Unity ofrece compatibilidad en ordenadores con sistemas operativos Windows, Linux y OS X, móviles con Android, IOS, Windows phone y tizen, consolas como play station, Xbox y Nintendo y dispositivos de realidad virtual como oculus rift, google cardboard, HTC vive entre otras más. El motor gráfico utiliza OpenGL, Direct3D y OpenGl ES. Es capaz de importar objetos en 3D hechos en blender, 3dsMax, maya, SolidWorks, Photoshop, Fireworks entre otros. [7]

Se elige el ambiente virtual en base a las encuestas realizadas donde la mayoría de la población entrevistada prefirió un lugar tranquilo, natural y con poco ruido como lo es un parque para caminar y desarrollar su sesión de terapia de rehabilitación. A este punto el paciente será sometido a una inmersión al entorno virtual donde podrá contar con estímulos visuales (ver árboles, flores, naturaleza etc.), auditivos (escuchar sonido de animales, plantas, viento etc.) y sensaciones físicas y emocionales como lo es el hecho de poder desplazarse por el lugar que deseen.

El diseño del parque consta de plantas, esculturas, césped, flores, arboles, sillas, rocas, caminos y sonidos de la naturaleza como el de las plantas y el viento (ver Ilustración 6). El terreno tiene un tamaño de 200 x 200 pixeles dentro del software el cual representa un tamaño de 100m² dentro de la simulación (ver Ilustración 7).

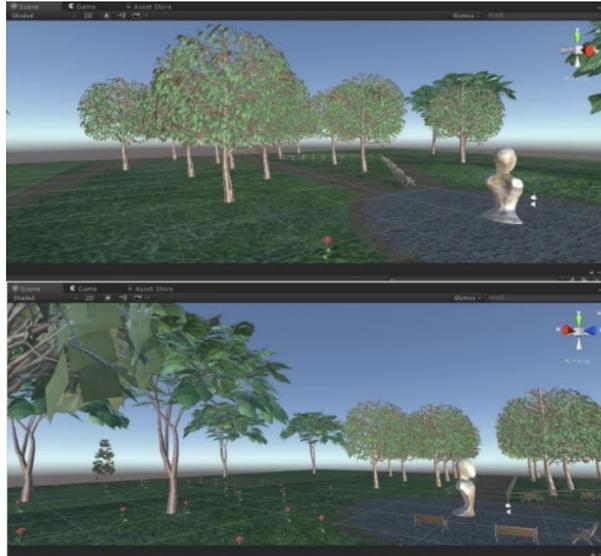


Ilustración 6: Ambiente virtual UNITY (tomada de Unity 3D – desarrollo ambiente virtual)

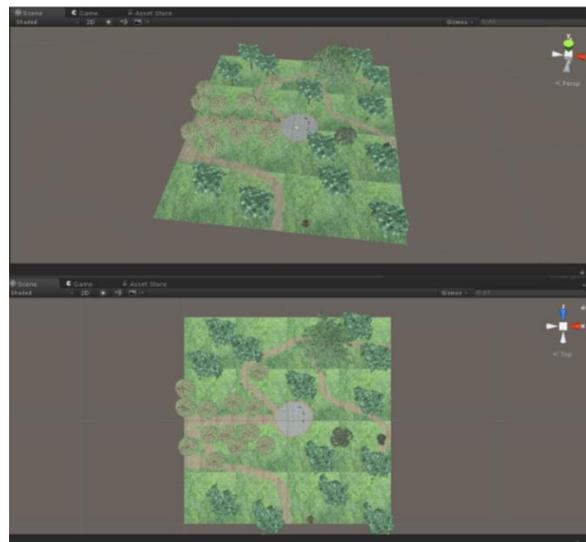


Ilustración 7: Ambiente virtual UNITY (Imagen tomada de Unity 3D – desarrollo ambiente virtual)

Gracias a la directa compatibilidad que ofrece el oculus rift con Unity, se elige como dispositivo háptico para captar las imágenes del entorno virtual y llevarlas de manera realista al cerebro del usuario para hacer de la experiencia lo más inmersible posible.

Unity ofrece muchas más opciones al momento de realizar entornos virtuales; para este proyecto inicialmente se opta por hacer un parque ya que la mayoría de pacientes entrevistados preferiría estar en un entorno como este para realizar su terapia, pero Unity ofrece muchas más opciones como lo son diferentes tipos de playas, desiertos, cualquier lugar de la ciudad, un centro comercial, una casa, una oficina, algún lugar temático o recreativo etc.

3.3.2. Diseño mecánico

Base plataforma omnidireccional:

En base a un estudio realizado de diferentes personas grabadas mientras caminaban se establecieron las medidas que llevará la base de la plataforma omnidireccional. (ver tabla 1 pág. 53)

Para simular el movimiento de caminar y que este sea lo más real posible se establece un tipo de plataforma con hundimiento en donde el centro es totalmente plano y a su alrededor una inclinación de 15 grados con 40 cm de largo que obedece al rango de estudio para acoger la mayor cantidad de personas posible.

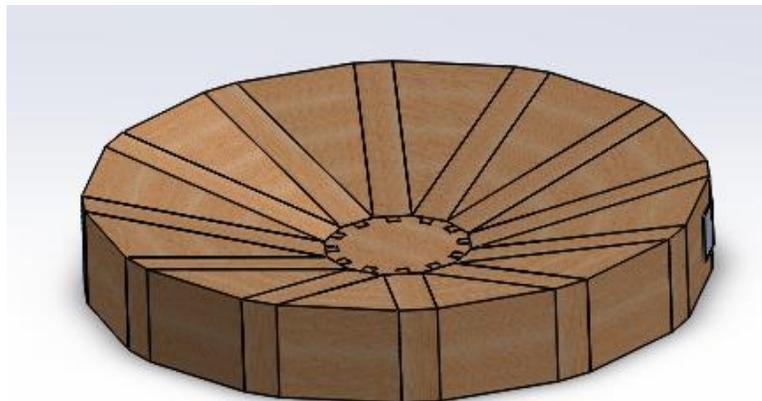


Ilustración 8: Diseño en CAD (SolidWorks) base plataforma omnidireccional.

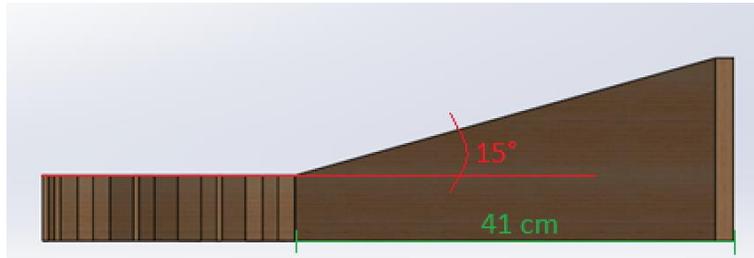


Ilustración 9: Vista frontal de la base de la plataforma omnidireccional

Características técnicas:

Material: Madera cedro

Dimensiones: 1.3 m²

Peso máximo soportado: 300 Kg con un factor de seguridad de 1.5

Columnas soportes:

Se diseña un sistema de tres columnas de soporte distribuidas uniformemente para que exista una vibración o tambaleo casi nulo al momento que el paciente se apoye sobre estas al momento de realizar acciones como caminar, saltar, agacharse o simplemente sostenerse; un buen agarre y soporte garantizan mayor seguridad y 100% de confianza al paciente al momento de su uso teniendo como consecuencia una agradable experiencia al uso individual y sin ayuda externa. Tienen la capacidad de graduar diferentes alturas por medio de una tapa lateral con encajes. Ver Ilustración 10.

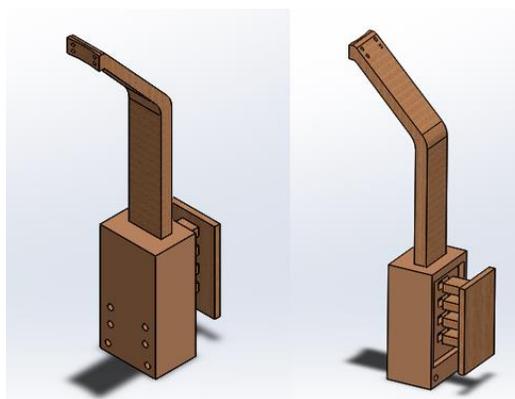


Ilustración 10: Diseño en CAD (SolidWorks) columna soporte

Características técnicas:

Material: Madera cedro

Dimensiones: 1m x 0.3m

Esfuerzo máximo de soporte: 1500N con un factor de seguridad de 1.5

Cinturón de soporte:

El cinturón de soporte va a ser la parte de la plataforma que va asegurada al usuario, en él va sujeto un sistema de arneses para el perfecto agarre en la zona media del cuerpo del paciente que involucra el tronco, cadera y muslos. Lleva a los lados un par de barras que serán las encargadas de soportar el peso de la persona y brindarle seguridad en cada uno de los movimientos. Este cinturón junto con las columnas de soporte hacen equipo para que el usuario tenga el mejor soporte posible, no se llegue a caer en algún momento, y necesite de una ayuda externa nula que conlleva a una gran independencia y control de su propio cuerpo. Ver Ilustración 11.

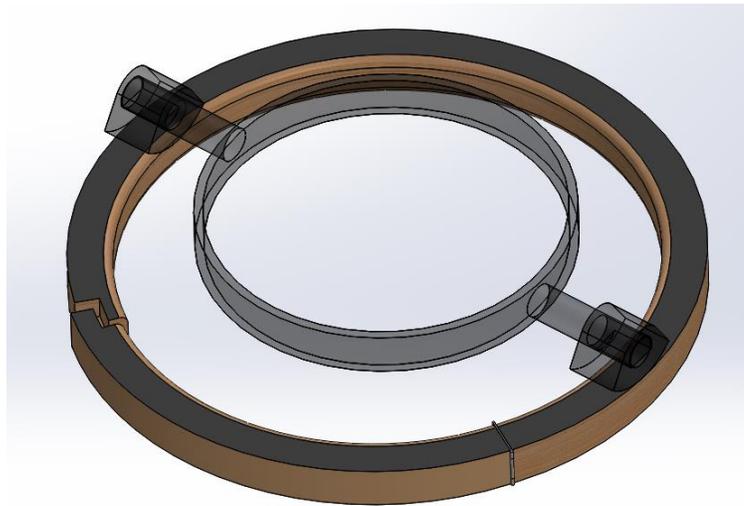


Ilustración 11: CINTURON SOPORTE

Características técnicas:

Material: acrílico con tolerancia a altos impactos

Dimensiones: diámetro ajustable 0.25 a 0.5 metros

Esfuerzo máximo de soporte: 1500N con un factor de seguridad de 1.5

En la Ilustración 12 se ve el diseño de la plataforma omnidireccional.

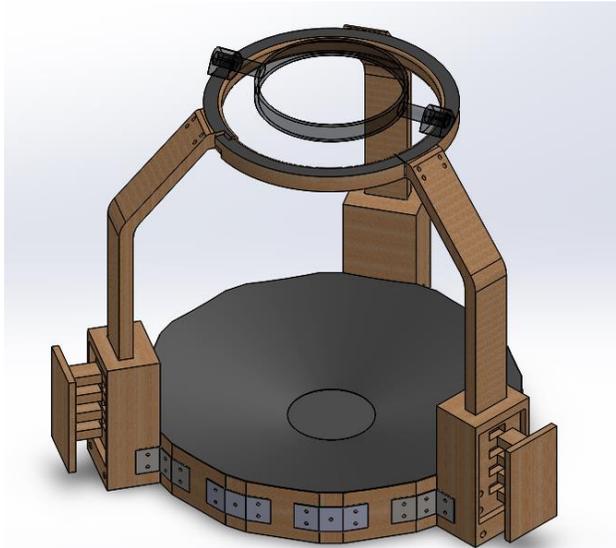


Ilustración 12: Diseño plataforma omnidireccional

Características técnicas:

Material: madera en cedro y acrílico con tolerancia a altos impactos

Peso: 82.97 Kg

Dimensiones: 1.066 m²

3.3.3. Diseño electrónico

Para simular las acciones como caminar, correr o saltar, es necesaria la implementación de un sistema electrónico capaz de captar señales al momento que el usuario está en movimiento. Dicho sistema está distribuido como se ve en la

Ilustración 13.

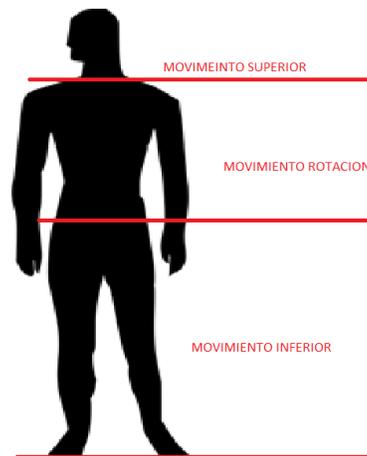


Ilustración 13: definición sistema movimiento corporal para el análisis del diseño electrónico de la plataforma omnidireccional

Movimiento superior:

Comprende el movimiento que hará la cabeza, hacia donde este mirando el usuario y la dirección de su mirada. Este va a ser captado por las gafas de realidad virtual (OCULUS) que van comunicadas alámbricamente con el ordenador para su integración con el ambiente virtual hecho en Unity.

Movimiento rotación e inferior:

Comprende la zona media del cuerpo como lo es el tronco y la cintura del usuario, esta parte indica la dirección en la cual la persona va a estar caminando, hacia donde se va a estar moviendo y la rotación que hace el cuerpo con respecto al entorno donde se encuentre. Por otra parte, comprende las extremidades inferiores del cuerpo como lo son las piernas y pies, son las encargadas de indicar si la persona está caminando, corriendo o saltando.

Para captar el ángulo en el cual la persona va a girar con respecto al entorno y después caminar hacia la dirección indicada se usará un giroscopio ubicado en el cinturón de soporte (brinda información de cambio de velocidades angulares sobre el eje la cual la persona está girando) y un acelerómetro para cada pie los cuales nos brindan información de cambio de aceleración en los ejes "X" "Y" y "Z", recogida y procesada por un PIC que por medio de comunicación serial transmite los datos hacia el ordenador y el software (Unity) para que el usuario interactúe y se sumerja en el entorno virtual como se ve en la Ilustración 14 e Ilustración 15.

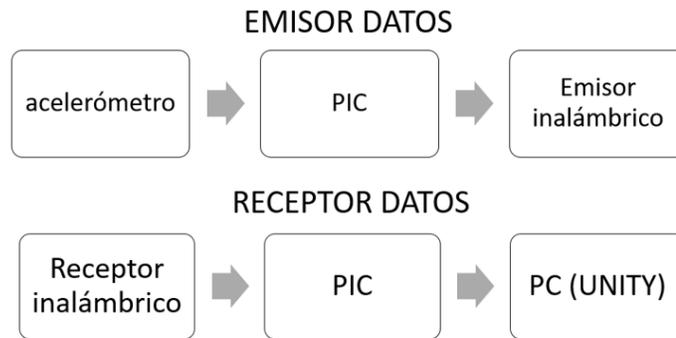


Ilustración 14: Diagrama de envío y recepción de datos.

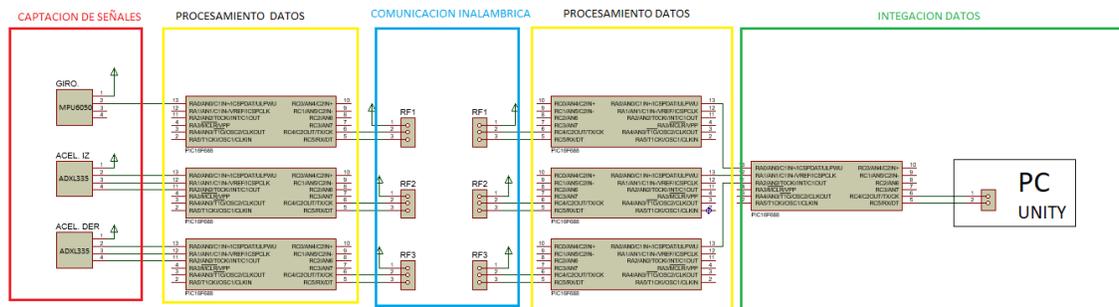


Ilustración 15: diagrama circuito eléctrico conexiones del sistema de adquisición procesamiento y envío de datos

Giroscopio MPU6050:

Proporciona un voltaje a la salida con respecto a cambiantes velocidades angulares a las que es sometido en 3 ejes diferentes, "X" "Y" y "Z". funciona de 3 a 5 voltios con una sensibilidad de ± 250 , ± 500 , ± 1000 y ± 2000 grados por segundo. Para este caso usaremos la primera (± 250).

TABLA 2. CARACTERIZACIÓN/CONVERSIÓN GIROSCOPIO		
Sensibilidad	Voltaje (voltios)	Angulo requerido (grados)
250	3	360
190	2,62	270
125	2,25	180
60	1,87	90
0	1,5	0
-60	1,12	-90
-125	0,75	-180
-190	0,37	-270
-250	0	-360

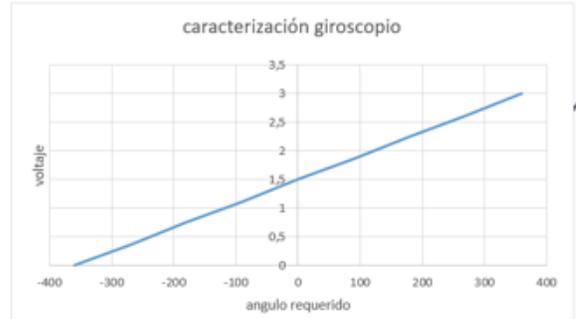
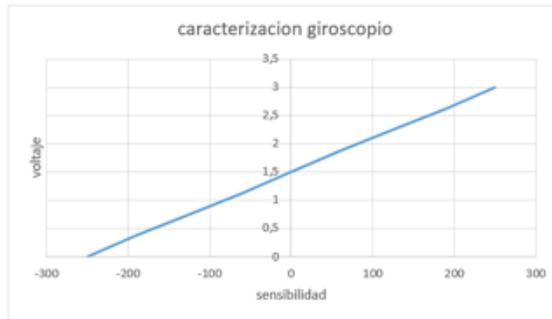


Ilustración 16: caracterización giroscopio

Se realiza la caracterización del giroscopio como se ve en la tabla 2 e Ilustración 16, se halla la ecuación característica para la conversión de voltaje a ángulo

$$Y = 0.0042x + 1.4978$$

Ecuación 1

Que será tomada en cuenta dentro del código del PIC para enviar el dato correcto al PC (Unity).

Acelerómetro ADXL335 de 3 ejes:

Acelerómetro análogo, entrega un voltaje proporcional a su salida dependiendo a las aceleraciones que se vea sometido en cada uno de sus ejes capaces de soportar fuerzas

de hasta 3G. Es de baja potencia, quiere decir que entrega corriente en el orden de los micro o miliamperios. Opera a 3.3 v y sus salidas análogas radiométricas son:

- 0G: 1.65 voltios (estado reposo).
- 3G: 0 voltios (inclinación negativa).
- +3G: 3.3 voltios (inclinación positiva).

Para caracterizar los acelerómetros fue necesario recolectar datos de 20 personas de diferentes alturas caminando y corriendo con un acelerómetro en cada uno de sus pies, en la Ilustración 17 se ve la gráfica del comportamiento de los acelerómetros con respecto al tiempo.

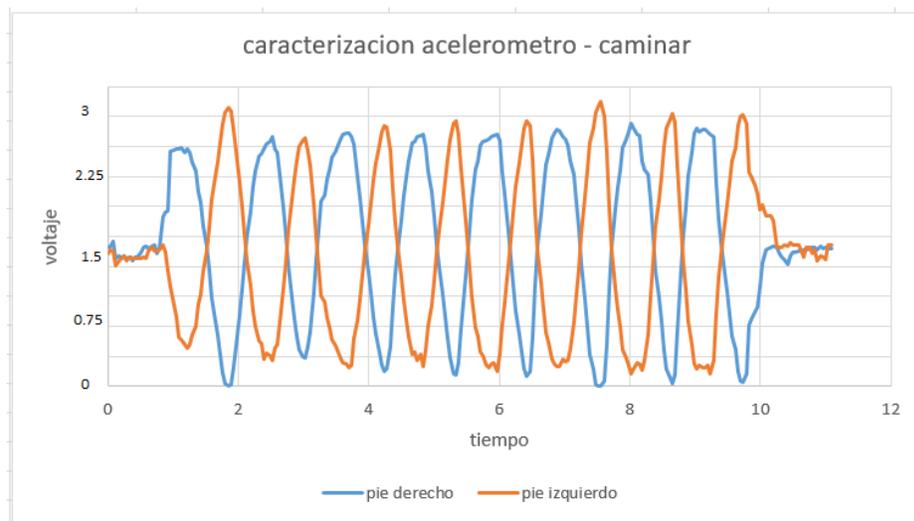


Ilustración 17: Datos acelerómetros pie derecho e izquierdo con respecto al tiempo.

A partir de la gráfica se puede observar que una persona promedio da 16 pasos en 10 segundos, quiere decir que una persona promedio da 1 paso en 0.62 segundos.

El comportamiento del acelerómetro de un pie ya sea el izquierdo o el derecho es proporcional y coincidente con el acelerómetro que se encuentra en el pie contrario, llegando máximo a 3,3 voltios y un mínimo de 2 voltios para tener en cuenta que la persona dio el paso. Estos datos son tenidos en cuenta al momento de programar el microcontrolador ya que a partir de estos la persona podrá inmergiarse en el entorno virtual de una manera realista.

En la Ilustración 18 se muestra el diagrama de conexión del PIC16F688 con el acelerómetro ADXL335.

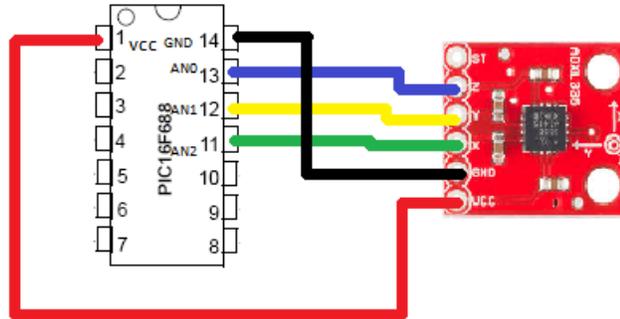


Ilustración 18: DIAGRAMA CONEXIÓN PIC - ACELEROMETRO ADXL335.

PIC16f688:

Como se muestra en la Ilustración 19, el microcontrolador es de 14 pines de gama media con características estandarizadas con un voltaje de operación de 2 a 5.5 voltios, memoria de datos EEPROM, 8 canales de conversión análoga digital, periféricos USART con protocolos de comunicación RS232 y 485. [20]

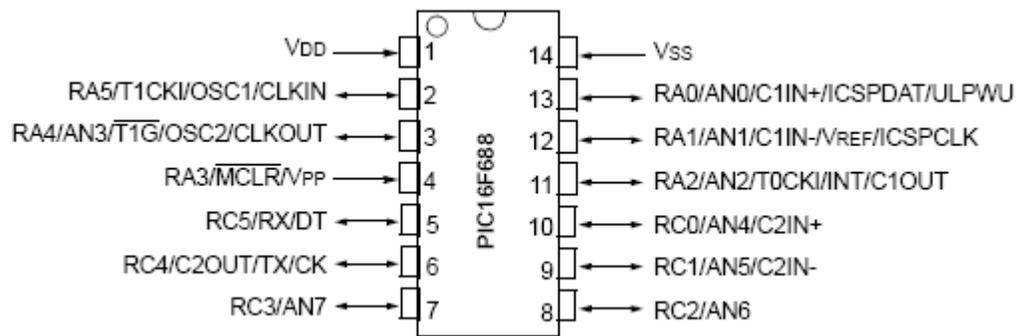


Ilustración 19: PIC16F688

[Fuente 20]

El PIC recibe los datos del acelerómetro, realiza una lectura análoga para luego enviarlos por puerto serie al módulo emisor RF. De igual manera, se reciben los datos por el segundo PIC para ser procesados y comunicados con el ordenador y el ambiente virtual.

El conversor análogo digital del PIC cuenta con un circuito que carga un condensador interno al PIC con la tensión analógica que le está llegando a la entrada análoga, luego la tensión almacenada en el condensador lo convierte en un número binario de 10 bits que representara la tensión almacenada en el condensador, este número binario se guarda en unos registros ADRESH (bits más significativos) y ADRESL (bits menos significativos) de 8 bits cada uno, pero se comportan como un registro de 16 bits.

El CAD (conversor analógico digital del PIC) necesita una tensión de referencia para poder trabajar adecuadamente, esta tensión de referencia (V_{ref}) normalmente será la tensión a la cual trabaja el PIC. La relación que hay entre la tensión de referencia V_{ref} y el máximo número binario de 8 bits $2^8-1=255=11111111$ o de 10 bits $2^{10}-1=1023=1111111111$ que representará la tensión analógica se le conoce como resolución; para el caso del PIC16F688 se tendrá que la resolución del conversor analógico digital será:

$$Resolución = \frac{V_{ref}}{2^{10}-1} = \frac{V_{ref}}{1023} \quad \text{Ecuación 2.}$$

Si de la ecuación 2 se toma como $V_{ref}=5V$ que es la tensión adecuada a la que trabaja el PIC16F688 se tendrá que la resolución de su convertidor analógico digital será:

$$Resolución = \frac{5v}{2^{10}-1} = \frac{5v}{1023} = 4.9mv \quad \text{Ecuación 3.}$$

Para la utilización del convertidor analógico digital PIC del PIC16F688 se tienen 2 registros para su control, los que son el ADCON0 y el ADCON1.

Para el almacenamiento de la tensión analógica en el condensador es necesario que pase un tiempo de adquisición el cual es de aproximadamente de 20us según la hoja de datos del PIC16F688, por lo que hay que esperar un tiempo mientras se carga el condensador, una vez almacenada la tensión en el condensador, a la conversión del valor analógico a su representación digital también le toma un tiempo de conversión, el cual depende de la velocidad de la fuente de reloj que se selecciona para la conversión, esta selección se hace por programa mediante una tabla que viene en la hoja de datos que para este PIC será mayor a 1.6µs.

En la Ilustración 20 se tiene el registro ADCON0 para el control del conversor analógico digital PIC, se pueden ver los nombres que le corresponden a cada uno de sus bits. [21]

ADCON0 REGISTER (ADDRESS 1Fh)

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0
ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE	—	ADON
bit 7							bit 0

Ilustración 20: REGISTRO ADCON0

[Fuente 21]

Los bits 7 y 6 de este registro junto con el bit 6 del registro ADCON1 se elige el reloj, esto es entre cuanto se fraccionará la frecuencia del oscilador utilizado para que se tenga un tiempo de conversión adecuado, además de estas opciones el conversor analógico digital pic cuenta con su propio oscilador formado por un circuito RC que también puede ser elegido mediante estos bits.

En la Ilustración 21 se tiene el registro ADCON1 para el control del conversor analógico digital PIC, se pueden ver los nombres que le corresponden a cada uno de sus bits.

ADCON1 REGISTER (ADDRESS 9Fh)

R/W-0	R/W-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADFM	ADCS2	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit 7							bit 0

Ilustración 21: REGISTRO ADCON1

[Fuente 21]

El bit 7 representa los registros ADRESH y ADRESL donde se guarda el número binario que representa el valor de la señal analógica convertida; si son los 10 bits menos significativos se dice que la justificación es a la derecha y se programa esta opción poniendo este bit a 1, pero si son los 10 bits más significativos se dice que la justificación es a la izquierda y se programa esta opción poniendo este bit a 0; los 6 bits que no interesan siempre estarán a 0 en forma automática.

Los pasos a tener en cuenta para la lectura análoga desde el PIC son los siguientes:

1. Configurar que pines serán utilizados como entradas análogas. Si se quiere una tensión de referencia diferente a la tensión de trabajo del PIC (5v) se hace con los bits 3, 2, 1 y 0 del registro ADCON1.
2. Elegir cual será el reloj a utilizar para obtener el tiempo de conversión adecuado, que tendrá que ser mayor a 1,6us, lo cual se hace mediante los bits 7 y 6 del registro ADCON0 junto con el bit 6 del registro ADCON1.
3. Seleccionar cual será la entrada analógica a leerse, lo cual se hace mediante los bits 5, 4 y 3 del registro ADCON0.

4. Activar el conversor analógico digital PIC poniendo a 1 el bit 0 del registro ADCON0.
5. Esperar el tiempo de adquisición necesario para que el condensador del módulo conversor analógico digital PIC se cargue en forma adecuada.
6. Poner a 1 el bit 2 del registro ADCON0 para que comience la conversión de la tensión almacenada en el condensador del conversor analógico digital PIC y se guarde este valor en forma binaria en los registros ADRESH y ADRESL.
7. Esperar a que la conversión analógica digital termine mediante la lectura del bit 2 del registro ADCON0, la conversión habrá terminado cuando el valor de este bit se ponga a 0.
8. Leer los registros ADRESH y ADRESL que es donde se ha guardado el número binario que representa el valor de la señal analógica.

A este punto ya se tendrá la información del giroscopio y los acelerómetros almacenadas en variables dentro de la programación del PIC16F688; paso siguiente será enviar las variables obtenidas por la lectura análoga a través de comunicación serial por protocolo RS232 al módulo de comunicación inalámbrica por radiofrecuencia y posteriormente al ordenador para que interactúen con nuestro software.

El PIC16f688 soporta un puerto USART físico, es por esto que la comunicación serial sólo utiliza tres líneas, una para recibir los datos Rx, otra para transmitir los datos Tx y la línea común GND. Para este PIC las líneas TX y RX corresponden a los pines 5 y 6 (Puerto RC4 y RC5) como puede ser observado en la Ilustración 22.

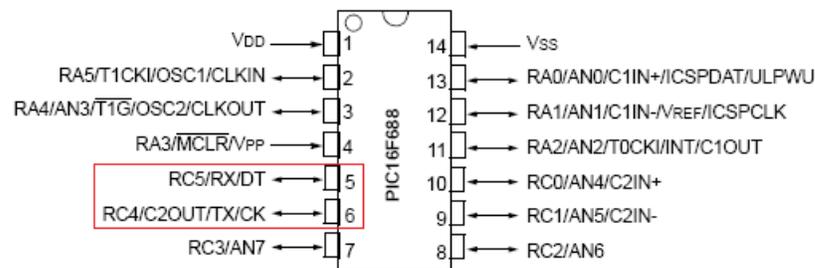


Ilustración 22: PIC16F688 (señalados puertos TX RX - comunicación serial).

[Fuente 22]

Si la comunicación USART PIC es asíncrona, uno de los hilos será para la transmisión de los datos de un dispositivo a otro y el otro hilo será para la recepción de datos entre un dispositivo a otro, la transmisión y la recepción pueden ocurrir en forma simultánea, lo que si se tiene que cumplir es que la frecuencia de trabajo de ambos dispositivos tiene que ser la misma, a esto se le conoce como los baudios que viene a ser la cantidad de bits por segundo que se transmitirán entre ambos dispositivos.

Si la comunicación USART PIC es síncrona, uno de los hilos será utilizado tanto para la transmisión y la recepción de datos por lo que la transmisión no puede ocurrir en forma simultánea, el otro hilo será utilizado para enviar la señal de reloj de sincronización entre ambos dispositivos, en este caso uno de los dispositivos es llamado maestro y el otro esclavo, el maestro es el que controla la señal de reloj y cuando se inicia o finaliza la comunicación. [22]

La comunicación serial debe cumplir las siguientes condiciones:

1. El pin RX es el pin para la recepción de datos y tendrá que ser configurado como una entrada digital.
2. El pin TX es el pin para la transmisión de datos y tendrá que ser configurado como una salida digital.
3. El pin RX del PIC tiene que ser conectado al pin TX del otro dispositivo.
4. El pin TX del PIC tiene que ser conectado al pin RX del otro dispositivo
5. Los comunes de ambos dispositivos también tienen que estar conectados entre sí.

Los niveles de tensión con los que trabajan los pines del módulo USART son de 0V y 5V un bajo será 0V mientras que un alto será 5V, por eso cuando la comunicación es entre microcontroladores la conexión entre pines se puede hacer directamente, pero cuando la comunicación es entre el microcontrolador y un ordenador la conexión entre pines tiene que hacerse a través de un convertor de nivel como el MAX232, ya que los niveles de tensión para la comunicación serial del ordenador son mayores que para el PIC (entre -12V y 12V), además de trabajar con lógica negativa, esto es para el ordenador un bajo será 12V mientras un alto será -12V. Ver Ilustración 23.

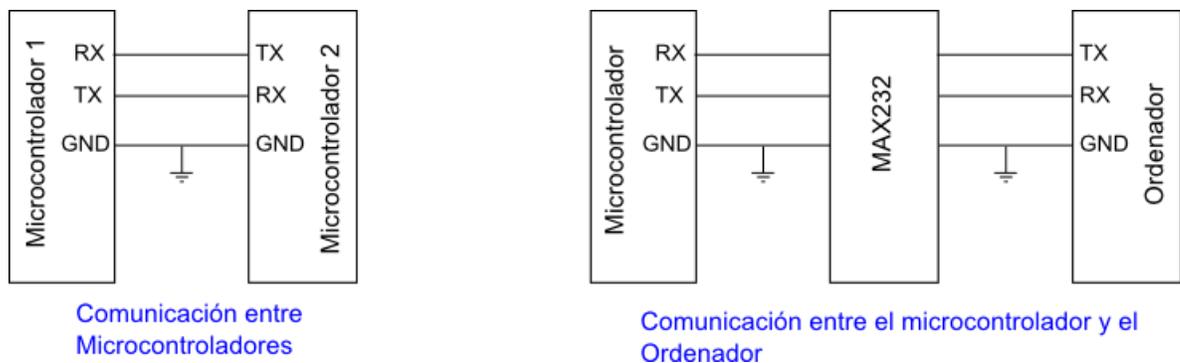


Ilustración 23: diferencia conexiones comunicación serial.

[Fuente 22]

Para programar el módulo USART PIC en el PIC16F688, se utilizan los siguientes registros: el TXSTA, RCSTA, SPBRG, TXREG y RXREG.

El registro TXSTA es el registro de control de la transmisión de datos. Ver Ilustración 24.

TXSTA: TRANSMIT STATUS AND CONTROL REGISTER (ADDRESS 98h)

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R-1	R/W-0
CSRC	TX9	TXEN	SYNC	—	BRGH	TRMT	TX9D
bit 7							bit 0

Ilustración 24: REGISTRO TXSTA

[Fuente 22]

1. El bit7 CSRC es útil cuando se utiliza la comunicación serial síncrona, mediante este bit se elige la fuente de reloj esto es quien de los dispositivos será el maestro, en la comunicación serial asíncrona este bit no tiene efecto. El bit7 en modo asíncrono no se usa por lo que se pondrá a 0.
1. El bit6 TX9 Es para elegir si la transmisión de datos será a 9 bits o a 8 bits, si este bit se pone a 1 la transmisión será a 9 bits y si este bit se pone a 0 la transmisión será a 8 bits. El bit6 se pondrá a 0 para que la transmisión sea a 8 bits.
2. El bit5 TXEN Este es el bit que habilita la transmisión de datos. El bit5 se pondrá a 1 para que esté habilitada la transmisión de datos.
3. El bit4 SYNC elige el tipo de comunicación serial a utilizar con el módulo USART PIC, al ponerlo a 1 la comunicación serial será síncrona y al ponerlo a 0 la comunicación será asíncrona. El bit4 se pondrá a 0 porque la transmisión será asíncrona.
4. El bit3 no se utiliza. El bit3 se pondrá a 0.
5. El bit2 BRGH Este bit es para seleccionar la velocidad de los baudios, que es la cantidad de bits que se enviarán por segundo en el modo asíncrono, si se pone a 1 será de alta velocidad, si se pone a 0 será de baja velocidad. El bit2 se pondrá a 1 para que el módulo USART PIC trabaje a alta velocidad.
6. El bit1 TRMT Este bit indica el estado del registro TSR utilizado para la transmisión de datos, trabaja automáticamente, si está a 1 indica que el registro esta vacío, si está a 0 indica que el registro está lleno.
7. El bit 0 TX9D indica que se utilizan 9 bits en la transmisión de datos.

Luego en la inicialización del módulo USART PIC el registro TXSTA quedará así:

TXSTA=0b00100110;// 8bits, transmisión habilitada, asíncrono, alta velocidad.

El Registro RCSTA Es el registro de control de la recepción de datos. La configuración para cada bit se ve en la Ilustración 25.

RCSTA: RECEIVE STATUS AND CONTROL REGISTER (ADDRESS 18h)

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R-0	R-0	R-x
SPEN	RX9	SREN	CREN	ADDEN	FERR	OERR	RX9D
bit 7							bit 0

Ilustración 25: REGISTRO RCSTA

[Fuente 22]

1. El bit7 SPEN permite la habilitación del uso del módulo USART PIC. El bit7 se pondrá a 1 para habilitar el uso del módulo USART PIC.
2. El bit6 RX9 es para elegir si la recepción de datos será a 9 bits o a 8 bits, si este bit se pone a 1 la recepción será a 9 bits y 0 de 8 bits. El bit6 se pondrá a 0 para que la recepción sea a 8 bits.
3. El bit5 SREN se utiliza en el modo síncrono para habilitar la recepción síncrona, en el modo asíncrono no es utilizado. El bit5 se pone a 0 porque no se usa en la comunicación asíncrona.
4. El bit4 CREN se habilita la recepción continua de datos. El bit4 se pone a 1 para habilitar la recepción de datos.
1. El bit3 ADDEN es utilizado en el modo asíncrono si la recepción de datos es de 9 bits. Si la recepción de datos es a 8 bits no es utilizado. El bit3 se pone a 0 porque la recepción será a 8 bit.
2. El bit2 FERR trabaja automáticamente si se pone a 1 es que se ha recibido un dato no válido.
3. El bit1 OERR trabaja automáticamente, se pone en 1 si se ha producido un error por sobre escritura del dato recibido.
4. El bit 0 RX9D si se utilizan 9 bits en la recepción de datos.

Luego en la inicialización del módulo USART PIC el registro quedará así:

RCSTA=0b10010000;//habilitado el USART PIC, recepción 8 bits, habilitada, asíncrono.

El registro SPBRG representa los baudios o la cantidad de bits por segundo para la comunicación serial, como será a alta velocidad por lo que el bit BRGH del registro TXSTA se puso a 1 y en forma asíncrona, se utilizará la fórmula.

$$velocidad \text{ en baudios} = \frac{f_{osc}}{16*(SPBRG+1)} \quad \text{ecuación 4.}$$

Si se utiliza la frecuencia de oscilación de 4MHz a 9600 baudios, al despejar la ecuación 4 se tendrá:

$$SPBRG = \frac{f_{osc}}{16 * baudios} - 1 = \frac{4000000Hz}{16 * 9600} - 1 = 25$$

El registro SPBRG será de 25, luego se programará como:

SPBRG=25;//para una velocidad de 9600baudios con un oscilador de 4Mhz.

Módulo de comunicación por radiofrecuencia MX-FS-03V / MX-05V:

módulo de comunicación inalámbrica por radiofrecuencia emisor receptor de bajo costo que opera en serie a 433 MHz a un máximo de 9600 baudios. Funciona desde 3.5 a 12 voltios, consumo de corriente de 4mA. Alcance de hasta 200 metros.

Se tendrán 3 módulos de comunicación RF ya que son económicos, de simple implementación y por ser inalámbricos facilitan el movimiento motriz del paciente libre sin cableado.

En la Ilustración 26 se muestra el diagrama de conexión del módulo comunicación inalámbrica por radiofrecuencia MX-FS-03v / MX-05V con un PIC16F688.

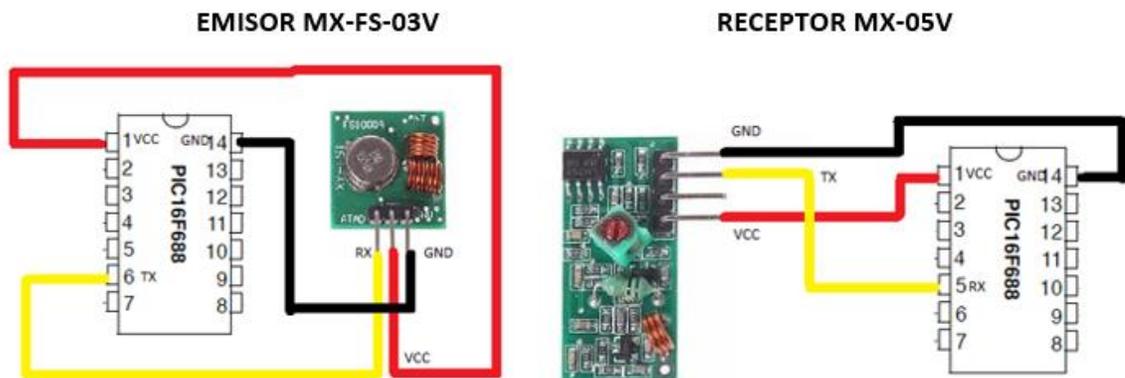


Ilustración 26: DIAGRAMA CONEXIÓN MODULO INALÁMBRICO RF.

Luego de leer análogamente las señales eléctricas obtenidas de los acelerómetros y del giroscopio, almacenarlas y procesarlas en el PIC para una comunicación serial, los módulos de comunicación transportan cada una de esas variables inalámbricamente por radiofrecuencia al PIC donde se integran todos los datos para luego enviarlos y administrarlos en el ordenador y el software del ambiente virtual como se muestra en la Ilustración 27.

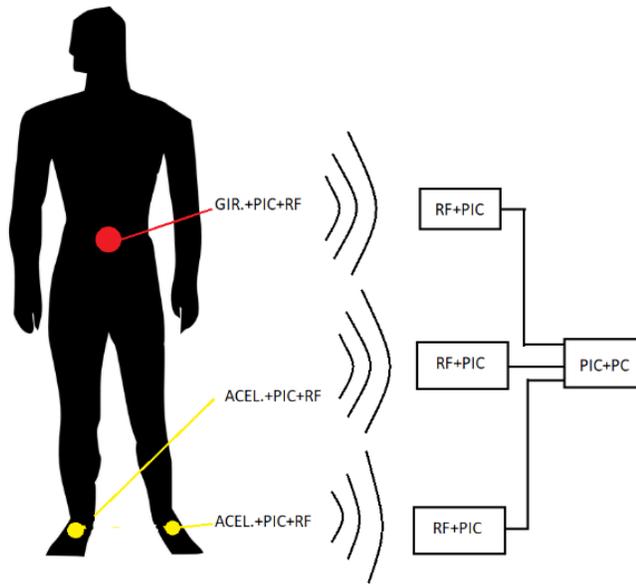


Ilustración 27: diagrama envío datos mediante comunicación inalámbrica RF.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se analizan los resultados del diseño mecánico, tanto los parámetros establecidos por análisis de gráficas y tablas como simulaciones en software y resultados de encuesta realizada a una determinada población para conocer el grado de aceptación del proyecto.

4.1. Resultados encuesta

Para el desarrollo del proyecto, se encuestó a 20 pacientes en terapia de rehabilitación de miembros inferiores de la fundación Arcángeles en la ciudad de Bogotá, con enfermedades neurológicas, hereditarias o adquiridas, y/o degenerativas que originan trastornos motores, cognitivos, sensoriales y sensitivos que afectan la destreza motriz en los miembros inferiores, con el fin de contar con su opinión acerca de una posible vinculación de realidad virtual a su terapia de rehabilitación.

En la Ilustración 28 se muestran los resultados de las encuestas gráficamente.

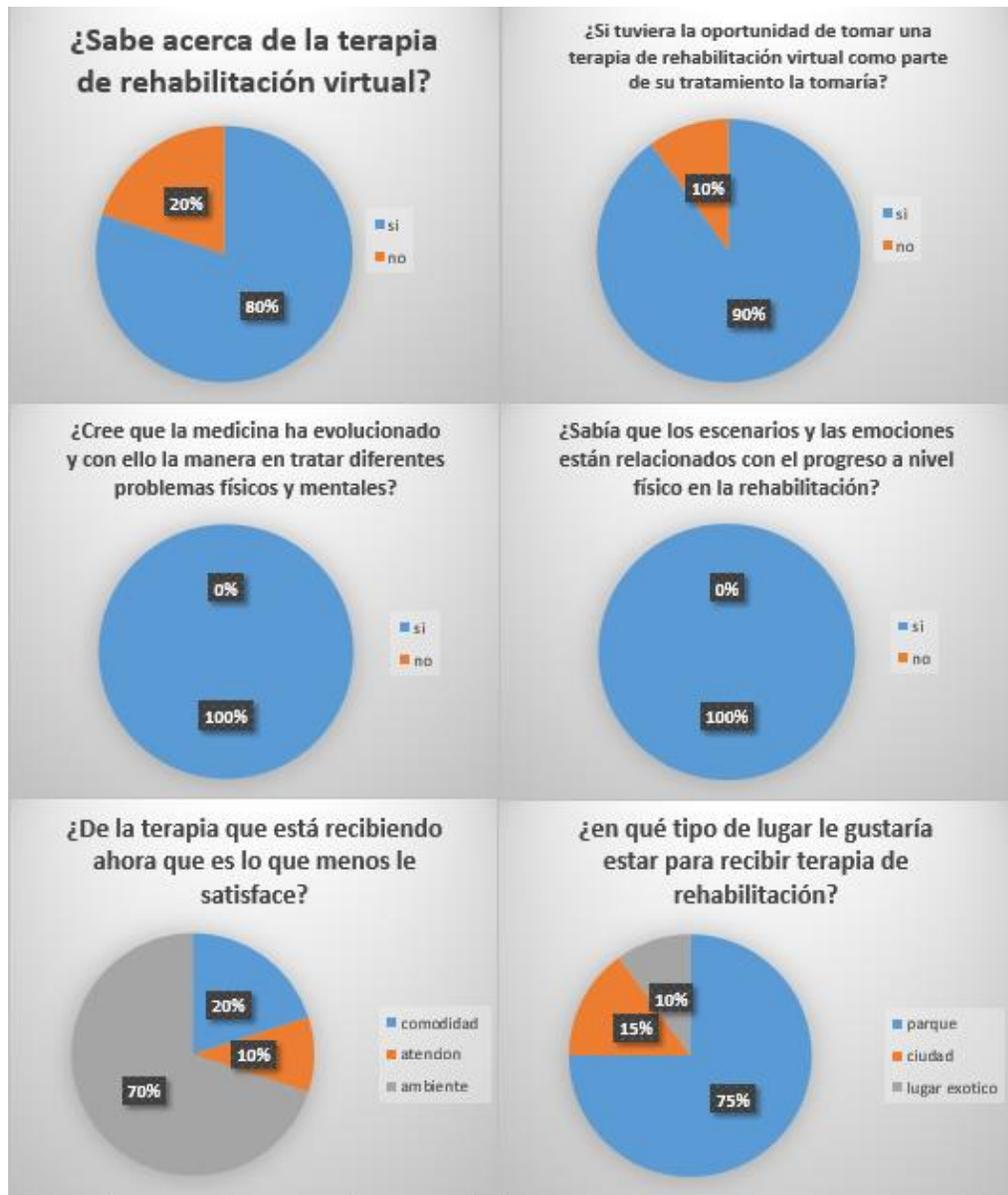


Ilustración 28: Resultados encuesta población de 20 pacientes en terapia de rehabilitación.

16 de los pacientes (80%) sabe que se están llevando a cabo en diferentes partes del mundo terapias de rehabilitación con ayuda de realidad virtual; expresan que han visto o escuchado por medios de comunicación o por asesorías varios tipos de rehabilitación como por ejemplo para estrés postraumático o tratamiento de fobias, que son las más populares.

Todos los pacientes saben conocen y son conscientes que la tecnología no solamente avanza en aspectos como la robótica, educación, finanzas, electrónica etc. Sino también con gran aportes y avances hacia la medicina.

Todos los pacientes aseguran que el ambiente y las emociones que sienten en el momento de su terapia de rehabilitación son importantes para el progreso positivo en su discapacidad, expresando así el 70% de ellos (14 pacientes) que les gustaría cambiar el ambiente o el lugar donde se realizan las terapias por uno más tranquilo donde sientan más en contacto con el mundo. 15 pacientes (75%) mostraron agrado y comodidad por cambiar el lugar de su terapia por un parque natural, donde no haya mucho tránsito de personas o transporte, donde puedan oír algunos animales y sonidos naturales que seguramente los harán sentir más cómodos y felices. Al 15% de la población (3 pacientes) le gustaría tener su terapia en algún lugar común de la ciudad como un centro comercial donde puedan ver y sentir mucha más gente y puedan tener contacto con otras personas. Y solo 2 pacientes (10%) quisieran tener su terapia en algún lugar exótico como el mar, una playa, un desierto etc.

18 de los pacientes (90%) estaría dispuesto a incorporar este tipo de proyecto de realidad virtual en sus terapias de rehabilitación ya que les llama la atención aspectos como la innovación, el querer probar algo nuevo y diferente en sus programas y la razón más importante que haya una notoria mejoría en su rehabilitación, el resto de pacientes expresa miedo o incertidumbre a lo que no conocen y por ende lo tomaría única y exclusivamente por medio de una orden médica que garantice que no van a tener ningún tipo de problema o severidad en su discapacidad.

4.2. Estudio del movimiento de los pies al caminar de una población de personas

Para la base de la plataforma que será la que soporte todo el peso de la persona, se estudia y analiza el movimiento que efectúan los pies de una persona al caminar.

Se toma como base diferentes tipos de personas, hombres y mujeres, los cuales son grabados de perfil mientras caminan para determinar el ángulo que forma la planta del pie con respecto al suelo justo en los momentos en los que el pie toca la superficie y deja de hacer contacto con ella. Ver tabla 1.

Tabla 1: resultados población - movimiento al caminar				
GENERO	ALTURA (metros)	ANGULO SEPARACION (grados)	ANGULO DE ACERCAMIENTO (grados)	SEPARACION ENTRE PIES (metros)
mujer	1,75	18,5	14,5	0,37
mujer	1,5	19,3	14,2	0,31
mujer	1,64	18,4	15,6	0,34
mujer	1,8	18,6	15,7	0,38
mujer	1,74	20,1	15,8	0,37
mujer	1,55	17,8	15,2	0,36
mujer	1,72	18,6	15,3	0,37
mujer	1,69	19,2	14,3	0,35
mujer	1,45	19,6	15,3	0,32
mujer	1,53	20,2	14,8	0,33
mujer	1,68	20,1	15,4	0,33
mujer	1,77	18,2	15,6	0,35
mujer	1,82	18,6	15,3	0,38
mujer	1,7	19,4	14,7	0,36
mujer	1,6	18,6	14,6	0,34
mujer	1,58	19,5	14,5	0,35
mujer	1,65	18,3	14,2	0,36
mujer	1,59	17,8	15,7	0,35
mujer	1,74	20,3	14,5	0,34
mujer	1,76	19,6	14,8	0,35
hombre	1,75	18,3	15,6	0,38
hombre	1,7	17,6	14,7	0,39
hombre	1,65	18,5	15,4	0,35
hombre	1,82	19,5	14,8	0,38
hombre	1,92	18,6	14,7	0,41
hombre	1,76	18,7	14,7	0,37
hombre	1,72	19,3	15,2	0,38
hombre	1,76	19,7	15,4	0,36
hombre	1,74	20	14,7	0,34
hombre	1,64	19,5	14,5	0,34
hombre	1,69	19,4	15,2	0,35
hombre	1,8	18,6	15	0,4
hombre	1,79	18,4	15,1	0,37
hombre	1,76	18,9	14,9	0,36
hombre	1,77	17,9	14,6	0,37
hombre	1,66	19,1	15,6	0,35
hombre	1,84	19	15,3	0,4
hombre	1,82	18,6	15,1	0,41

hombre	1,81	19,7	15,3	0,39
hombre	1,74	19,5	14,6	0,39
hombre	1,75	18,4	14,7	0,35
hombre	1,69	20,1	14,6	0,36
hombre	1,7	20,3	15,1	0,37
hombre	1,64	20,3	15,2	0,34

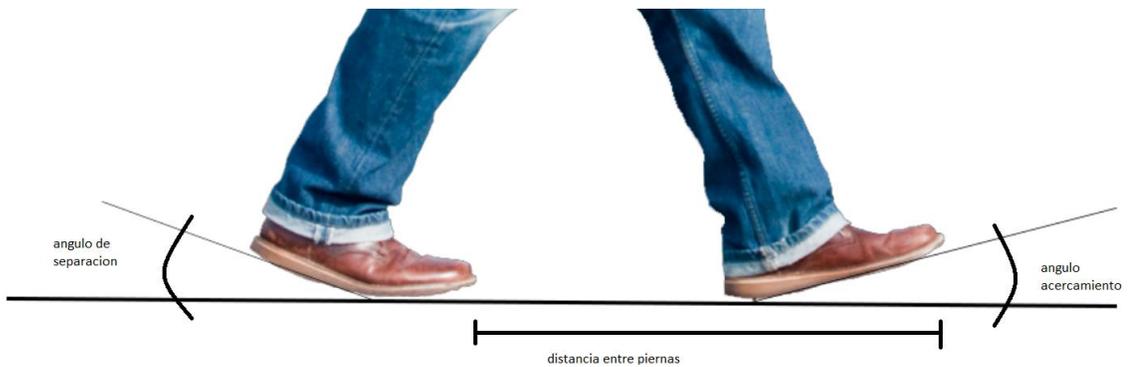


Ilustración 29: Movimiento de una persona al caminar.

Análisis de resultados de los datos obtenidos:

Se toma una población de 44 personas, 20 mujeres y 22 hombres de diferentes alturas; son sometidos a caminar mientras son grabados para luego identificar los ángulos y distancias requeridas para el diseño de la plataforma omnidireccional teniendo los siguientes resultados:

TABLA 3. RESULTADOS DATOS OBTENIDOS		
DESCRIPCIÓN	PROMEDIO	UNIDADES
altura mujeres	1,663	METROS
ángulo separación mujeres	19,035	GRADOS
ángulo acercamiento mujeres	15	GRADOS
separación entre pies mujeres	0,3505	METROS
altura hombres	1,746666667	METROS
ángulo separación hombres	19,07916667	GRADOS
ángulo acercamiento hombres	15	GRADOS
separación entre pies hombres	0,37125	METROS
altura población	1,708636364	METROS
ángulo separación población	19,05909091	GRADOS
ángulo acercamiento población	15	GRADOS
separación entre pies población	0,361818182	METROS

4.3. Simulaciones

A continuación, se muestran las simulaciones realizadas en software de la plataforma omnidireccional obteniendo conclusiones acerca de pesos, esfuerzos y requerimientos para el diseño establecido.

Base plataforma:

En la Ilustración 30 se muestra una simulación en CAD (SolidWorks) de la base sometida a una fuerza de 1000N.

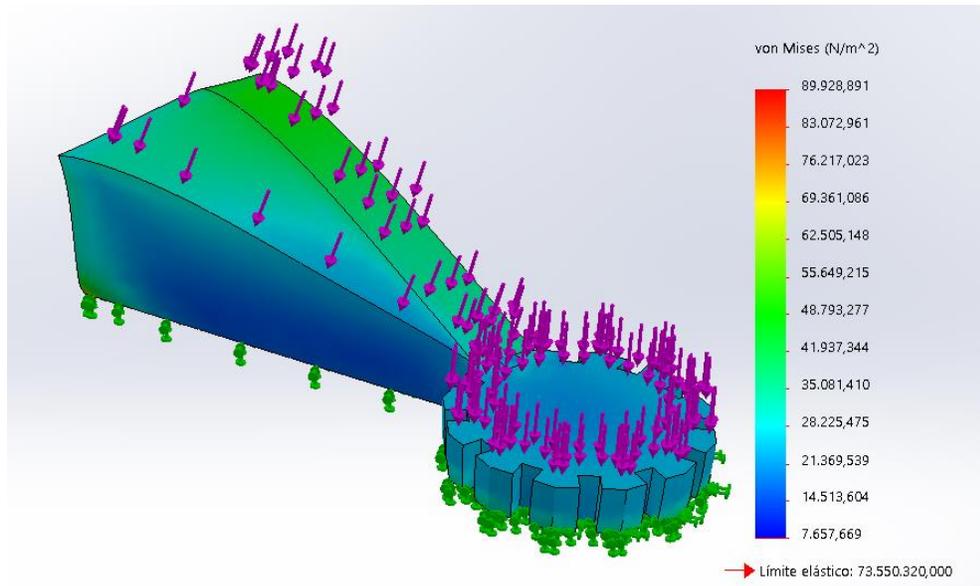


Ilustración 30: Análisis estático de fuerzas – 1000N

En la Ilustración 31 se muestra una simulación en CAD (SolidWorks) de la base sometida a una fuerza de 3000N.

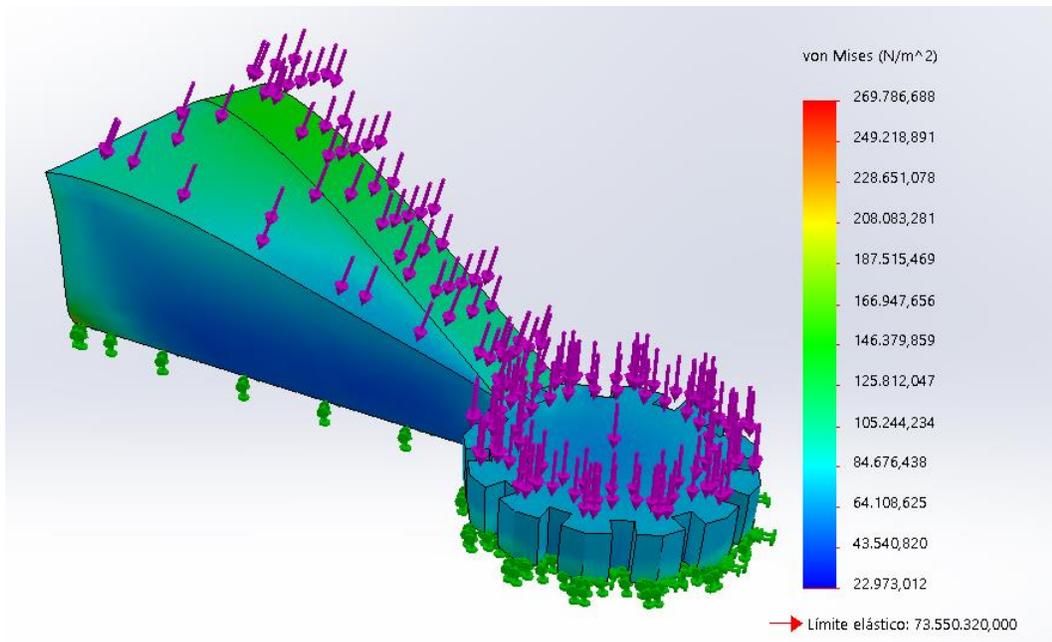


Ilustración 31: Análisis estático de fuerzas – 3000N

En la Ilustración 32 se muestra una simulación en CAD (SolidWorks) de la base sometida a una fuerza de 4000N.

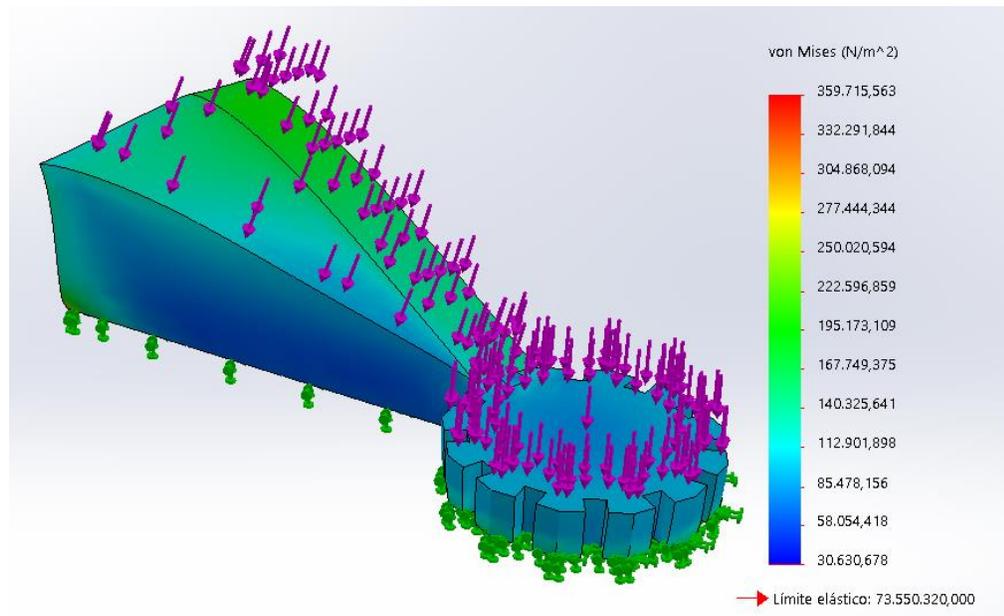


Ilustración 32: Análisis estático de fuerzas – 4000N

Análisis de resultados – simulaciones base plataforma:

En la Ilustración 30, Ilustración 31 e Ilustración 32 se observa que el diseño de la plataforma es sometido a diferentes cargas para simular el peso de una persona en reposo y en movimiento ya sea en su punto de más alto esfuerzo que se da cuando el usuario está corriendo o saltando.

Una persona promedio pesa entre 60 Kg y 850Kg, y cuando salta puede alcanzar una fuerza de hasta tres veces su peso; por esta razón para el diseño de la base de la plataforma se hacen los primeros análisis con un usuario que pese 100Kg (teniendo en cuenta un factor de seguridad de 1.5). Dado que la base está diseñada en cedro macizo, soporta perfectamente fuerzas de 1000N y 3000N (ver Ilustración 30 e Ilustración 31), llegando a soportar perfectamente una fuerza de 4000N (ver Ilustración 32) sobre cualquier punto de su superficie sin riesgo a ruptura o sobreesfuerzo.

Columna soporte:

En la Ilustración 33 se muestra una simulación en CAD (SolidWorks) de la columna soporte sometida a una fuerza de 1500N.

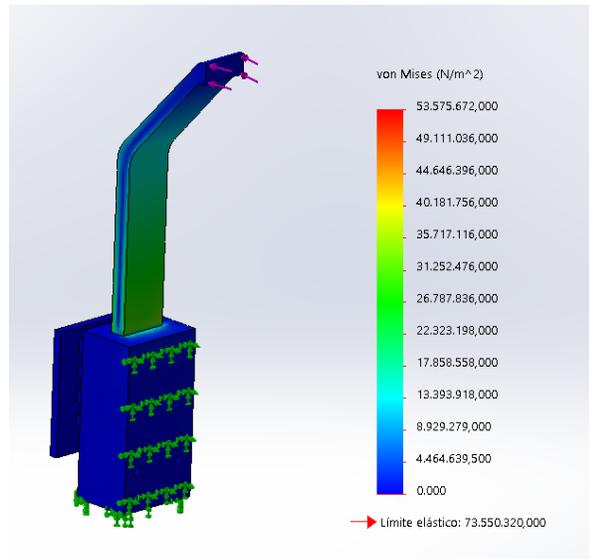


Ilustración 33: Análisis estático de fuerzas - 1500N

En la Ilustración 34 se muestra una simulación en CAD (SolidWorks) de la columna soporte sometida a una fuerza de 2500N.

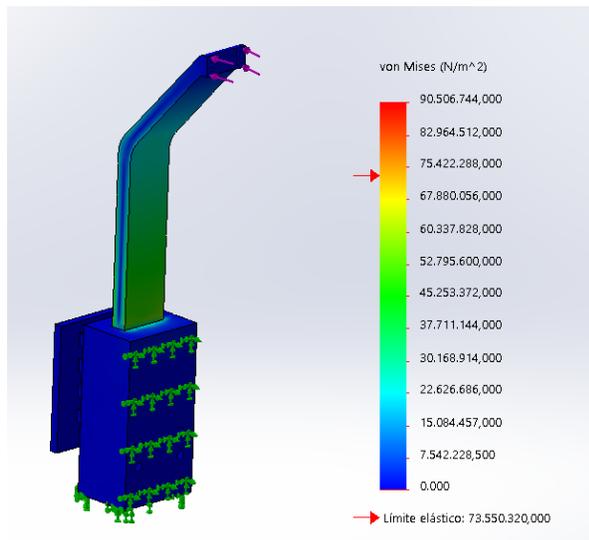


Ilustración 34: Análisis estático de fuerzas - 2500N

En la Ilustración 35 se muestra una simulación en CAD (SolidWorks) de la columna soporte sometida a una fuerza de 3000N.

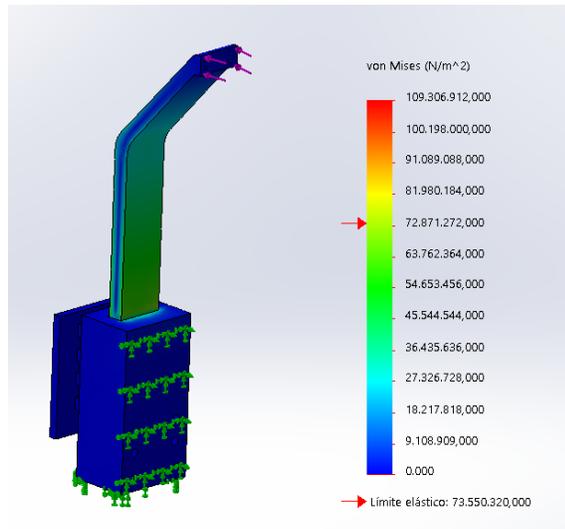


Ilustración 35: Análisis estático de fuerzas - 3000N

Análisis de resultados – simulaciones columna soporte:

En la Ilustración 33 se observa que la columna soporta perfectamente una fuerza de 1500N que equivale a sostener a una persona que pese 150kg; cómo van a ser 3 columnas uniformemente distribuidas garantizan un soporte 100% confiable. En la Ilustración 34 e Ilustración 35 se ve como fuerzas mucho más grandes de 2500N y 3000N llevan al material a una zona donde es mucho más probable que se quiebre y no cumpla con su función de soporte para el usuario. Se establecen esas medidas en ese exacto diseño para el excelente desempeño de las columnas.

Anillo soporte:

En la Ilustración 36 se muestra una simulación en CAD (SolidWorks) del cinturón de soporte sometida a una fuerza de 1500N.

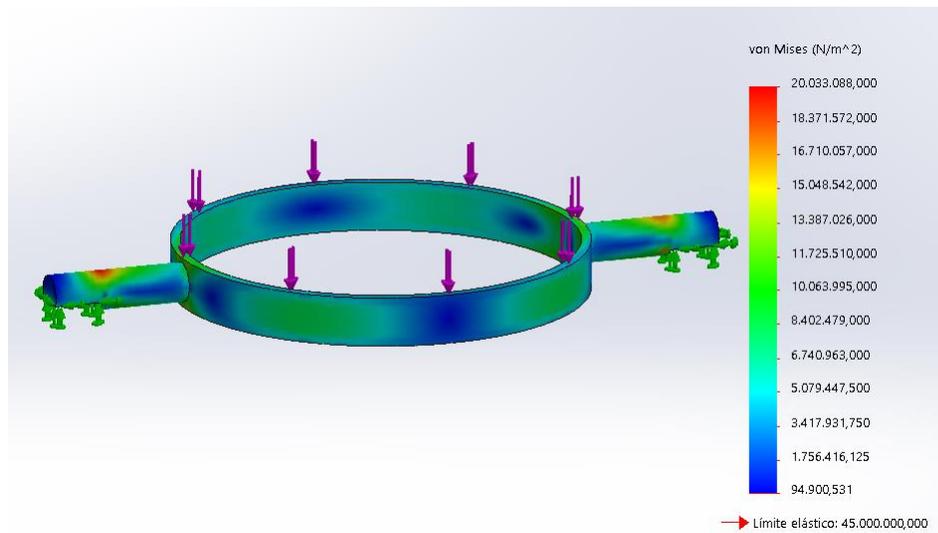


Ilustración 36: Análisis estático de fuerzas - 1500N

En la Ilustración 37 se muestra una simulación en CAD (SolidWorks) del cinturón de soporte sometida a una fuerza de 3000N.

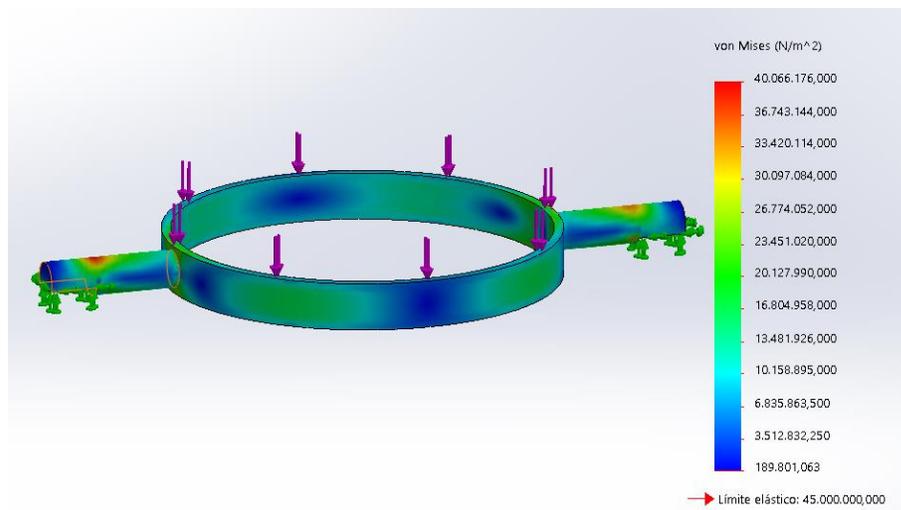


Ilustración 37: Análisis estático de fuerzas - 3000N

En la Ilustración 38 se muestra una simulación en CAD (SolidWorks) del cinturón de soporte sometida a una fuerza de 3500N.

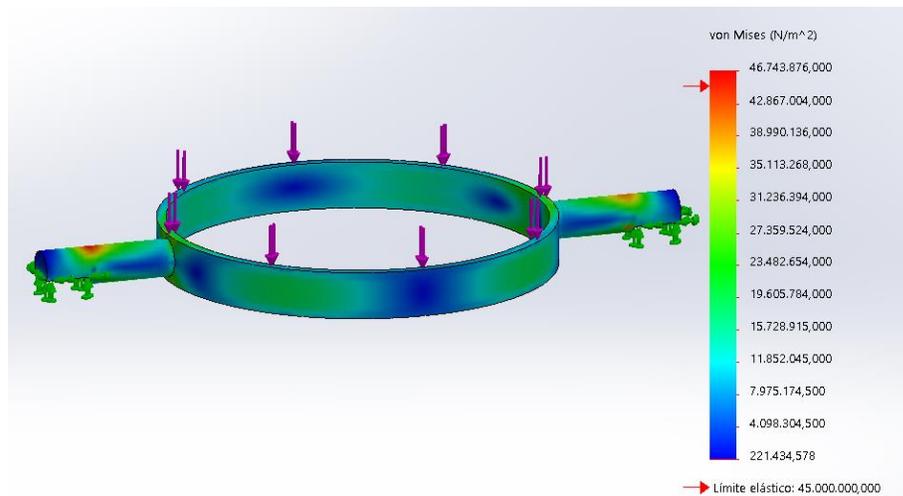


Ilustración 38: Análisis estático de fuerzas - 3500N

Análisis de resultados – simulaciones anillo soporte:

Este cinturón está diseñado para personas que no pesen más de 100kg, o con un diámetro de cintura mayor a 0.5m. El cinturón está hecho en acrílico con alta tolerancia a impactos lo que lo hace económico de fabricar, fuerte al momento de soportar al paciente y liviano cuando se adapta al cuerpo. En la Ilustración 36 se ve como el material resiste una fuerza de 1500N sin sobrepasar su límite elástico, es decir soporta a usuarios de hasta 100Kg. En la Ilustración 37 se aplica una fuerza mayor de 3000N observando el material sigue soportando esa carga teniendo en cuenta que una persona puede alcanzar hasta 3 veces su peso al momento de saltar o correr. Y en el último análisis (ver Ilustración 38) con una fuerza de 3500N el material va a tender a quebrarse en sus puntos de esfuerzo crítico donde existe la mayor fuerza de sopo

5. CONCLUSIONES

Realizar un proyecto mecatrónico pensando en ayudar a otras personas a mejorar su calidad de vida deja a un lado la escépticidad de la inclusión de la tecnología a la vida diaria de las personas para abrir puertas a la investigación e interés por tratarla más de cerca y darle más espacio de aprendizaje a futuras generaciones que deseen aportar a este tipo de proyectos y abrirle la mente a personas que los necesiten.

Aplicando creatividad y conocimientos adquiridos e indagando sobre muchos otros cabe resaltar que son miles las maneras de llevar el diseño a cabo, son miles los materiales por usar y las formas por haber, pero apoyándose en softwares como Solid Works y Unity se obtuvo la ventaja de realizar simulaciones, estudios, análisis, cálculos y pronósticos que son muy acertados para haber obtenido el mejor diseño requerido posible.

Para el desarrollo del proyecto se tuvo en cuenta la inclusión de personas física y motoramente sanas para el inicio del desarrollo del proyecto obteniendo datos a partir de estudios de movimientos como otras en condición de rehabilitación para tener en cuenta su opinión al momento de una posible inclusión de la tecnología a su terapia.

5.1. Trabajos futuros

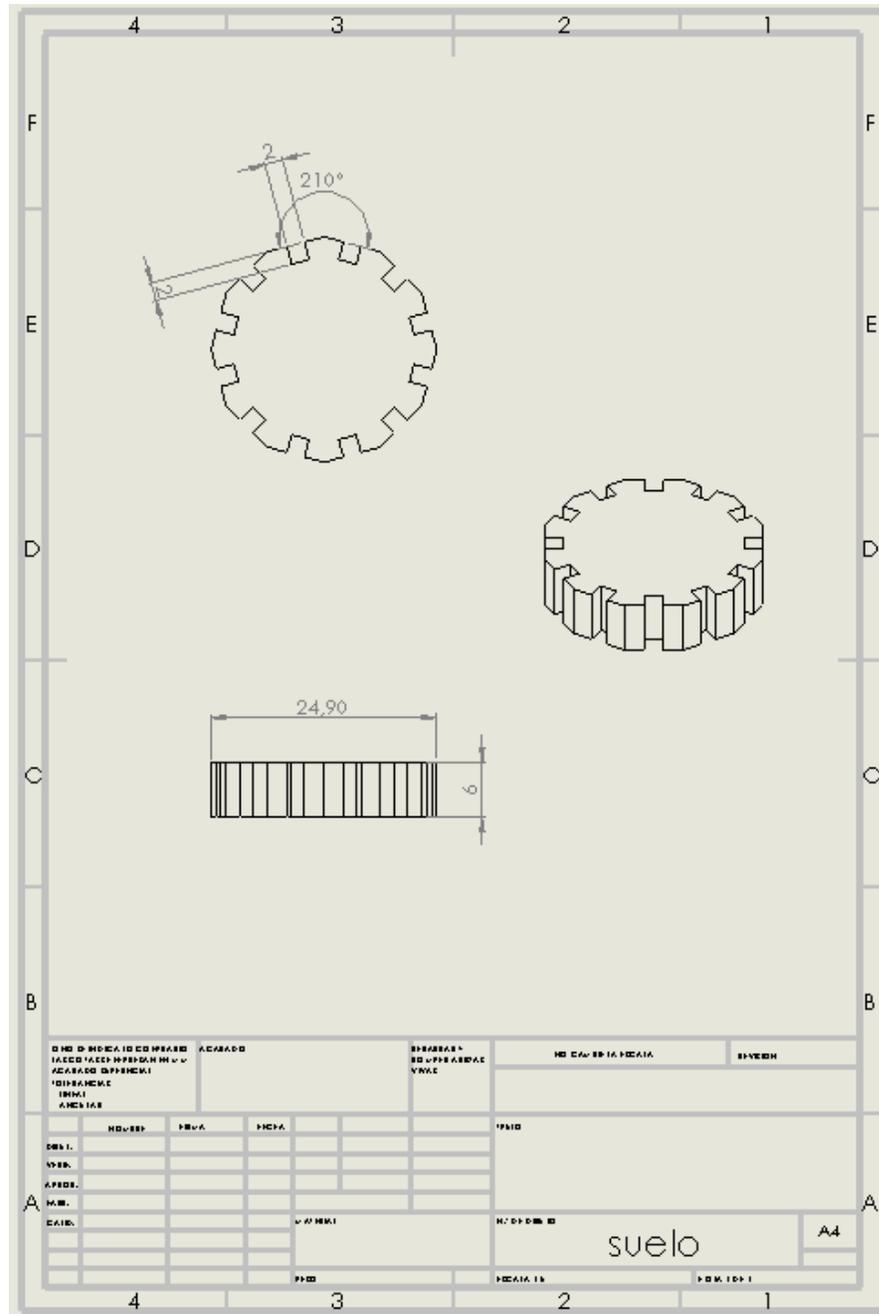
Para ampliar el uso de la plataforma omnidireccional con fines terapéuticos en rehabilitación de miembros inferiores en más pacientes en un futuro será necesario estudiar una población de otro país, ya que las medidas de ésta son basadas en complejiones para pacientes colombianos y personas de otros lugares pueden llegar a tener diferentes medidas.

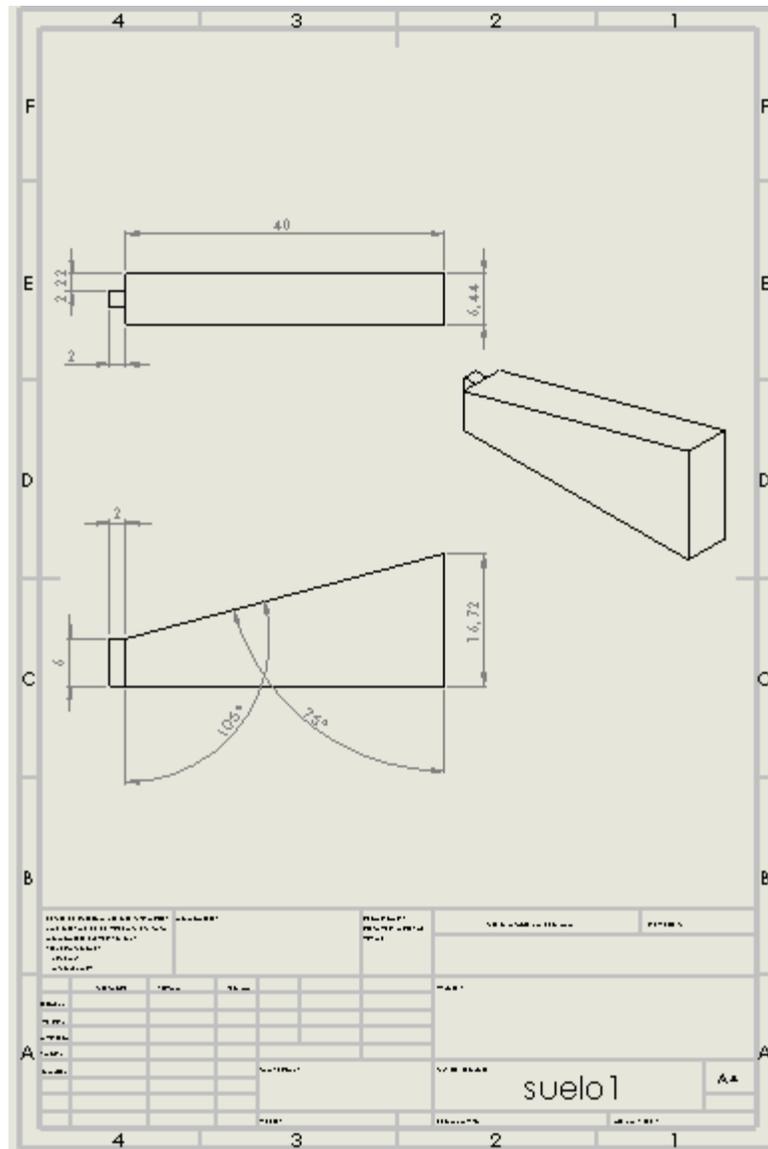
Es aconsejable realizar diferentes tipos de ambientes y entornos virtuales para exponer al paciente a diferentes opciones cuando tenga su terapia y fomentar ambientes variados emociones diferentes donde no exista aburrimiento o monotonía, pero si las ganas de querer explorar más, sentir más y motivarlo a una sana y pronta recuperación.

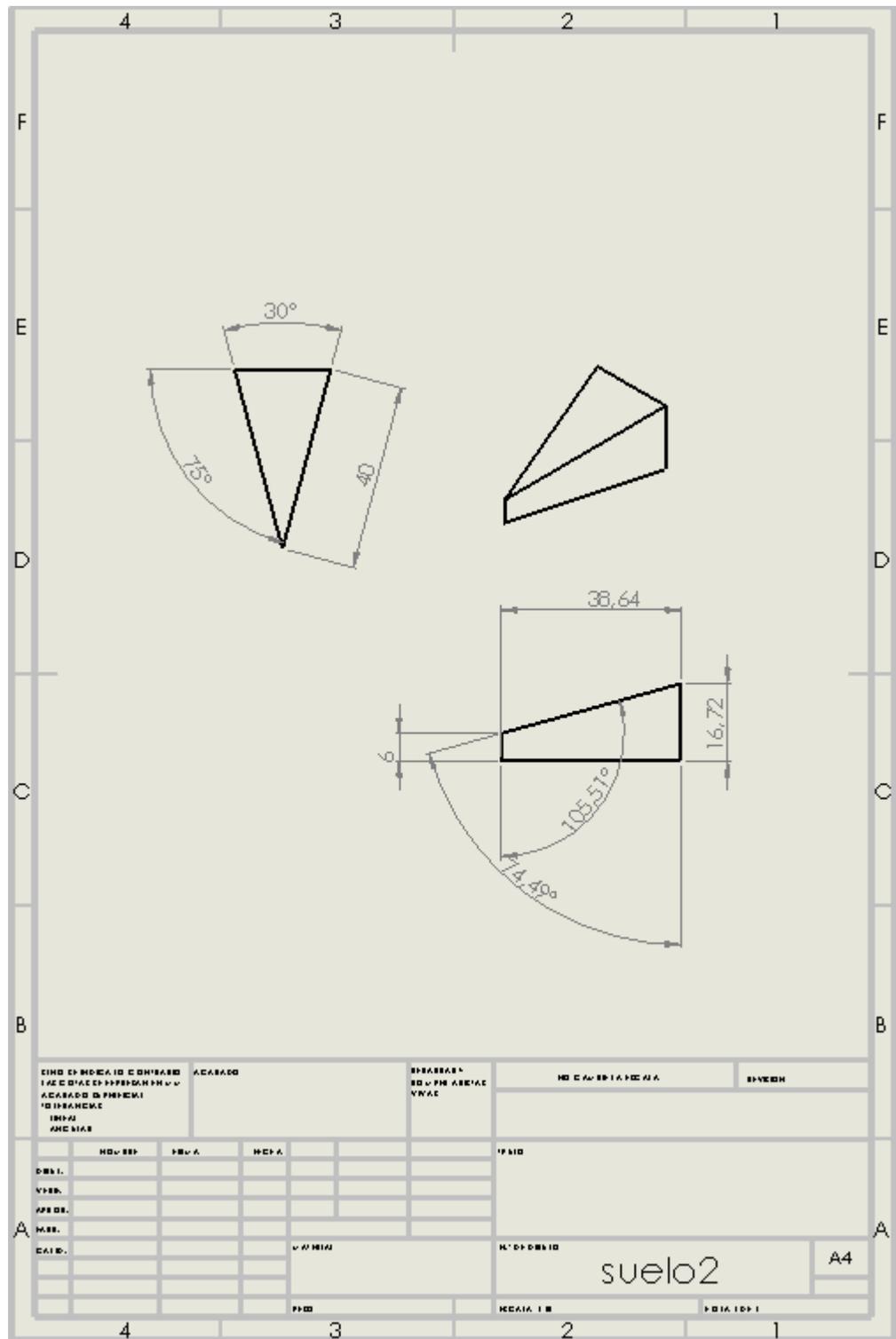
En cuanto a la parte electrónica se podría vincular más de una plataforma en un mismo ambiente virtual para que exista una interacción entre varios pacientes en una misma sesión; esto conlleva a un mayor grado de conocimiento de programación e integración de datos.

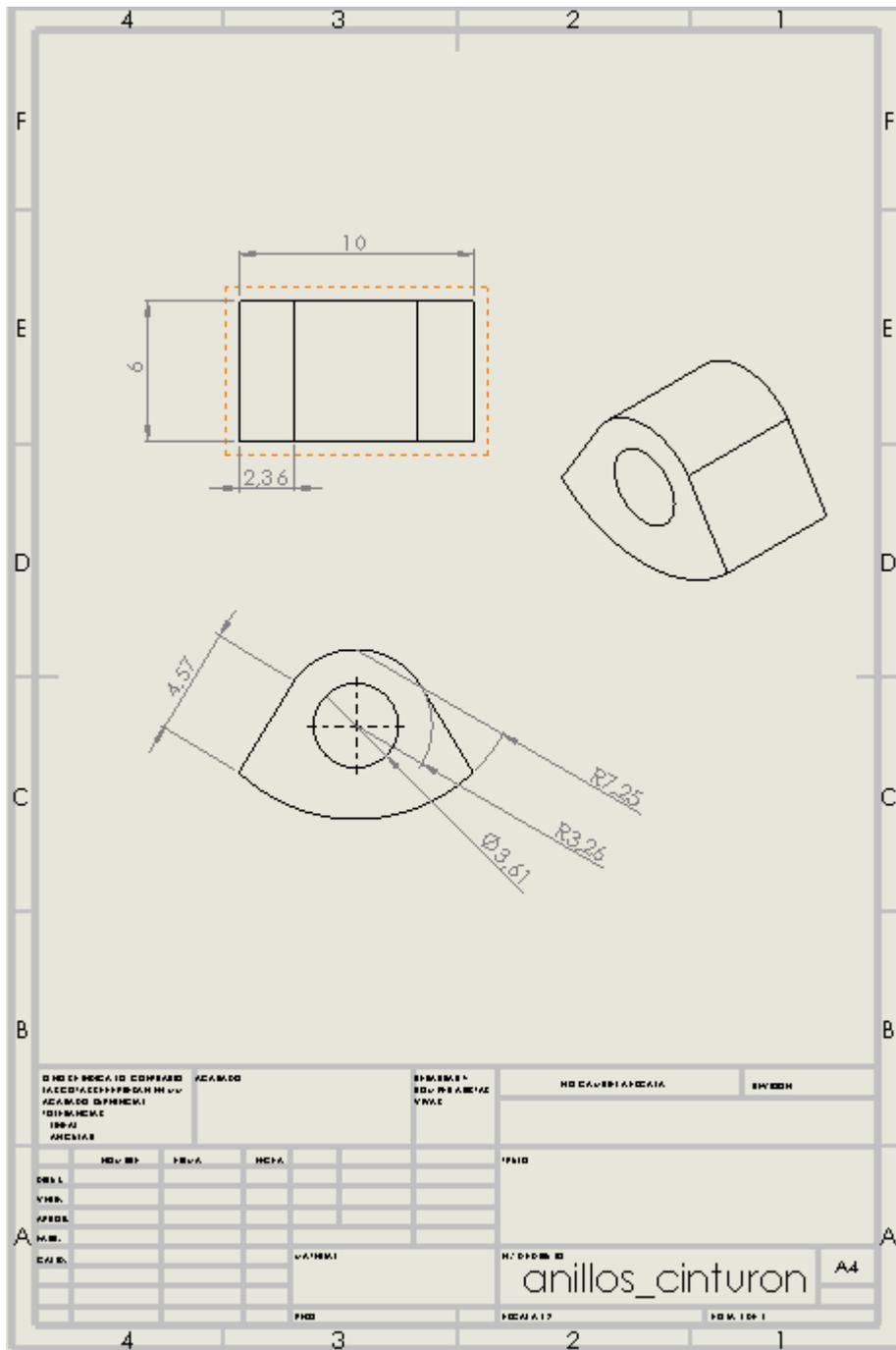
6. ANEXOS

Anexo 1. Planos del diseño mecánico de la plataforma omnidireccional.









Anexo 2. Encuesta realizada a población en terapia de rehabilitación de sus miembros inferiores

La encuesta manejada fue la siguiente:

1. ¿Sabe acerca de la terapia de rehabilitación virtual? SI_____ NO_____
2. ¿Si tuviera la oportunidad de tomar una terapia de rehabilitación virtual como parte de su tratamiento la tomaría? SI_____ NO_____
3. ¿Cree que la medicina ha evolucionado y con ello la manera en tratar diferentes problemas físicos y mentales? SI_____ NO_____
4. ¿Sabía que los escenarios y las emociones están relacionados con el progreso a nivel físico en la rehabilitación? SI_____ NO_____
5. ¿De la terapia que está recibiendo ahora que es lo que menos le satisface?
COMODIDAD____ ATENCION____ AMBIENTE_____
6. ¿en qué tipo de lugar le gustaría estar para recibir terapia de rehabilitación?
PARQUE NATURAL____ ALGUN LUGAR CONCURRIDO DE LA CIUDAD____
LUGAR EXOTICO_____
7. ¿cuáles de los siguientes aspectos le atraen del proyecto que se está realizando?
INNOVACION____ PROGRAMA REHABILITACION____ MEJORAS
REHABILITACION_____

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1]:<https://www.psious.com/>. Psious. Consultada: 2 de Febrero de 2017
- [2]:<http://www.cepsiclinica.com/biofeedback.html>. Centro de Psicología Clínica. Consultada: 2 de Febrero de 2017
- [3]:<http://www.fib.upc.edu/retroinformatica/avui/realitatvirtual.html>. Retro Informática. Consultada: 2 de Febrero de 2017
- [4]:<http://www.realidadvirtual.com/que-es-la-realidad-virtual.htm>. Realidad Virtual.com. Consultada: 2 de Febrero de 2017
- [5]:<http://blogthinkbig.com/la-realidad-virtual-llega-a-la-medicina-asi-puede-mejorar-los-ejercicios-de-rehabilitacion/>. Blogthinkbig.com. Consultada: 2 de Febrero de 2017
- [6]:<http://www.vuetechnologie.com/product/vue-vr-treadmill/>. Vuetechnologie. Consultada: 3 de Febrero de 2017
- [7]:http://www.virtuix.com/product/omni-package/#tabs_20141211-190917-6491. Virtuix Omni. Consultada: 6 de Febrero de 2017
- [8]:<http://www.katvr.com/English.html#katwalk>. Katvr. Consultada: 6 de Febrero de 2017
- [9]:<https://vrwiki.wikispaces.com/InfinADeck>. Vr Wiki. Consultada: 6 de Febrero de 2017
- [10]:<https://www.ucl.ac.uk/news/news-articles/0216/150216-virtual-reality-treat-depression>. UCL (University College London). Consultada: 8 de Febrero de 2017
- [11]:http://www.cepsiclinica.com/fobias_realidad_virtual.html. Centro de Psicología Clínica. Consultada: 8 de Febrero de 2017
- [12]:<http://cpi.upv.es/area-de-medios/casos-de-colaboracion/i/47806/485/tratamiento-del-estres-postraumatico-mediante-entornos-de-realidad-virtual>. Universidad Politécnica de Valencia. Consultada 8 de Febrero de 2017
- [13]:http://as.com/betech/2016/08/13/portada/1471039293_652542.html. ASBetech. Consultada 8 de Febrero de 2017.
- [14]:
Moreno, F., Jordan, O., Esmitt, R. J., Christiam, M., Omaira, R., Jeanlight, R., & Silvio, Á. (2013, October). Un framework para la rehabilitación física en miembros superiores con realidad virtual. In *Primera conferencia nacional de computacion, informatica y sistemas. universidad central de venezuela*. - Google Scholar. Consultada: 10 de Febrero de 2017
- [15]:

Gatica Rojas, V., Elgueta Cancino, E., Vidal Silva, C., Cantin López, M., & Fuentealba Arcos, J. (2010). Impacto del entrenamiento del balance a través de realidad virtual en una población de adultos mayores. *International Journal of Morphology*, 28(1), 303-308. – Google Scholar. 10 de Febrero de 2017

[16]:

Mora, M. G. (2013). Aplicación de realidad virtual en la rehabilitación cognitiva. *Revista Vínculos*, 10(1), 130-135. Google Scholar. 10 de Febrero de 2017

[17]:

Gil-Agudo, A., Dimbwadyo-Terrer, I., Peñasco-Martín, B., de los Reyes-Guzmán, A., Bernal-Sahún, A., & Berbel-García, A. (2012). Experiencia clínica de la aplicación del sistema de realidad TOyRA en la neuro-rehabilitación de pacientes con lesión medular. *Rehabilitación*, 46(1), 41-48. Google Scholar. 10 de Febrero de 2017

[18]:

Macarena Aguirre-Carvajal, Paula Marchant-Pérez Área Músculo-Esquelético, Escuela de Kinesiología, Facultad de Medicina, Universidad de Valparaíso, Valparaíso, Chile. Descripción del efecto de los ejercicios de la extremidad superior ipsilateral realizados con realidad virtual en mujeres sometidas a mastectomía. *Gaceta Mexicana de Oncología*. Volume 14, Issue 4, July–August 2015, Pages 204–209. ScienceDirect. 10 de Febrero de 2017

[19]:

R. Llorénsa, C. Colomer-Fontb, M. Alcañiza, E. Noé-Sebastián. Instituto Interuniversitario de Investigación en Bioingeniería y Tecnología Orientada al Ser Humano, Universitat Politècnica de València, Valencia, España, CIBER de Fisiopatología, Obesidad y Nutrición, CB06/03, Instituto de Salud Carlos III, Universitat de Jaume I, Castellón, España, Servicio de Neuro Rehabilitación, Hospital NISA Valencia al Mar y NISA Sevilla Aljarafe, Fundación Hospitales NISA. *Neurología*, Volume 28, Issue 5, June 2013, Pages 268–275. ScienceDirect. 10 de Febrero de 2017

[20]: <http://embedded-lab.com/blog/wp-content/uploads/2010/10/PIC16F688.png>. Consultada: 5 de Junio de 2017

[21]: <http://microcontroladores-mrelberni.com/AD-pic/>. Consultada: 15 de Junio de 2017

[22]: <http://microcontroladores-mrelberni.com/serial-pic/>. Consultada: 18 de Junio de 2017

[23]: Amanda Paulin Aldana Suarez y Susana del Pilar Yañez Mantilla. Adaptación de pinzas de laparoscopiaa dispositivos hapticos phantom omni y desarrollo de software de evaluación. Tesis profesional Bogota D.C.: Universidad Militar Nueva Granada facultad de ingeniería programa ingeniería mecatrónica.2013. Consultada: 2 de Septiembre de 2017.