



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Simulador Inmersivo de Realidad
Virtual para realizar Actividad Física

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniera Mecatrónica

PRESENTAN

Leticia Reyes de la Cruz
Michelle Stephanie Valderrama Yapor

DIRECTOR DE TESIS

M.A Luis Yair Bautista Blanco



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017



SIMULADOR INMERSIVO DE REALIDAD VIRTUAL PARA REALIZAR ACTIVIDAD FÍSICA

AGRADECIMIENTOS

A Amaury, por apoyar este proyecto desde su planteamiento hasta el estado presente, por su inspiración, paciencia, tiempo, guía y presencia en cada etapa necesaria en este simulador. Gracias por hacer de esta idea un proyecto real y motivarnos a hacer un cambio social mediante tecnología.

A Yair, por apoyarnos con la culminación de esta Tesis, respaldando a nuestro guía Amaury.

A Daniela Súchil Chávez, por ayudarnos con el diseño gráfico de esta tesis.

A nuestros Sinodales, que han estado presentes en este proyecto, proporcionando ideas, comentarios y apoyo incondicional.

A nuestras familias, que siempre nos respaldan en cada decisión que tomamos y nos auxilian cuando lo necesitamos.

A nuestros amigos, que hicieron de cada reto una experiencia divertida.

A todos los eventos e ideas que hicieron surgir este proyecto, desde historias y cuentos, hasta las personas que han logrado un desarrollo tecnológico, sin el cual la Realidad Virtual actual no sería posible.

A todos los cinco miembros del equipo, porque cada uno puso una parte incondicional que hace de este simulador, una experiencia que disfrutan las personas.

01. Objetivos y Alcances	10	06. Materiales y Métodos	39
02. Introducción	12	1. Selección del proceso de diseño	39
03. Antecedentes	14	Primer paso: El proceso de diseño elegido	39
 1. Problemática en salud por falta de actividad física	15	Dentro del diseño: Selección de actividad física a promover	40
a. Definiciones importantes	15	2. Conocer al usuario	41
b. Actividad física y enfermedades ligadas a la falta de ésta	15	a. Identificación del usuario	41
c. Programas de actividad física	19	b. Elaboración de encuesta	41
 2. Gamificación	19	c. Análisis de resultados	42
a. Definición	21	d. Obtención de necesidades y requerimientos	43
b. Taxonomía de la Gamificación	22	3. Diseño conceptual	45
c. Efectos psicológicos de la gamificación	22	a. Diagrama de caja negra	45
 3. Tecnologías emergentes	24	b. Diagrama de sistemas	46
a. Definición	24	c. Carta morfológica	48
b. Tecnologías para hacer ejercicio mediante el juego.	24	d. Selección de soluciones a sistemas	58
c. Realidad virtual	27	4. Prueba de concepto: Primer modelo funcional	59
04. Justificación: Realidad virtual como opción para realizar actividad física	34	a. Descripción del modelo	60
05. Oportunidad	38	b. Prueba con usuarios	62
		c. Rediseño de sistemas	62
		5. Diseño de detalle	63
		07. Resultados: Obtención del modelo funcional	69
		a. Pruebas de los elementos dentro de los sistemas	80
		b. Resultados	80

08. Discusión	81
a. Análisis de resultados	82
b. Mejoras para un tercer modelo funcional	83
09. Trabajo a futuro	85
10. Conclusiones	87
11. Referencias	89
12. Anexos A	95
ANEXO 1. Información complementaria de antecedentes.	96
ANEXO 2. Estadísticas de las encuestas.	96
ANEXO 3. Análisis por pares y matrices de decisión de conceptos.	101
ANEXO 4. Planos y modelos CAD's.	112
Tablas	
Tabla 1. Ejemplos de cuantificación de actividades mediante METs.	16
Tabla 2. Componentes recurrentes al gamificar soluciones para salud.	22
Tabla 3. Criterios para selección de actividad física a promover.	40
Tabla 4. Traducción de necesidades a requerimientos y especificaciones.	43
Tabla 5. Determinación de métricas de especificaciones.	44
Tabla 6. Carta morfológica.	46
Tabla 7. Comparación subsistemas de presencia.	49
Tabla 8. Comparación soluciones subsistema de desplazamiento.	49
Tabla 9. Comparación de subsistema de dirección.	50

Tabla 10. Comparación de subsistema acción.	50
Tabla 11. Comparación sistema de audio.	51
Tabla 12. Comparación de <i>headsets</i> disponibles para este proyecto.	52
Tabla 13. Comparación de subsistema velocidad.	53
Tabla 14. Comparación de subsistema superficie.	54
Tabla 15. Comparación de tecnologías <i>wireless</i> .	54
Tabla 16. Comparación entre microcontroladores.	55
Tabla 17. Comparación entre motores de juegos.	56
Tabla 18. Comparación entre software de modelado.	57
Tabla 19. Comparación de soluciones de sistema alimentación.	57
Tabla 20. Resultados generales de encuesta 4.	80
Tabla 21. Taxonomía de la gamificación.	96
Tablas de análisis por pares y matrices de decisión de conceptos.	101-113

Figuras

Figura 1. Nivel de actividad física según la OMS	18
Figura 2. Programas de actividad física como medida contra el sedentarismo en México	20
Figura 3. Ciclo de las tecnologías emergentes de Gartner	25
Figura 4. Carátula promocional de <i>Wii-Fit</i> en Europa	25
Figura 5. Ejemplos de <i>wearables</i> comunes actualmente y componentes que incluyen	26
Figura 6. Ejemplos de máquinas para <i>fitness</i> interactivas	27
Figura 7. Ejemplo de Cardboard	28
Figura 8. Hominido Mini VR Glasses	29
Figura 9. Samsung Gear VR	29
Figura 10. Avegant Glyph 25	29
Figura 11. Oculus Rift	29
Figura 12. Microsoft HoloLens	30
Figura 13. HTC Vive	30
Figura 14. Sony PlayStaon VR	30
Figura 15. SGoogle Daydream View	30
Figura 16. Fove O	31
Figura 17. Razer OSVR HDK 2	31


Figura 18. Merge 360	31
Figura 19. Retrack Utopia 360	31
Figura 20. Windows VR 10	32
Figura 21. Icaros	32
Figura 22. Interfaz de VR Boxing Workout	32
Figura 23. Holofit usado en distintos dispositivos	33
Figura 24. VirZOOM Bike	33
Figura 25. Rodillos BKool y ejemplos de interfaz	33
Figura 26. Ejemplo de uso de MoonCyclist	33
Figura 27. Bicicleta The ebove B\01	33
Figura 28. Proceso de diseño del producto de Ulrich y Eppinger	39
Figura 29. Diagrama de caja negra	45
Figura 30. Diagrama de sistemas	46
Figura 31. Primer modelo funcional (Expo DIMEI, junio 2016)	59
Figura 32. Sistema de soporte (original en blanco)	60
Figura 33. Sensor de presión en asiento	60
Figura 34. Encoder óptico acondicionado en soporte	60
Figura 35. Limit switch en manubrio.	60
Figura 36. Audífonos Beats Solo2	61
Figura 37. Oculus Rift DK2	61
Figura 38. Ventilador en manubrio	61
Figura 39. Interfaz del juego	61
Figura 40. Vistas del sistema de soporte	64
Figura 41. Sensor de presión resistivo	64
Figura 42. Diagrama de conexión subsistema de presencia	64
Figura 43. Diagrama de flujo subsistema de presencia	65
Figura 44. Módulo sensor de efecto Hall (izquierda) y ejemplo de desfase de imanes en dos discos (derecha)	65
Figura 45. Diagrama de conexión subsistema de sentido	66
Figura 46. Diagrama de flujo subsistema de sentido	66
Figura 47. Subsistema de sentido	67
Figura 48. Módulo magnetómetro HMC5883L	67
Figura 49. Diagrama de conexión subsistema de dirección	67
Figura 50. Diagrama de flujo subsistema de dirección.	67

Figura 51. Subsistema de dirección	68
Figura 52. Dimensiones [mm] de subsistema de acción	68
Figura 53. Subsistema de acción	68
Figura 54. Diagrama de conexión subsistema de acción	68
Figura 55. Diagrama de flujo subsistema de acción	69
Figura 56. Subsistema de velocidad	69
Figura 57. Diagrama de conexión subsistema de velocidad	69
Figura 58. Diagrama de flujo subsistema de velocidad	70
Figura 59. Caracterización del ventilador del subsistema de velocidad	70
Figura 60. Subsistema de superficie	71
Figura 61. Diagrama de conexión subsistema de superficie	72
Figura 62. Diagrama de flujo subsistema de superficie	72
Figura 63. Sistema de comunicación	73
Figura 64. Diagrama de flujo sistema de comunicación	73
Figura 65. Subsistema de procesamiento	73
Figura 66. Diagrama de conexión subsistema de procesamiento	73
Figura 67. Diagrama de flujo subsistema de procesamiento	74
Figura 68. Entorno de desarrollo de videojuegos en Unity 3D	74
Figura 69. Diagrama de flujo dentro del juego	75
Figura 70. Modelado de bicicleta sólido (izquierda) y con texturas (derecha)	76
Figura 71. Modelado de bala sólido. (izquierda) y con textura (derecha)	76
Figura 72. Modelo texturizado de moneda	76
Figura 73. Ubicación de algunos de los cruceros dentro del entorno de Unity	77
Figura 74. Sistema de alimentación	77
Figura 75. Diagrama de conexión sistema de alimentación	77
Figura 76. Vista isométrica NE del sistema	78
Figura 77. Vista lateral (izquierda) y vista isométrica SE (derecha) del sistema	78
Figura 78. Pruebas con el segundo modelo funcional	80

Abreviaturas

Actividad Física.....	AF
Realidad Virtual.....	VR
Kilocalorías.....	kcal
Equivalente metabólico.....	METs
Organización Mundial de la Salud.....	OMS





01 OBJETIVOS Y ALCANCES

Objetivo General

Diseño, desarrollo e implementación de un sistema inmersivo y lúdico para la promoción de una determinada actividad física a través de herramientas de Realidad Virtual.

Objetivos Particulares

- Determinar la actividad física a promover.
- Analizar los sentidos a estimular para la inmersión en la experiencia.
- Diseñar un ambiente virtual adecuado a la actividad seleccionada.
- Otorgar interacción con el entorno virtual propuesto mediante la selección de sensores y actuadores específicos para las funciones a realizar.
- Desarrollar los mecanismos de comunicación necesarios entre hardware y software para recibir información de los sensores y mandar señales a los actuadores en el momento que el usuario ejecute un movimiento tanto físico, como al interactuar con algunos objetos dentro del ambiente virtual.
- Evitar comprometer la seguridad del usuario al encontrarse en un ambiente virtual.

Alcances

- Implementación de dispositivo funcional, con pruebas cortas para comprobar funcionalidad del mismo.
- Pruebas técnicas de sensado y comunicación dispositivo - plataforma de desarrollo de videojuego.

A woman is shown from the side, wearing a white tank top and patterned shorts, riding a white bicycle. She is wearing a VR headset and looking forward. The background is a bright, hazy outdoor setting, possibly a balcony or a path, with a railing visible. The overall tone is warm and positive.

02 INTRODUCCIÓN

La tecnología se ha vuelto una parte indispensable de nuestra vida diaria, llegando a un punto en que las facilidades brindadas por la misma han provocado un descenso en la actividad física que las personas realizan de manera cotidiana. Sin embargo el uso de ésta no debería verse como un factor negativo sino como una herramienta que sirva para impulsar la creación de nuevos métodos que permitan inspirar a las personas a participar en actividades que sean benéficas para su salud. El trabajo que se presenta a continuación describe el proceso que tuvo lugar, desde la conceptualización hasta la creación del modelo funcional de un simulador inmersivo que utiliza la Realidad Virtual para promover la Actividad Física.

En el capítulo 3 se encontrará una recopilación de la información que ayuda al lector a comprender la motivación para el desarrollo del proyecto; así mismo se sentarán las bases sobre las que el proyecto será implementado. Definiendo los conceptos de Actividad Física que sirven para el diseño del sistema. De forma similar se introducen los conceptos de Gamificación y Tecnologías Emergentes, que serán algunas herramientas en las cuales se apoyará el proyecto. Finalmente se hará una comparativa entre las tecnologías existentes parecidas al sistema propuesto, y cuyos parámetros tendrán relevancia en la conceptualización del mismo.

En el capítulo 4 se enuncian las razones que justifican el proyecto, invitando al análisis de la Realidad Virtual como opción para el ejercicio, empleando a la inmersión, teorías psicológicas sobre gamificación, y los beneficios que conlleva la Actividad Física como las principales razones.

El capítulo 5 se explica cómo la decadencia de salud producida por algunos factores como tecnologías con bajo impacto en el movimiento del usuario pueden ser corregidos, generando una oportunidad si se empieza a desarrollar otro tipo de tecnologías que sí permitan este movimiento.

La metodología de diseño empleada será descrita en el capítulo 6, en el cual se hace una descripción detallada del proceso que tuvo lugar desde la selección del proceso de diseño hasta la obtención del modelo funcional, pasando por todos aquellos aspectos que nos llevan a conocer al usuario; permitiendo la creación de un concepto que recopile toda la información que cubra las necesidades del mismo y que permita establecer soluciones que cubran los requerimientos que harán que se cumplan los objetivos establecidos. A continuación se elegirá una solución y se describirán los elementos que la componen.

A partir del capítulo 7 se hace un compendio de los resultados obtenidos a partir de las pruebas realizadas con el modelo funcional del sistema. Así el capítulo 8 contendrá la justificación para los resultados anteriores y el alcance de los mismos. Con toda la información obtenida, se harán propuestas para los trabajos futuros que se pueden generar a partir de este modelo y algunos de los pasos a seguir a fin de consolidarlos.

Finalmente el capítulo 9 enlistan las diferentes vertientes que el proyecto puede tomar así como los pasos posteriores a seguir. El capítulo 10 presentará las conclusiones a las que se llegó con el proyecto, evaluando el cumplimiento de los objetivos con base en los resultados obtenidos.



1. Problemática en salud por falta de actividad física

El sedentarismo es una causa de enfermedad y hay una estrecha relación entre la actividad física (AF) y/o la forma física y/o mortalidad [1]. Varios estudios demuestran que las personas que realizan AF en la edad adulta son menos propensas a desarrollar enfermedades crónicas o degenerativas a temprana edad. Se calcula que los gastos médicos de las personas activas son treinta por ciento menos a los generados por las personas inactivas físicamente, además existen varias enfermedades ligadas a la falta de AF con repercusiones de diferente escala en la mortalidad de una persona. En este apartado, se analizarán las distintas enfermedades ligadas a la falta de AF, así como distintos programas para realizarla y nuevas alternativas para lograr vencer las barreras del sedentarismo en la era moderna.

a. Definiciones Importantes

Antes de tratar el tema de AF, hay algunas definiciones de interés que se requieren conocer para marcar el alcance actual del proyecto y el futuro del mismo. Se denomina **actividad física** a cualquier movimiento del cuerpo producido por el esqueleto y músculos que resulta en un gasto de energía. La energía gastada se mide en kilocalorías (kcal). Podemos categorizar la AF diaria en ocupacional, deportes, acondicionamiento físico, labores domésticas, u otras actividades. El **ejercicio** es un subgrupo de AF que es planeado, estructurado y repetitivo, que tiene como fin u objetivo intermedio la mejora o mantenimiento de una condición física. El ejercicio que se realiza en competición y se rige por reglas determinadas se conoce como **deporte**. La **condición o forma física** es un grupo de atributos que se relacionan con salud o habilidad. El grado en que una persona tiene estos

atributos puede ser medido con exámenes específicos. [2,6,7] De esta manera, aunque esta tesis se enfoca en la realización de AF, no excluye la oportunidad de lograr un acondicionamiento físico con software y hardware adicional al planteado en este documento.

b. Actividad física y enfermedades ligadas a la falta de ésta

Antes de empezar este apartado, es importante mencionar que la AF puede ayudar a disminuir la temprana aparición de ciertas enfermedades, sin embargo, no es sólo con ésta, si no la presencia de varios factores, como la alimentación balanceada, el descanso, el ambiente social y mental de la persona, entre otros. [3]

A lo largo de millones de años, los seres humanos se vieron obligados a realizar diversos tipos de AFs para conseguir alimento y sobrevivir en el mundo primitivo, desarrollando sus propios sistemas efectivos de producción y almacenamiento. A medida que más conocimiento fue acumulándose, el progreso científico y tecnológico ayudó a las personas, especialmente desde el siglo XIX, a tener una mayor cantidad de energía disponible con un menor esfuerzo físico.

Actualmente, la sociedad no favorece la AF y factores como la automatización de fábricas, sistemas de transporte y electrodomésticos han reducido la cantidad de AF necesaria diariamente, fomentando el sedentarismo.

03 ANTECEDENTES

Varios estudios a nivel global han demostrado que más de un 70% de la población de países desarrollados no realiza la suficiente AF como para mantener la salud y mantener un peso corporal adecuado. Varias de las tecnologías actuales traducen el movimiento como ineficacia y falta de productividad, por lo que las tendencias apuntan directamente al sedentarismo. Aún así, no es un secreto que realizar AF puede reducir el riesgo de padecer varias enfermedades y mejorar la salud mental como se explicará más adelante. [1]

b.1 Medición de Actividad Física

Como se mencionó en la definición de AF, ésta se mide en kilocalorías (kcal), sin embargo, al ser un gasto de las mismas, a lo largo del día, mes o año, y además depende de la intensidad del ejercicio realizado, varios especialistas emplean una unidad denominada MET (equivalente metabólico). Un MET

equivale a la cantidad de oxígeno consumido al estar sentado en reposo y es igual a 3.5 ml O₂ por kg de masa de cuerpo por minuto [4]. Es importante considerar la masa de la persona en cuestión. Cuando se emplean METs, se pretende una unidad general para todas las personas, basándose en la intensidad de la actividad que se realiza, y luego traduciendo esto a las calorías gastadas por la persona, tomando como referencia la siguiente definición (en vez de usar oxígeno, se facilita el cálculo al emplear calorías):

$$1(\text{MET})= 1(\text{kcal/kg}\cdot\text{h})= 4.184(\text{kJ/ kg}\cdot\text{h})= 1.162(\text{W/kg})$$

Partiendo de esto, los METS se van incrementando dependiendo de la acción que realice dicho cuerpo. A continuación se presenta una tabla de algunas AF comunes, y su equivalente en METs (Tabla 1).

Tabla 1. Ejemplo de cuantificación de las actividades mediante METs [1].jpg

Intensidad	Actividades en el hogar	Actividades Laborales	Actividades físicas
Muy Liviana (3 METs)	Ducharse, afeitarse, vestirse, cocinar.	Trabajar en la computadora o estar parado (vendedores).	Caminar lento en un sitio plano.
Liviana (3-5 METs)	Recoger la basura, ordenar juguetes, limpiar ventanas, pasar la aspiradora, barrer.	Realizar trabajos manuales en la casa o el auto (como arreglar un desperfecto).	Caminar con marcha ligera, andar en bicicleta en un sitio plano.
Pesada (6-9 METs)	Subir escaleras a velocidad moderada, cargar bolsas.	Realizar trabajos de albañilería (con instrumentos pesados).	Jugar fútbol, tenis, esquiar, patinar, subir un cerro.
Muy Pesada (> 9 METs)	Subir escaleras muy rápido o con bolsas pesadas.	Cortar leña, cargar elementos de mucho peso.	Jugar rugby, squash, esquiar a campo traviesa.

b.2 Enfermedades ligadas a la falta de actividad física

Como se ha mencionado antes, a medida que las personas dejan de realizar AFs, el incremento de la mortalidad empieza a ocurrir. A continuación se presentarán ejemplos de investigaciones que han dado valor a esta afirmación, así como la actividad recomendada por cada caso.

I) Enfermedades Cardiovasculares

Las enfermedades cardiovasculares a las que se refiere este apartado son enfermedad coronaria y arteriosclerosis (control de lípidos y lipoproteínas en la sangre gracias a la AF), infarto del miocardio o enfermedad coronaria (efectos antitrombóticos, aumento de la vascularización del miocardio y una mejor estabilidad de los impulsos eléctricos del corazón con AF) e hipertensión arterial (disminución de la presión debido a una buena condición física) [1]. Estudios realizados, por ejemplo, por la Sociedad Médica de Massachusets (2002) [5], muestran que las personas que tenían una buena condición física pero con riesgo de presentar enfermedades cardiovasculares, presentaban un menor riesgo de muerte prematura que personas sedentarias sin riesgo de enfermedades cardiovasculares. Según la ACSM (Colegio Americano de Medicina del Deporte) [1], los hipertensos físicamente activos y con buena condición física aeróbica tienen riesgos de mortalidad marcadamente menores que los hipertensos sedentarios y de pobre condición física.

Si la persona tiene riesgo genético de portar una enfermedad cardiovascular, se recomienda empezar a tener una rutina que involucre varias AF, de preferencia de 5 a 8 METs, o más si es posible. Si la persona ya padece alguna enfermedad cardiovascular, lo que se recomienda es una AF que lleve a un 45% del máximo de fuerza aeróbica (entrenamiento con ejercicios de intensidad intermedia), o bien entre 5-8 METs, con el fin de reducir las posibilidades de muerte prematura.[5]

II) Diabetes Mellitus

En Estados Unidos, se ha llegado a valorar la incidencia de hábitos sedentarios como responsable de 2% de las muertes por diabetes tipo II. La manera de evitar esto mediante actividad física implicaría una modificación a la composición corporal (aumentar masa muscular y disminuir el porcentaje de grasa), además de facilitar la entrada de glucosa a la célula, aumentando la sensibilidad de los receptores a la insulina. Por ello, se recomienda empezar con la AF al inicio de la enfermedad, antes de requerir insulina. Para este tipo de diabetes se recomienda realizar actividades aeróbicas (montar bicicleta, nadar), pero estudios recientes han mostrado hasta un 72% de reducción de medicación diabética al realizar ejercicios de fuerza. Para la diabetes tipo I, hay que tomar medidas más específicas, ya que se trata directamente con insulina, y el esfuerzo en sí puede llevar a una hipoglucemia, por lo que un plan dietético debe acordarse con el médico.[1]

III) Cáncer

Bien es conocido el cáncer como una de las principales causas de muertes en el mundo. La AF puede prevenir el desarrollo de tumores al mejorar la función inmunitaria, la alteración de la síntesis de la prostaglandina, el mantenimiento de los niveles hormonales o la disminución en el tiempo de tránsito digestivo de alimentos, ayudando al movimiento gastrointestinal. Estudios en específico de cáncer de colon, han favorecido la disminución de padecerlo al realizar actividades de intensidad moderada (4-5 METs). Para terminar, el cáncer de mama en mujeres postmenopáusicas se disminuye su incidencia si se han mantenido activas a lo largo de sus vidas, teniendo más casos de este cáncer en mujeres sedentarias. [1]

IV) Obesidad

El aumento de peso ocurre cuando una persona tiene un aporte calórico mayor al que consume. La obesidad es el resultado de una mala alimentación aunada a la falta de movimiento de la persona. Aunque existen personas realizando ligeras dosis de AF, si no se controla la dieta de la persona, es poco eficiente este movimiento. La obesidad por sí sola, aumenta el riesgo de padecer distintas enfermedades, como diabetes tipo II, cáncer de mama postmenopáusico, enfermedades cardiovasculares, hipertensión, artritis en las rodillas, dolor de espalda y otras. Es por esto, que se requiere un aumento de AF en personas con obesidad, con el fin de bajar el porcentaje de masa grasa de la persona, y prevenir futuras mortales enfermedades. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), existe un claro riesgo de sobrepeso si el nivel de actividad física (LAP) no es superior a 1.75 (5 METs) (Figura 1). [1]

V) Síndrome Metabólico

El síndrome metabólico es una asociación de problemas de salud causados por la combinación de factores genéticos y factores asociados al estilo de vida, como sobrealimentación y falta de AF. Tener un exceso de grasa ayuda a la insulinoresistencia, aunque esto puede ser genéticamente predispuesto. Aún no se ha detectado la influencia de la AF para combatir este problema, sin embargo, se han realizado distintos estudios, como el Heritage, en el cual 621 sujetos con síndrome metabólico, sedentarios y sin enfermedades crónicas se sometieron a 20 semanas de ejercicio aeróbico, donde al final 32 de ellos dejaron de estar incluidos en la categoría, y varios de ellos tuvieron un descenso de presión arterial y triglicéridos en sangre. [1]

VI) Salud ósea y muscular

La falta de AF puede traer consigo la pérdida de masa ósea. Estudios demuestran, que mientras menos activa es una persona, la fragilidad ósea es más grande, aumentando el riesgo de fracturas, siendo la causa una desmineralización ósea, la cual aumenta mientras se va incrementando la edad. Se recomienda por ello tener una AF moderada a lo largo de la vida en general, siendo directamente beneficiosa en varias áreas de nuestro cuerpo que requieren sostén. Aunado a una salud ósea, está la muscular, ya que realizar AF ayuda a formar masa muscular en huesos que no tienden a soportar cargas directas, y por lo tanto, con mayor riesgo de descalcificarse. En resumen, si se realiza AF y estimula el desarrollo de distintos músculos, mayor parte del esqueleto se encontrará protegida de pérdida de masa, y será menos probable sufrir lesiones que puedan afectar temporal o permanentemente la movilidad de la persona, además, si incluimos varios factores de aislamiento y abandono de personas mayores, como la dependencia a otros, realizar AF y mantenerse independientes la mayor parte de su vida, es una medida de repercusión positiva en la salud mental del adulto mayor. [1]

VIII) Salud mental

Se puede relacionar la actividad física con el bienestar psicológico de la persona, con aspectos como calidad de vida, reducción del estrés, cambios de estados emocionales y de ánimo, mejora del autoconcepto, descenso de niveles de ansiedad y depresión. Al realizar AF, se experimentan sentimientos de satisfacción con la vida, familia y trabajo. Ejemplos de esto son realizar actividades que estimulan el desarrollo muscular (pesas), las cuales ayudan a percibir positivamente la imagen corporal y el incremento de la autoeficacia física (creencia en capacidad para realizar tareas específicas). Otros estudios han demostrado que las personas que van disminuyendo la AF que realizan tienden a sufrir más episodios de depresión que los que se mantienen constantes o incluso incrementan su AF. Si las personas con depresión, explica el estudio, son puestas a realizar AF moderada (4-5 [METs]) por 30 minutos al día, en 10 días se verán mejoras significativas contra esta depresión. De la misma manera ocurre con la ansiedad. Por lo tanto, tener un nivel de AF apropiado en la rutina diaria de las personas, impacta directamente de manera positiva en la calidad de vida de las mismas. [1]

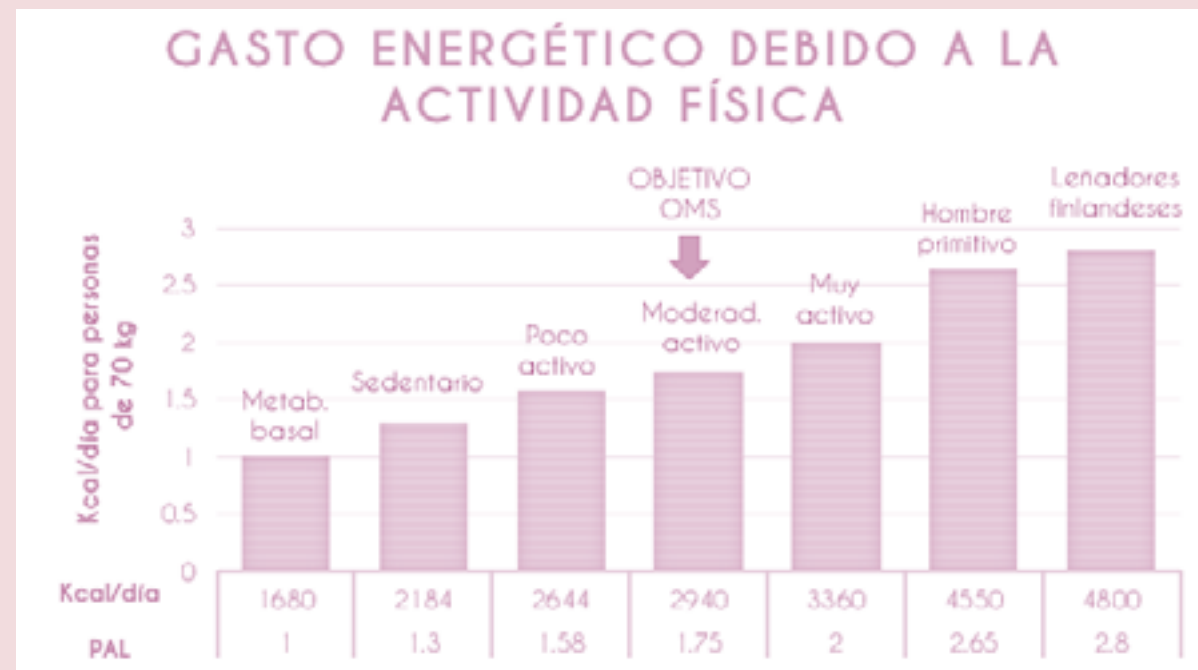


Figura 1. Nivel de actividad física según la OMS (1).PNG

VII) Osteoporosis

Ejercicios de resistencia han demostrado tener mayor efecto en conservar la densidad ósea. Un estudio que implicaba a mujeres con osteoporosis postmenopausica reveló que un programa de entrenamiento intensivo de dos años (más de 9 [METs]) era efectivo en la disminución de la pérdida ósea. Por lo tanto, esta evidencia concluye el impacto positivo en la salud ósea y lucha contra osteoporosis de la AF regular. [5]

c. Programas de actividad física

La actividad física, aunque bien puede disminuir la mortalidad en la edad adulta, es un hábito que debe empezar a formarse desde la edad temprana, de manera que se vuelva un acto natural a lo largo de la vida del individuo, y sea más sencillo para el mismo continuar con ella en una edad avanzada. Algunas recomendaciones útiles para lograr un nivel de AF benéfico, pueden ser como las presentes en la Declaración de consenso de Québec sobre Actividad Física, Salud y Bienestar [1], las cuales incluyen:

Las actividades deberían:

- Ser más que una carga habitual.
- Requerir un consumo mínimo de 700 [kcal/semana].
- Realizarse con regularidad y si es posible, diariamente.
- En la práctica, un ejercicio rítmico continuado como andar a paso ligero durante 20-30 minutos al día sería suficiente para cumplir estos requisitos en la mayoría de los adultos.

Para conseguir unos beneficios máximos sobre la salud, las actividades deberían:

- Incluir algunos periodos de actividad vigorosa.
- Incluir variedad de actividades.
- Afectar a la mayor parte de los músculos corporales, incluyendo los del tronco y la parte superior del cuerpo.
- Suponer un gasto de hasta 2000 [kcal/semana].
- Mantenerse toda la vida.

Las recomendaciones generales de AF estiman realizar diariamente actividad moderada a lo largo de al menos 30-60 [minutos al día]. Si esto no es posible de manera continua, conseguir los minutos diarios puede dividirse en pequeños intervalos de 10-15 [minutos], en actividades como caminar rápido para llegar a algún lugar, subir escaleras, etc. Sin embargo, no siempre realizar actividades que exigen esfuerzo es prudente para todas las personas, por eso, se recomienda que siempre que se vaya a empezar algún tipo de actividad de manera continua, sobretodo si se padece alguna enfermedad, sea consultado con un especialista médico, para garantizar que la actividad a realizar será adecuada con el estado físico y de salud de la persona en cuestión. [1]



Figura 2. Programas de actividad física como medida contra el sedentarismo en México [8].PNG

a) Actividades que pueden ser facilitadas mediante incorporación con tecnología

Se ha mencionado previamente que la era moderna ha incorporado tecnologías y avances científicos que han disminuido la cantidad de actividad física que realizan las personas, sobre todo en países desarrollados. Aún con el gran avance tecnológico moderno, los avances médicos han permitido conocer mayores efectos secundarios de la falta de AF, como se vio previamente en la mortalidad por sedentarismo. Es por ello que actualmente se ha apostado por crear tecnologías que permiten mayor movimiento para los usuarios de las mismas, aunando el crear experiencias entretenidas para mejorar el desempeño de los usuarios, como se verá más adelante en el apartado de gamificación. Grandes áreas tecnológicas, como la industria de videojuegos, fitness, publicidad o entretenimiento, han optado por crear experiencias a partir del movimiento del cuerpo, no solo con el fin de mejorar la salud de los usuarios, si no también para intervenir en la reincidencia de los mismos al experimentar de manera natural algunas de las actividades que se plantean con dichas atracciones. Algunos ejemplos de esto son consolas de videojuego como Wii (Nintendo), Xbox + Kinect (Microsoft), aditamentos para juegos como Vive (HTC), Playstation Move (Sony), máquinas de ejercicio como Life Fitness. Más adelante se hablará a detalle de estos dispositivos, sin embargo, es importante reconocer que existen soluciones tecnológicas a la falta de AF, y que por lo tanto, es posible desarrollar herramientas que brinden a las personas más oportunidades de cumplir con el tiempo estipulado de movimiento al día para lograr mantener un buen estado de salud a lo largo de la vida del individuo.

2. Gamificación



En el apartado anterior se evaluó la actividad física como un medio de prevención de enfermedades y herramienta para combatirlas si ya se poseen, sin embargo, como fue planteado, esta actividad debe realizarse de ser posible diariamente y ser un hábito que se tenga durante toda la vida. Aunque las facilidades que presenta vivir en una era avanzada, con soluciones fáciles e incluso remotas a problemas que antes requerían la presencia física de la persona arriesgan la cantidad de AF realizada en la rutina diaria, no se puede permitir que la tecnología sea usada como una barrera contra la salud de las personas. Algunas maneras de realizar AF que no necesariamente implican acciones para poder subsistir, y sin embargo estimulan al individuo a moverse, pueden ser los juegos. Este apartado analizará qué representa la gamificación y cómo puede influir en las personas para motivarlas a realizar AF de manera cotidiana y estimulando de manera positiva el deseo de moverse.

a. Definición

Existen juegos que tienen una intención más allá del puro entretenimiento, este tipo de "juegos serios" tienen un propósito explícito y pensado.[9] Se entiende por gamificación al empleo de mecánicas de juego en entornos y aplicaciones no lúdicas con el fin de potenciar la motivación, la concentración, el esfuerzo, la fidelización y otros valores positivos comunes a todos los juegos. Gracias a la gamificación podemos ampliar la inteligencia, empleando nuevas herramientas para conocer y aprender. [10] Cuando gamificamos, estamos usando un "Diseño enfocado en humanos", en vez de un "Diseño enfocado a la función" [11], por lo que la gamificación pretende involucrar a la persona dentro de las aplicaciones que la usan.

b) Taxonomía de la Gamificación

Existen diversas áreas que emplean la gamificación, como el desarrollo personal, salud, investigación, ciencias sociales y por supuesto fines corporativos. [9] En el Anexo 1, Tabla 1, se puede encontrar la Taxonomía de la Gamificación, donde podemos ver distintas áreas de conocimiento y cómo emplean la gamificación para distintas actividades. [12] Es importante notar la frecuencia de incorporación de gamificación, pues ésta despierta un interés es el jugador que puede ser aprovechado para la mejora continua en estas áreas.

Dentro de los componentes de diseño de juego más empleados en el área de salud, que es a donde pertenece a AF, se encuentran los mostrados en la Tabla 2 [13]. Cabe mencionar que la mayoría de las aplicaciones actuales de gamificación se realizan digitalmente, por lo que los componentes se prestan a ser manejados en el contexto de videojuegos, sin embargo, la gamificación no excluye juegos físicos.

Varios juegos pueden plantearse para mantener un régimen de salud en las personas. Un problema frecuente en pacientes que requieren un tratamiento no controlado dentro de un hospital, es la falta de control del mismo, por lo que se han creado algunos juegos para mantener motivados y constantes a dichos pacientes, e incluso dichos juegos pueden emplearse dentro del hospital donde se realice el tratamiento.

c) Efectos psicológicos de la gamificación

Ya se han analizado las distintas ramas donde la gamificación puede aplicarse, ahora se explicarán las razones más relevantes por las que incorporar técnicas de gamificación puede ayudar a la reincidencia en actividades físicas además de los efectos que algunos elementos pueden tener en el jugador. La **motivación** se define como nivel de compromiso

Tabla 2. Componentes recurrentes al gamificar soluciones para salud.png

Contexto	Componentes
Salud	Recompensa: Puntos e insignias
	Etapas
	Obstáculos
	Retroalimentación
	Retos

en relación con el alcance de un objetivo predefinido y se considera uno de los principales objetivos de la gamificación. De igual manera, se define el compromiso como la determinación inherente para alcanzar una meta, lo cual induce a los participantes a persistir en los objetivos que persiguen, siendo más difícil descuidarlos, y consta de tres componentes: el conductual, emocional y el cognitivo. Existen motivadores fundamentales, tales como placer, esperanza, miedo, rechazo y la aceptación social. Por lo tanto, se puede incrementar la motivación aumentando o disminuyendo dichas variables. [13]

Existen dos tipos de motivaciones, la **extrínseca**, proveniente de fuera del individuo, que se refiere al desarrollo de una actividad (mecánica), con el fin de alcanzar un resultado (dinámica), sin importar si la actividad lo está motivando intrínsecamente (el fin justifica los medios), mientras que en la **motivación intrínseca** viene del interior del individuo, éste realiza una acción porque es gratificante en sí misma, tal como el altruismo, la competencia, la cooperación y la colaboración. [13]

Cuando las recompensas extrínsecas se detienen el compromiso cae, ya que se crea una dependencia ante el estímulo externo, donde para seguir obteniendo resultados los participantes deben estar recompensados en todo momento. En contraste, algunos componentes de juego (tablas de clasificación y desafíos) en contextos específicos pueden movilizar la motivación de extrínseca a intrínseca aumentando la adquisición del logro y el compromiso a través de la autodeterminación individual o colectiva (participación social). En definitiva, para aumentar la participación y la colaboración se debe combinar la motivación intrínseca con la extrínseca. [13]

Tras un largo camino e investigación se han detectado algunos puntos a considerar cuando se desarrollan aplicaciones gamificables que pueden motivar al jugador a continuar con el juego, como explican Michael Sailer, et al. [14] y Yu-Kai Chou [11]:

Relaciones: Conexión con otros. Los tableros de puntuaciones permiten a los juegos individuales hacer referencia a otros jugadores y crear una sensación de conexión.

Autonomía: Tener el control de nuestras acciones. Aprendiendo y manipulando los resultados dentro del juego.

Competencia: Sentirse útil y confiado mientras se está en el juego. Conseguir que a medida que se juegue, los errores disminuyan y la eficiencia del jugador crezca.

Satisfacción por logro: Sentimiento positivo que surge de vivir una experiencia cuya expectativa fue superada. Poder superar diversos obstáculos aumenta el autoestima del jugador.

Fortalecimiento: Percepción del usuario respecto a su propio desempeño, basándose en retroalimentación. Mientras más practicas el juego, tu

habilidad aumenta dentro del mismo.

Impaciencia: Necesidad de poseer aquello que no se tiene, pero otro disfruta. Observar a otros tener resultados favorables estimula que desees lo mismo, impulsando tu compromiso con el juego.

Curiosidad por lo impredecible: El grado de interés que demuestra el usuario al interactuar con los juegos, sobretodo si algunos elementos no son esperados. Añadir elementos nuevos continuamente favorece la reincidencia y dedicación en el juego.

Sentimiento de pérdida: El usuario intenta evitar que algo negativo ocurra mientras juega, por lo que se compromete más con el juego. Tratar de no perder es un reto que evoca un mejor desempeño en el juego.

Otro efecto importante a considerar, es la manera en cómo el jugador decide o no acercarse a un juego, ya que desde su perspectiva aprecia la estética, luego percibe la dinámica y finalmente la estructura mecánica del mismo, por lo que aún incorporando los puntos anteriores, es importante que el primer acercamiento ocurra desde que se percibe visualmente el juego. [13]

En pocas palabras, gracias a la incorporación de mecánicas de juego en actividades rutinarias o habituales, se está mostrando una mayor motivación para la realización de ellas, lo cual puede ser una gran apuesta para realizar actividad física, y empezar a fomentar la realización de la misma por al menos 30 [minutos] al día.

3. Tecnologías emergentes

Se mencionó en el apartado de actividad física cómo el avance tecnológico nos ha llevado al sedentarismo, sin embargo, tras avances médicos, se conoce la necesidad de movimiento físico para tener una salud óptima. Aunque la falta de motivación para realizar AF es un problema serio, a veces sólo se tiene una recompensa a largo plazo, lo que puede ser el desencadenante de este gran fenómeno de inactividad al no ver resultados inmediatos. Varias tecnologías están empezando a surgir en contramedida a esto, siguiendo la famosa enseñanza de Sun-Tzu en El Arte de la Guerra "Si conoces a tu enemigo, y te conoces a tí, nunca estarás en peligro durante 100 batallas" [15], se propone emplear el interés en la tecnología e innovación para contrarrestar el mismo sedentarismo que otros avances han incorporado en la mayoría de la población del mundo, creando dinámicas con resultados, si no inmediatos sobre la salud, si visibles y medibles de otras maneras, estimulando el desempeño del jugador e incluso creando reincidencias por los pequeños logros, ahora visibles por los mecanismos del mismo juego. En este apartado se dará un panorama de las soluciones tecnológicas a la inactividad física, que empleando mecánicas de gamificación, logran hacer que las personas busquen maneras de moverse y cumplir con una pequeña cuota diaria para mantenerse saludables.

a)Definiciones

El término Tecnologías Emergentes (TE) alude a nuevas tecnologías con potencial de demostrarse como tecnologías disruptivas. Constituyen innovaciones en desarrollo que en un futuro cambiarían la forma de vivir y de producir, brindando mayor facilidad a la hora de realizar tareas, o haciéndolas más seguras. Incluyen tecnologías discontinuas derivadas de innovaciones, así como tecnologías más evolucionadas formadas de la convergencia de ramas de investigación antes separadas. [16] Son ejemplos de TE para este 2017 los camiones autónomos, los pagos a través del reconocimiento facial, ordenadores cuán-

tics, selfies 360°, entre otras, según el ranking anual del MIT. [17] A continuación se reproduce el Ciclo de las Tecnologías Emergentes de Gartner [18] (Figura 3), Gartner es una empresa consultora sobre nuevas tecnologías, entre cuyos servicios está el análisis de la investigación y la información difundidas sobre las tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Cada año publica el informe Emerging Technology Hype Cycle, destinado a evaluar el grado de madurez, las perspectivas de negocio y la dirección futura de casi dos mil tecnologías y tendencias.

b) Tecnologías para hacer ejercicio mediante el juego

Como se analizó en el apartado de gamificación, existen juegos serios encargados de plasmar un valor en el jugador. Los juegos pueden variar y ser interpretados de distintas maneras, aquí se presentarán algunos ejemplos de tecnologías dedicadas a ayudar a realizar AF mediante dinámicas lúdicas, además de brindar una breve semblanza a la principal industria que explota el juego tecnológico actualmente: los videojuegos.

b.1 Videojuegos

El mundo de los videojuegos es un mundo lleno de aventuras, diversión, personajes, personas, títulos, consolas y estadísticas. Por ejemplo, un dato interesante es que la edad del jugador promedio es de 32 años, lo que indica que los niños llevan esta costumbre hasta la adultez. Otra estadística que llama la atención es que conforme pasan los años la edad promedio sube en vez de bajar, de manera que dentro de 5 años es probable que la edad promedio sea de 35 a 40 años. Actualmente el 42% de los jugadores son de sexo femenino, o sea 2 de cada 5. Esto en gran parte debido a la consola Wii que es la favorita de las mujeres. Por ejemplo, el 80% de las mujeres prefieren la Wii sobre cualquier otra consola, mientras que en los hombres la cosa está bastante dividida en un 41% que se decanta por la Wii versus un 38% que prefiere el Xbox. Los videojuegos además

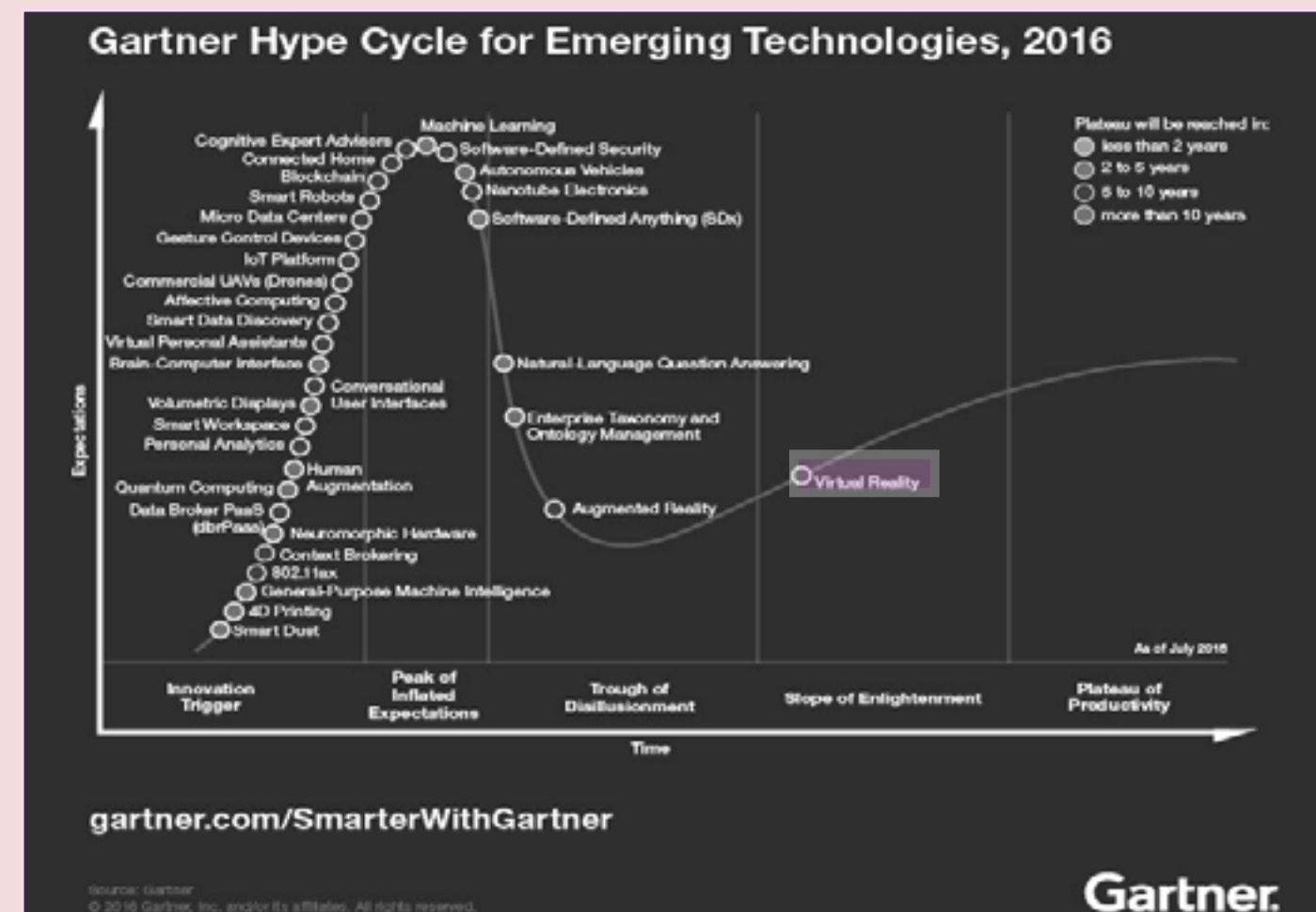


Figura 3. Ciclo de las tecnologías emergentes de Gartner.jpg

enseñan pensamiento crítico, resolución de problemas, colaboración y comunicación, ciudadanía digital y alfabetización TIC.[10]

Existen distintos videojuegos creados con el fin de motivar el movimiento de los usuarios, a continuación se mencionan algunos.

I. Exergaming

Exergaming o videojuegos para ejercitarse, irrumpieron por primera vez en 1999 con Dance Dance Revolution y llegó a su punto culminante a finales de 2007 con el Wii Fit de Nintendo (Figura 4). Hoy, los entrenadores pueden interactuar con sus clientes en tiempo real a través de clases individuales o grupales por medios virtuales como Skype o FaceTime y de otros sitios de fitness como Wello y EMG Live Fitness. Exos, una compañía que diseña programas de salud y desempeño para atletas profesionales y amateur, empleados de empresas de gran tamaño y la milicia, también utiliza videos de entrenamiento en línea y dispositivos para monitorear la actividad de

cada persona. [19]

II) eSports

Oficialmente, los eSports (Electronic Sports), son competencias de videojuegos individuales o en equipo que requieren una serie de habilidades físicas y mentales que incluyen varias categorías y géneros que van desde juegos de peleas hasta títulos de estrategia o simuladores deportivos. [21]



Figura 4. Carátula promocional de Wii Fit en Europa [20].PNG

b.2 Wearables y digitalización del desempeño

Por definición general, se considera wearable a cualquier prenda o accesorio que incluyan sensores y programas de cómputo que puedan vincularse a una red [22]. La mayoría de los fabricantes (por ejemplo, Fitbit, Jawbone y Nike) subrayan el potencial de sus dispositivos para convertirse en un "todo en uno" (como puede verse en la Figura 5, modificada de [22][24]) cuyas plataformas son usadas para mejorar el rendimiento físico y la formación de hábitos positivos.

La mayoría de los programas que usan los wearables incluyen una evaluación del usuario, es decir, los participantes introducen algunas de sus características tales como su peso, estatura, edad y sexo, mismos que sirven para determinar su BMI (Índice de masa corporal) inicial [23]. A continuación, los programas utilizan una gama de técnicas

de persuasión digital y estrategias de influencia social para aumentar el compromiso de los usuarios para que alcancen el peso deseado o incrementen el número de minutos que dedican a cierta actividad física por semana, usando programas de seguimiento que promuevan cambios de comportamiento. Algunas de estas técnicas de persuasión incluyen la gamificación de la actividad con las competiciones y desafíos, haciendo uso de los comentarios posteados por los usuarios sobre su desempeño, utilizando principios de influencia social, o refuerzos en forma de recompensas virtuales por los logros.[24]



Figura 5. Ejemplos de Wearables comunes actualmente y componentes que incluyen.PNG

b.3 Máquinas para fitness

Para 2015, El Universal publicó una nota donde remarcaba que los gimnasios que poseían máquinas con tecnología habían incrementado su número de usuarios en un 20% y por tanto la retención, es decir que no dejarán de ir, aumentó un 25%. [25] Así es como la firma estadounidense de aparatos de ejercicio Precor, con más de 30 años en el mercado, presentó su nueva línea de equipos inteligentes que integran redes sociales, contenidos multimedia, valoraciones virtuales y una serie de herramientas para mantener al usuario conectado e informado en todo momento mientras se ejercita, ya que mientras entrenan, brinda un track en tiempo real de cuáles son los objetivos y cuánto falta para lograrlos. [26]

En México ya hay una gran cantidad de cadenas de gimnasios que incorporan esta tecnología, como Sport City y Sport World.

c. Realidad Virtual

En lo que a la Realidad Virtual (VR, por sus siglas en inglés) concierne, ésta fue catalogada como una TE en 2014, con el despegue de Oculus Rift [27]. En la Figura 3 se muestra que la VR superará la curva de desilusión, quedando como una tecnología vigente dentro de 5 a 10 años. Entre varias de las aplicaciones actuales que se le dan a ésta, podemos encontrar simuladores médicos, videos 360° y juegos. No es una sorpresa que se utilice esta tecnología para proponer soluciones de AF y por la gran capacidad y proyección de oportunidades que ofrece, se ahondará en especial en esta TE, dando un corto pero amplio panorama de lo que es, las áreas que comprende y algunos ejemplos de aplicaciones específicas para AF.

c.1 Qué es y qué engloba

El diccionario Merriam-Webster define la Realidad Virtual como un ambiente artificial que se experimenta a través de un estímulo sensorial (como la vista o el oído) dado por una computadora y en el cual las acciones de uno mismo parcialmente determinan lo que ocurrirá en el ambiente. [28] Existe un término conocido como "VR inmersiva", donde los usuarios se sienten completamente inmersos en un mundo artificial y tridimensional generado por una computadora. Cuando se simula un ambiente, el enfoque está en reproducir los aspectos lo más fielmente posible para crear la ilusión de una realidad alternativa. Esto puede ocurrir no solo con imágenes 3D, sino también con la incorporación de sonidos 3D, olores artificiales y retroalimentación de fuerza (tecnología que provee de sensación de tacto). El mundo digital resultado puede ser tanto una representación de objetos del mundo real como de la imaginación del diseñador. Ejemplos de este tipo de simulación incluyen recorridos virtuales y juegos de VR. [29]



Figura 6. Ejemplos de Máquinas para fitness interactivas.PNG

Dentro de la clasificación de VR podemos encontrar diversas variantes como se mencionan a continuación [30].

Realidad Aumentada (AR). Se superpone una capa de gráficos por computadora en imágenes del mundo real para resaltar algunas características y mejorar el entendimiento de algo.

Mundos espejo. No son experiencias en primera persona, si no que el usuario puede ver su propia imagen digitalizada interactuar con otros objetos dentro de un mundo virtual.

Mundos cueva. Son espacios especiales creados para brindar al usuario una sensación de libertad. Se usan headsets para ver en 3D lo que se ocurre en el espacio. Como hay dispositivos de rastreo en el cuerpo del usuario, las imágenes se mueven con él.

Telepresencia/Teleoperación. Son tecnologías que te permiten estar en lugares remotos aunque realmente no te encuentres ahí. La teleoperación funciona controlando maquinaria automatizada desde locaciones lejanas, mediante redes computacionales.

c.2 La inmersión dentro de la Realidad Virtual

Aunque los límites entre VR inmersiva y no inmersiva empiezan a desaparecer, se pueden resumir las características de una VR inmersiva de la siguiente manera [29]:

- Vista referenciada a la cabeza, brindando una interfaz natural para la navegación en ambientes virtuales.
- Vista estereoscópica para mejorar la percepción de profundidad y sentido de espacio.
- El mundo virtual se presenta en escala relacionada adecuadamente con el tamaño humano.
- Interacciones realistas con objetos virtuales a través de un guante háptico o algún dispositivo similar.
- Tecnologías no visuales como audibles, hápticas u olores artificiales para incrementar la ilusión de estar completamente inmerso en el mundo artificial.

c.3 Dispositivos de Realidad Virtual

Existen varios dispositivos que sirven para poder reproducir experiencias de VR. La mayoría se enfocan en estimular la vista y el oído (estereoscópicos), pero varios dispositivos adicionales pueden sincronizarse con éstos para lograr nuevos niveles de realismo, como dispositivos de rastreo de posición y orientación. Existen algunos equipos creados especialmente para poder vivir estas experiencias, además de algunos dispositivos básicos para el estímulo visual conocidos como headsets. [31][32][33] A continuación se mostrarán algunos de ellos.

1. Google Cardboard.

Producto de bajo costo que permite al usuario experimentar con la VR, después de todo, el teléfono será el que deba contener todos los sensores giroscópicos y sistemas de posicionamiento necesarios para realizar un seguimiento preciso de los movimientos de la cabeza (Figura 7).



Figura 7. Ejemplo de Cardboard.PNG

2. Homido Mini VR Glasses.

Headset compatible con Smartphones, cuya discreción permite que el usuario pueda llevar la realidad virtual en su bolsillo (Figura 8).



Figura 8. Homido Mini VR Glasses.PNG

3. Samsung Gear VR.

Control portátil compatible solo con los modelos Samsung galaxy que responde de manera natural a los movimientos de la cabeza, desde girar hasta apuntar, haciendo más intuitivas las experiencias virtuales (Figura 9).



Figura 9. Samsung Gear VR.PNG

4. Avegant Glyph.

El primer teatro personal, del tamaño de unos auriculares, permite al usuario la reproducción de videos 360°, viviendo la experiencia del teatro en casa (Figura 10).



Figura 10. Avegant Glyph.PNG

5. Oculus Rift.

Este headset se conecta a los puertos HDMI y USB del ordenador y realiza un seguimiento de los movimientos de la cabeza para proporcionar imágenes 3D en sus pantallas estéreo (Figura 11). Compatible únicamente con el sistema operativo de Windows.



Figura 11. Oculus Rift.PNG

6. Microsoft HoloLens.

Dispositivo que combina VR con AR, desplegando imágenes "holográficas" (Figura 12).



Figura 12. Microsoft HoloLens.PNG

7. HTC Vive

Sistema de realidad virtual creado por HTC y Valve. Vive permite realizar interacciones reales y experiencias de inmersión gracias a gráficos sorprendentes, retroalimentación háptica HD, seguimiento de movimiento absoluto de 360 °, cámara frontal y notificaciones desde un teléfono en VR. (Figura 13)



Figura 13. HTC Vive.PNG

8. Sony Playstation VR.

Headset para los propietarios de PlayStation. Cuenta con múltiples dispositivos de seguimiento de movimiento que funcionan con la consola PS4 (Figura 14).

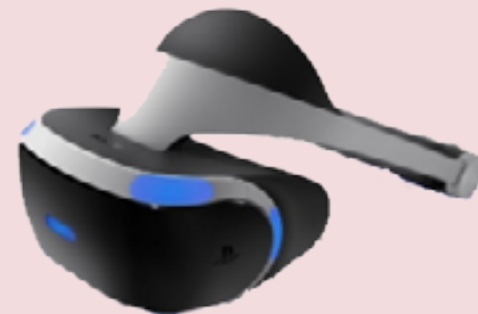


Figura 14. Sony PlayStation VR.PNG

9. Google Daydream View.

Google afirma que View es un 30% más ligero que otros headsets móviles en el mercado. Por ahora sólo es compatible con un número limitado de teléfonos, incluido el nuevo teléfono Pixel de Google (Figura 15)



Figura 15. Google Daydream View.PNG

10. Fove O.

Trae consigo un seguimiento visual interactivo. Dentro del headset hay un sensor de infrarrojos que el usuario controla con sus ojos; ofreciendo un nuevo método de control y una ventaja sobre sus competidores cuando se trata de realismo (Figura 16).



Figura 16. Fove O.PNG

11. Razer OSVR HDK 2.

Razer facilita la vida a los desarrolladores para que realicen aplicaciones para hardware VR, sin limitaciones técnicas (de software y hardware) ya que es un Open-Source Virtual Reality (OSVR), un nuevo estándar en juegos de VR para impulsar la experiencia de juego VR (Figura 17).



Figura 17. Razer OSVR HDK 2.PNG

12. Merge.

Primer controlador de movimiento manual hecho específicamente para VR móvil. Utilizando la tecnología Bluetooth, permite a los usuarios interactuar con el mundo virtual utilizando sus manos. Merge VR Goggles son compatibles con muchos iOS y teléfonos inteligentes con Android (Figura 18).



Figura 18. Merge 360.PNG

13. Retrack Utopia 360°.

Headset de realidad virtual que brinda al usuario una experiencia sensorial a través de películas 3D, juegos simulados y aplicaciones de VR de 360 grados (Figura 19).



Figura 19. Retrack Utopia 360.PNG

14. Windows VR 10.

Anunciado para mitades del 2017, con un diseño de diadema, con dos cámaras de detección de profundidad en la parte delantera para el seguimiento de escala de la habitación sin sensores adicionales y posiblemente tendrá aplicaciones multiplataforma para Windows VR y HoloLens (Figura 20).

Si bien se mencionan algunas de las marcas más relevantes en cuanto a VR se refiere, cabe mencionar que existen un sin fin de headsets disponibles en el mercado y cuyas compañías siguen invirtiendo en sus mejoras.

c.4 Estado del Arte

La VR como opción para la AF es una realidad. Existen actualmente muchos dispositivos que crean esta sinergia para poder motivar a los usuarios a moverse, empleando claramente la gamificación. Hay varias experiencias que ya están a la venta o en proceso de venderse, que ofrecen algunos niveles de inmersión para el usuario, aunque aún presentan algunas carencias por el estímulo sensorial que brindan, o bien, la falta de interacción dentro de los ambientes. Ahora hablaremos de algunos de ellos.

Icaros [35]

Presenta el concepto de VR activa, es decir, poder hacer ejercicio y jugar en este dispositivo que te permite simular estar volando, nadando o manejando. Brindan una estructura donde el usuario está suspendido solo sujetándose de brazos y piernas (se trabaja la parte media del cuerpo), logrando un gran estímulo de los músculos abdominales (Figura 21). Dicha estructura además brinda dos grados de libertad permitiendo dos tipos de giros (pitch y roll), es ajustable al tamaño del usuario y además manualmente se puede ajustar la resistencia que desea para el giro. Es compatible con Samsung Gear VR, pero próximamente lo será con Oculus Rift y HTC Vive.



Figura 20. Windows VR 10 (34).PNG



Figura 21. Icaros.PNG



Figura 22. Interfaz de VR Boxing Workout.PNG

Aun así, no siempre es requerido un hardware específico, por ejemplo, con el headset HTC Vive y sus controles complementarios se puede practicar deportes, como es el caso del juego lanzado en la plataforma Steam, *VR Boxing Workout*, en el cual los usuarios pueden vivir una experiencia de entrenamiento en este deporte (Figura 22) [36].

Actualmente existen dispositivos para simular andar en bicicleta, mismos que permiten al usuario tener una inmersión a través de Oculus Rift, HTC Vive, entre otros, los cuales están centrados en recorridos que incluyen paseos o carreras virtuales:

Holodia [37]

Es una compañía que ha apostado por hacer del fitness una actividad más emocionante sacando un software compatible con aparatos de ejercicio, Holofit, combinando dicho software con un headset HTC Vive (Figura 23).



Figura 23. Holofit usado en distintos dispositivos.PNG

VirZoom

Detecta los cambios de dirección y cuenta con sensores para monitorear la frecuencia cardíaca y monitoreo de calorías [38](Figura 24). VirZoom es actualmente compatible con PlayStationVR, HTC Vive y Oculus Rift, los cuales no son incluidos en el



Figura 24. VirZOOM Bike.PNG

BKool [39]

(Figura 25) es un rodillo interactivo y simulador 3D para ciclismo, el cual recrea cualquier ruta ciclista en el mundo, además de simular el clima en las mismas. Ofrece adaptarse a cualquier tipo de bicicleta, y el uso del simulador en bicicletas estáticas o rodillos de otras marcas. Cuenta con un control magnético para reproducir las pendientes del simulador.



Figura 25. Rodillos BKool y ejemplos de interfaz.PNG

MoonCyclist Veloporter

Es una aplicación desarrollada para trabajar en conjunto con el sistema Veloporter (dispositivo de mantenimiento físico) que transmite información inalámbrica sobre el pedaleo del usuario mientras éste realiza un paseo sobre la luna (Figura 26) Los usuarios necesitan contar con una bicicleta estática y un dispositivo de realidad virtual para los teléfonos iPhone o Android [40].



Figura 26. Ejemplo de uso de MoonCyclist.PNG

The Ebove [41]

se describe cómo un sistema de entrenamiento inmersivo que combina el ejercicio y los juegos. Su sistema genera movimientos reales que incluyen la inclinación ascendente/ descendente y hacia los lados de la bicicleta, dicha inclinación, la resistencia y movimiento en los pedales son correspondientes a los valores de las imágenes 3D de las pistas o rutas que son seleccionadas por los usuarios (Figura 27).



Figura 27. Bicicleta The ebove B01.PNG

Cabe resaltar que cada uno de los ejemplos anteriores, registran las estadísticas de los usuarios, con seguimientos de su actividad, progresos y compartiendo sus logros. Así mismo, algunos ofrecen la opción de multijugador.



04 JUSTIFICACIÓN:

REALIDAD VIRTUAL COMO OPCIÓN PARA EL EJERCICIO

La falta de AF es un problema que puede ser resuelto con la incorporación de nuevas tecnologías a nuestras actividades diarias. Dichas tecnologías, motivan a los usuarios mediante diversas mecánicas a volver a usarlas, por lo que una cultura de AF puede desarrollarse si se logra captar la atención del jugador lo suficiente.

Tecnologías como la VR, que empiezan a considerar al usuario y su salud, desarrollan día con día nuevas alternativas para resolver el problema de sedentarismo, creando retos, comunidades de usuarios, brindando información continua del desempeño en el juego, ambientes agradables, todo con el fin de estimular a las personas que no están acostumbradas a ejercitarse, a tomar el control de su futuro y empezar a moverse, de manera que si se logra una constante AF, puedan prevenirse enfermedades ligadas al pobre uso del cuerpo, y con ello, a un futuro limitado y agobiante.



La motivación parece ser la parte clave para lograr que aquellas personas sedentarias, tomen una actitud saludable, y es un objetivo de las TE, estudiar los diversos factores que pueden estimular a estas personas y llevarlos a la realidad, para poder ofrecer alternativas divertidas que disfruten las personas, al mismo tiempo que avanzan por un camino de salud y bienestar.

La VR es una solución que plantea vivir experiencias imposibles o inimaginables, como accionador a la motivación de las personas. Poder descubrir nuevas experiencias, vivir aventuras y hacer sentir al usuario parte de un mundo completamente nuevo y emocionante, por lo que el hecho de moverse queda en segundo plano si se compara con estar viviendo dicha experiencia, proveyendo al jugador no sólo de movimientos controlados y planificados para su salud, sino también un impacto positivo a su psique, al cumplir con las acciones requeridas para superar retos, y de esta manera, superarse a sí mismos.



05 OPORTUNIDAD

La falta de AF es una realidad que afecta a varias personas en el mundo, provocando serios problemas de salud. Una de las razones por las que se presenta es la vida moderna llena de soluciones rápidas que requieren poco esfuerzo por parte de las personas, lo cual convierte el movimiento en una actividad innecesaria; sin embargo el cuerpo humano está hecho para desplazarse y por sí mismo conseguir satisfacer sus necesidades básicas, como conseguir alimento y sobrevivir a diversos factores ambientales, por lo que no realizar dichos movimientos afecta directamente la salud. Aún cuando las personas son conscientes de las repercusiones del sedentarismo, la falta de costumbre aunada con la escasa necesidad de ejecutar acciones que requieran el cuerpo físicamente llevan a una casi inexistente motivación de practicar algún tipo de actividad física, por lo que encontrar una motivación es esencial para fomentar en las personas la naturaleza de incorporar AF en su vida cotidiana.

La inclusión de mecánicas lúdicas para conseguir atraer a las personas a realizar actividades es una apuesta que se está empleando actualmente en varias áreas de conocimiento, debido al estímulo psicológico que genera, por lo que es posible lograr la motivación buscada al aplicar gamificación para fomentar la AF cotidiana. Finalmente, la VR es una tecnología emergente que se considera parte del futuro tecnológico de los próximos años, por lo que la creación de aplicaciones con esta tecnología promete un impacto mayor en las personas, al poder considerarse como moda, agregando más motivación a los usuarios, además, la distracción que brinda para olvidar el tedio de estar estáticamente realizando una actividad es muy grande, ya que estimula di-

rectamente los sentidos, sumergiendo a las personas en una realidad ficticia en la que pueden tomar parte, creando más una experiencia que una necesidad de cubrir un tiempo de movimiento.

Otro aspecto importante que se puede cubrir con la propuesta de acción ante la falta de AF, es que si se desarrolla un dispositivo capaz de tomar información biométrica en tiempo real de una persona, no es imposible crear programas de entrenamiento más especializados que realicen una rutina específica (la cual estaría en sincronía con eventos dentro del juego) para garantizar la cantidad de METs que se está cubriendo con el tiempo de uso del dispositivo a diseñar, y ya no solo tener actividad física sino un sistema de acondicionamiento físico. Esta extrapolación puede extenderse incluso a otras áreas como rehabilitación. Este apartado se tratará más adelante en trabajo a futuro.

Otra oportunidad que puede notarse es la escasez de este tipo de tecnología en nuestro país, por lo que incluir VR en nuevos dispositivos es una manera de impulsar el desarrollo tecnológico y permanecer en la vanguardia con otros países.

Para terminar, aunque la tecnología puede volver más efectivas y productivas ciertas labores al disminuir la cantidad de esfuerzo que realizamos, también con tecnología podemos lograr balancear el movimiento físico perdido. No hay que ver a la tecnología como un enemigo a vencer, si no como una herramienta para mejorar la calidad de vida de las personas, y lograr facilitar algunas de las necesidades del día a día.

06 MATERIALES Y MÉTODOS

1. Selección del proceso de diseño

Como se analizó anteriormente, la Realidad Virtual es una tecnología emergente que si se emplea con técnicas de gamificación puede ayudar a mejorar la realización de varias actividades, incluida la actividad física. La premisa que se plantea en esta tesis, es que se pueden crear simuladores inmersivos que pueden sumergir al usuario en un mundo virtual dejando en segundo plano la actividad física.

Primer paso: El proceso de diseño elegido

Existe una cantidad muy extensa de procesos de diseño posibles en ingeniería. Las metodologías tienden a variar dependiendo del producto final deseado, pero todas concuerdan en que el proceso debe ser constante, repetitivo y no detenerse, pues las mejoras de soluciones siempre son posibles. Esta tesis tuvo como base el proceso de diseño Ulrich, propuesto en el año 2004, que plantea el siguiente proceso de diseño del producto (Figura 28):

De los puntos anteriores y tomando en cuenta los objetivos de esta tesis, se llegará hasta el punto de prueba y perfeccionamiento. Si bien el modelo anterior (Figura 28) es una base, se puede profundizar en lo que requiere cada paso; a continuación se muestra la cronología de diseño del sistema propuesto.

1. Identificación de oportunidad: Necesidad de AF habitual para prevenir riesgos de salud causados por el sedentarismo, la cual puede ser promovida empleando dinámicas lúdicas y con ayuda de tecnologías emergentes.

2. Selección de tecnología para resolución del problema: Al presentar un nivel de inmersión elevado por la estimulación multisensorial y permitir libertad de movimiento, se eligió la Realidad Virtual como TE para proponer una solución al problema.

3. Selección de Actividad Física a Promover: Una vez conocida la TE a utilizar, se analizaron los puntos

más destacados para poder promover la AF, y se decidió por una en especial para este sistema.

4. Identificación del Usuario: Antes de proponer sistemas específicos para la solución planteada, se hizo un análisis de posibles usuarios y mediante un primer contacto con los mismos, se obtuvieron los requerimientos para la solución.

5. Diseño conceptual: Conociendo las necesidades y requerimientos del usuario, se plantearon los sistemas a considerar en el simulador, además de soluciones posibles a cada uno de ellos. Tras un análisis por sistema, se eligieron las mejores propuestas, las cuales se prueban en la siguiente etapa de diseño.

6. Prueba de concepto: primer modelo funcional: Tras incorporar todos los sistemas y elaborar las primeras pruebas del sistema, se tuvo una primer serie de resultados. De esta primer prueba, varias soluciones elegidas de hardware quedaron obsoletas y se realizó un segundo análisis para corregir algunos de los problemas encontrados en las soluciones previas implementadas.

7. Diseño de detalle: Tomando cada solución se establecieron los espacios donde se colocarían los sistemas planteados, la manera de interacción entre ellos, los circuitos, CADs y programación básica para operación del sistema completo.

8. Obtención de un segundo modelo funcional: Una vez corregidos los sistemas que causaban conflicto anteriormente, se implementó un segundo modelo funcional. En esta segunda iteración se volvieron a encontrar problemas, esta vez de software en vez de hardware. Se realizó una encuesta para ubicar con más facilidad las áreas de mejora del sistema.

9. Último modelo funcional: En la última iteración realizada para esta tesis, se añadieron nuevos sistemas a los planteados originalmente, con el fin de ayudar a los usuarios a sentir más naturalidad al usar el sistema. Aunque al final se obtuvo un modelo funcional, el proceso de diseño se presta a seguir mejorando el sistema.



Figura 28. Proceso de diseño del Producto de Ulrich y Eppinger [42].PNG

Dentro del diseño: Selección de Actividad Física a Promover

El primer conflicto que se puede encontrar en esta premisa, es decidir qué AF puede realizarse de manera efectiva considerando varios aspectos analizados en los antecedentes. A continuación se presenta una tabla donde se plantean los puntos que se tomaron en consideración para definir la actividad física a promover. En esta iteración, las propuestas fueron dadas por este equipo, sin considerar la opinión del futuro usuario.

De los puntos analizados en la Tabla 3, y considerando el estado del arte, donde las estrategias para incorporar VR y AF son más que parecidas, se puede concluir lo siguiente: La actividad a promover debe ser realizada en un aparato que permita que

el usuario esté sujeto para mantener su equilibrio, las AF que cumplen con los METs son aeróbicas, la naturalidad del movimiento debe estar ligada a actividades que las personas hayan practicado al menos una vez, y se sientan cómodos de realizar aún con los ojos cerrados si se está seguro del entorno en el que se mueve, como caminar. Considerando la Tabla 1, las actividades que cumplen con lo anterior son: caminar con marcha ligera, andar en bicicleta en un sitio plano o subir un cerro.

Debido a la extensión planteada para esta tesis y la disponibilidad de materiales para lograr la actividad, se decidió que la AF a promover sería andar en bicicleta, considerando que el ambiente lúdico presentaría retos y estímulos para que el pedaleo no fuera lento, si no constante.

Tabla 3. Criterio para Selección de Actividad Física a Promover.jpg

Consideración	Detalles
La VR emplea un headset	<ul style="list-style-type: none"> - Existen varios modelos. - Limitan parte del equilibrio del usuario al bloquear la vista.
El usuario debe moverse	<ul style="list-style-type: none"> - Es importante considerar que el usuario va a estar en constante movimiento y con algunos de sus sentidos estimulados, pero aislados. - Considerar la seguridad del usuario. - El movimiento debe ser rastreado y analizado
Presentar una mayor inmersión para motivar al usuario	<ul style="list-style-type: none"> - No solo estimular la vista y el oído (más sentidos, más inmersión). - El usuario debe sentir de manera natural que realiza la actividad planteada, pero no verla como una carga. - El usuario debe tener maneras de tomar decisiones dentro del juego. - El sistema debe reaccionar junto con el usuario para apoyar la naturalidad de las acciones.
El usuario ideal en este momento no realiza actividad física	<ul style="list-style-type: none"> - La actividad debe ser sencilla y no tener gran exigencia, sin embargo debe cumplir con los METs recomendados por la OMS: 5-9 METs
Seguridad	<ul style="list-style-type: none"> - Garantizar que el usuario va a estar seguro mientras realiza la actividad, que no va a caerse o marearse por la inmersión.

2 Conocer al Usuario

En los antecedentes se dio un panorama amplio del nivel perjudicial para la salud que el sedentarismo puede traer. Para poder ayudar a las personas a crear una cultura de AF, es necesario primero acercarse a ellas y analizar las razones que las llevan a no realizar AF, para poder brindar una solución óptima y agradable, de manera que la reincidencia al emplear un sistema de promoción de AF sea mayor. Para poder lograr esto, el primer paso es saber a quién es el usuario en cuestión: rango de edades, gustos, necesidades. Este apartado tratará el proceso empleado para determinar este usuario en el sistema planteado.

a) Identificación del Usuario

Como se vio en los antecedentes, la AF es un factor que influye de manera positiva en diversos aspectos de la salud, por ende, el sistema propuesto, se enfoca a aquellas personas que estén interesadas en aumentar su nivel de AF con el uso de dinámicas lúdicas que los motiven a completar un lapso de tiempo establecido.

b) Elaboración de Encuesta

En virtud de conocer los intereses de los usuarios, se diseñaron diferentes tipos de encuestas (Anexo 2), en ellas se evaluaron algunos puntos que se enlistan a continuación:

Edad. Factor con el que se obtiene un promedio de edad del jugador.

Nivel de AF. Este dato arroja una estadística del tiempo que se invierte para la realización de AF.

Interés en los videojuegos. Esta cifra determinará qué tan viable será el uso de los videojuegos como promotor de la salud.

Tipo de videojuego de más interés. Permitirá establecer el tipo de dinámica que se usará en el videojuego.

Concepto de VR de los usuarios. La información obtenida dará las pautas para construir la experiencia dentro del sistema.

Algunos aspectos de su estilo de vida. Tales como tipo de domicilio, tecnologías que poseen, entre otras que más adelante ayudarán en la definición del diseño del sistema.

Los testimonios obtenidos serán utilizados en la creación del concepto, así mismo serán factores discriminantes al momento de escoger la solución y al plantear el diseño de detalle.

c. Análisis de Resultados

Se realizaron una serie de encuestas a 238 [personas]; considerando a la población adulta sedentaria, 3'446'723 [personas], que es un 56% [67] de los 6'514'863 de los adultos en la ciudad [68]. Con ayuda de una calculadora en línea [69] se estimó un total de 271 muestras para un 90% de confianza (por lo que nuestro nivel de confianza es menor al 90%, siendo de 6.31% nuestro intervalo). A partir de las encuestas realizadas (ver Encuesta 1, 2 y 3 en el Anexo 2) se obtuvieron datos relevantes como que de un total de 238 [personas] encuestadas un 87.2% le gustan los videojuegos y conocen el término VR. Así mismo, de la 1a y 2a encuesta (E1 y E2), se observa que 24% de los usuarios conciben la VR como una experiencia dada por los simuladores (de vuelo, carreras, montañas rusas, etc) y otro 20% la define como mundos utópicos como Matrix, SAO (Sword Art Online) y Accel world, el resto difiere entre aplicaciones para Google Cardboard, Google glass, Oculus; Realidad Aumentada, Realidad Proyectada y hologramas. Otra dato importante es que 27.5% de los encuestados (E1 y E3) prefieren los juegos de "aventuras", mientras que el 16% se inclina por los "shooter", el resto opta por las carreras, deportes, RPGs, novelas visuales, entre otros.

En cuanto a AF se refiere, de la E1, de un total de 78 personas, solo 29.5% de ellas aseguran que realizan una AF, con una frecuencia no mayor a 3 veces por semana, contra un 26.9% sedentaria. Para la E3, cuya aplicación fue personal (E1 y E2 fueron hechas en línea) se encontró que 13.2% se consideran personas activas de buen nivel (hacen ejercicio o practican algún deporte), contra 5.7% que no realiza ningún tipo de actividad. El 81% restante tiene una práctica ocasional.

Con el fin de conocer el impacto que el sistema en esta tesis propuesto tendría, se evaluó el interés de los encuestados por jugar un videojuego que incluyera una actividad física; encontrando que de los 78 sujetos (E1) 28.2% piensa que sería interesante dicha combinación (videojuego y AF), 19.2% sólo se interesaría si el videojuego es lo suficientemente entretenido; 16.7% dice que es dependiente de la actividad, 15.4% lo haría para aumentar su nivel de AF, y solo 1.3% por acercarse a los videojuegos; todo contra un 11.5% que prefiere el ejercicio tradicional y un 7.7% que no se interesó en la propuesta. Finalmente, en la última encuesta (E3) se planteó la misma pregunta, pero especificando el tipo de actividad a realizar, misma que fue seleccionada con anterioridad (Selección de la AF a promover), resultando que 86.8% de los usuarios aprobaba la actividad, contra un 9.4% que no se interesó; el resto se mostró escéptica.

En conclusión, después de revisar las estadísticas generadas con los resultados de las encuestas, se dice que es mayor el número de personas que conocen y les gustan los videojuegos de las que no (87.2% vs 12.8%); siendo los juegos de "aventuras" y "shooter" los más entretenidos para el público; de la misma manera se concluye que la mayoría de las personas conoce lo que es la VR (87.2%), y que relaciona el término como la experiencia dada por los simuladores. Por otra parte, un alto porcentaje (81%) tiene una práctica ocasional de la AF.

En cuanto a la aceptación del sistema que en esta tesis se propone, existían diferentes variables que no hicieron que un porcentaje considerable se mostrara interesada si no se especificaba la AF (al ser una TE, hay cierta duda sobre la capacidad de la VR), por ello tras especificar el tipo de AF a realizar se encontró que 86.8% de las personas encuentran útil mezclar un aparato de ejercicio con un videojuego.

d. Obtención de Necesidades y Requerimientos

Tras conocer mejor al usuario, el siguiente paso es obtener a partir de las encuestas realizadas las necesidades del mismo, con el fin de poder traducirlas a requerimientos de los sistemas a proponer. Cabe recalcar que algunas necesidades se sacaron directamente de las encuestas, y otras de los

antecedentes, es decir, hay necesidades que el usuario expresó directamente y otras que tenemos que cubrir para cumplir con lo establecido por la OMS para AF, motivadores para gamificación, y otras que se plantearon en la sección de Selección de Actividad Física a Promover, como necesidades básicas.

Tabla 4. Traducción de necesidades a requerimientos y especificaciones.jpg

Necesidad	Requerimiento	Especificación
Nivel moderado de ejercicio	Contar con METs establecidos	5-9 METs
Nivel de inmersión elevado	Número de Sentidos a estimular.	Al menos 3 sentidos estimulados.
Divertido	Experiencia nueva que representa un reto en el usuario.	Juegos que impliquen una aventura.
Entretenido (Motivación)	Poder ver el rendimiento en juego.	Puntos recolectados durante el nivel.
Ocupar poco espacio.	Dimensiones de sistema.	Espacio máximo del sistema.
Naturalidad de movimiento	Comportamiento del sistema muy parecido al que tendría el mismo en un entorno real.	Sistemas que registren el movimiento normal del usuario y lo traduzcan en el mismo dentro de la interfaz.
Comodidad	Facilidad de movimiento de piernas y brazos al estar en la bicicleta. Postura adecuada	Distancia apropiada entre asiento y manubrio.
Seguridad	El usuario debe poder sostenerse y tener la habilidad de detener el juego en caso de necesitarlo, sin comprometer su salud.	Puntos de apoyo y "botón" de pánico.

Una vez establecidos los criterios a considerar (necesidades), se detallarán los requerimientos obtenidos de las mismas, haciendo un análisis de las especificaciones de cada uno de ellos, esto para considerar al momento de proponer los sistemas de este simulador.

Tabla 5. Determinación de métricas de especificaciones.jpg

Especificación	Valor	Unidad	Justificación
METs	5-9	METs	La OMS establece que diariamente las personas deben realizar entre 30-60 mins de AF, con actividades al menos entre los 5-9 METs (ver antecedentes).
Número de sentidos estimulados	3	Sentidos	Actualmente existen diversos dispositivos (headsets entre ellos) que buscan estimular el 60% de los sentidos (vista, oído y tacto), ya que el nivel de inmersión es dependiente del número de sentidos que se logren involucrar en la experiencia.
Juegos con aventuras o shooters		N/A	Los usuarios establecieron que los videojuegos que más les gustan son de "aventuras" y "shooters", por lo que para cumplir con la diversión del simulador, se requerirá un juego dentro de esta clasificación.
Recolección de Puntos	A decidir con el juego	Puntos	Uno de los motivadores que plantea la gamificación es un puntaje, para tener una referencia del desempeño durante la partida y decidir mejorar respecto la puntuación obtenida, y las puntuaciones obtenidas por otros.
Distancia apropiada entre asiento y manubrio.	60 x 150 x 120	cm ³	El sistema debe ser compacto pero aún así poder brindar comodidad al usuario. Las dimensiones presentadas son las generales en algunas bicicletas estáticas. [43]
Sensores de pedaleo y giro	N/A	N/A	Para poder tener una experiencia natural, es necesario transmitir información continua de cómo se mueve el usuario, los movimientos dentro del ciclismo son pedaleo y giro del manubrio.
Distancia apropiada entre asiento y manubrio.	Depende del usuario	cm	La antropometría [44] es una ciencia auxiliar que nos brinda información sobre las medidas del cuerpo humano en todas sus posiciones y actividades. Por ende la mayoría de los equipos que se utilizan para ejercitarse consideran estas medidas.
Puntos de Apoyo	5	Puntos	Debido a la naturaleza de la actividad, se requiere tener tres puntos de apoyo básicos: dos en los pedales y uno en el asiento, sin embargo, al tener la posibilidad de girar el manubrio en la experiencia real, se consideran también las dos manos sujetas al sistema. Cabe recordar que es fácil caer si se bloquean dos sentidos de la percepción normal (ojos y oídos), por lo que estos cinco puntos de apoyo garantizan la seguridad del usuario.

N/A No aplica

Una vez se obtuvieron los componentes básicos a considerar para el diseño del simulador, el siguiente paso es establecer cómo se conseguirá cumplir con dichos requerimientos, para ello, el siguiente apartado, dedicado al diseño conceptual del simulador, tratará las distintas propuestas de soluciones para elaborar el hardware del dispositivo.

3. Diseño Conceptual

En el apartado anterior se tradujeron las necesidades del usuario en requerimientos del sistema. En esta parte del diseño, se proponen las soluciones a dichos requerimientos, y la manera en que dichas soluciones se relacionan entre sí, con el fin de elegir la mejor opción para lograr una sinergia entre cada componente dentro del simulador.

El concepto planteado para este simulador es el siguiente:

Una bicicleta estática equipada con sensores y actuadores que permiten un movimiento natural del usuario llevando los datos de dicho movimiento a una interfaz

gráfica, en la cual el usuario puede desplazarse e interactuar con los objetos dentro del mundo virtual, y de la misma manera, al encontrar distintos retos dentro del juego, el simulador reaccionará brindando retroalimentación de sus acciones al usuario, llevándose a al menos tres sentidos del mismo.

a) Diagrama de Caja Negra

El primer paso para conocer el concepto es saber qué quiere el usuario y qué obtendrá del sistema final. Esta parte del diseño es útil para proponer soluciones sin sesgar la creatividad y posibilidades de solución.

Como puede observarse, cada una de las entradas tiene una salida al pasar por la caja negra, por lo que dentro de la caja debe existir "algo" que logre dicho resultado, por lo tanto el siguiente paso es definir los sistemas que llevan al usuario a experimentar dichas salidas.



Figura 29. Diagrama de Caja Negra.png

b. Diagrama de Sistemas

Considerando los requerimientos del usuario, se puede llegar a los sistemas que son posibles para el desarrollo de la solución. En esta parte del diseño aún no es necesario contar con una solución a cada sistema, si no pensar en lo necesario para obtener las salidas requeridas, más adelante se plantean las soluciones posibles propuestas para el simulador.

A continuación se hace una descripción de los sistemas involucrados, así mismo se proponen los subsistemas que ayudarán a completar la interacción.

Sistema de Soporte. Se encarga de contener a los demás sistemas, brindando un soporte físico a ellos. El soporte principal fijo es la bicicleta.

Sistema de Sensado. Recaba la información del usuario, que viene dada por el contacto entre él y el sistema (P2M).

a) Presencia. Su función está en detectar la presencia del jugador; accionando el paro del juego en caso de ser necesario, a fin de evitar cualquier tipo de accidente.

b) Desplazamiento. Este subsistema permitirá que el usuario reproduzca de forma natural el pedaleo que se genera al andar en bicicleta. Dejando que el jugador se desplace dentro del mundo virtual.

c) Dirección. Por medio de este subsistema el usuario direccionará sus movimientos (derecha- izquierda) dándole mayor libertad de movimiento dentro del juego.

d) Acción. Funcionará como arma de defensa dentro del juego.

Sistema de Audio. Este sistema hará que el usuario tenga la oportunidad de apreciar los sonidos que ambientan la experiencia, tales como los disparos, música de fondo, y más.

Sistema de Visión. Como lo vimos en los antecedentes, los headsets acercan al usuario a las experiencias VR, dicho sistema reproducirá toda la parte gráfica del mundo virtual.

Sistema de Retroalimentación. Este sistema permitirá la interacción P2M (Person to Machine), que hará que los movimientos del sistema tengan una respuesta inmediata en la misma o dentro del juego.

a) Velocidad. Permitirá que el usuario perciba la experiencia de una forma más natural, al notar los cambios en la velocidad del sistema mediante la brisa que genera el pedalear.

b) Superficie. En esta parte se dará respuesta a un evento dentro del juego ligado al terreno en que se encuentra, mismo que hará que el usuario note que realiza un esfuerzo mayor al pedalear.

Sistema de Comunicación (protocolos). Este sistema permite que todo el intercambio de información entre hardware y software tenga lugar.

Sistema de Software. Parte encargada del procesamiento de datos y la interfaz.

a) Procesamiento. Recibe la información

proveniente de los sensores, enlazándola con el sistema.

b) Motor de juegos. Permite el diseño, creación y representación del videojuego a través de mecánicas y dinámicas en forma gráfica.

c) Modelado. Esta parte es donde tienen lugar todos los elementos de arte involucrados: objetos, personajes, ambiente.

Sistema de Alimentación. Brindará la energía necesaria para que todo el sistema funcione.

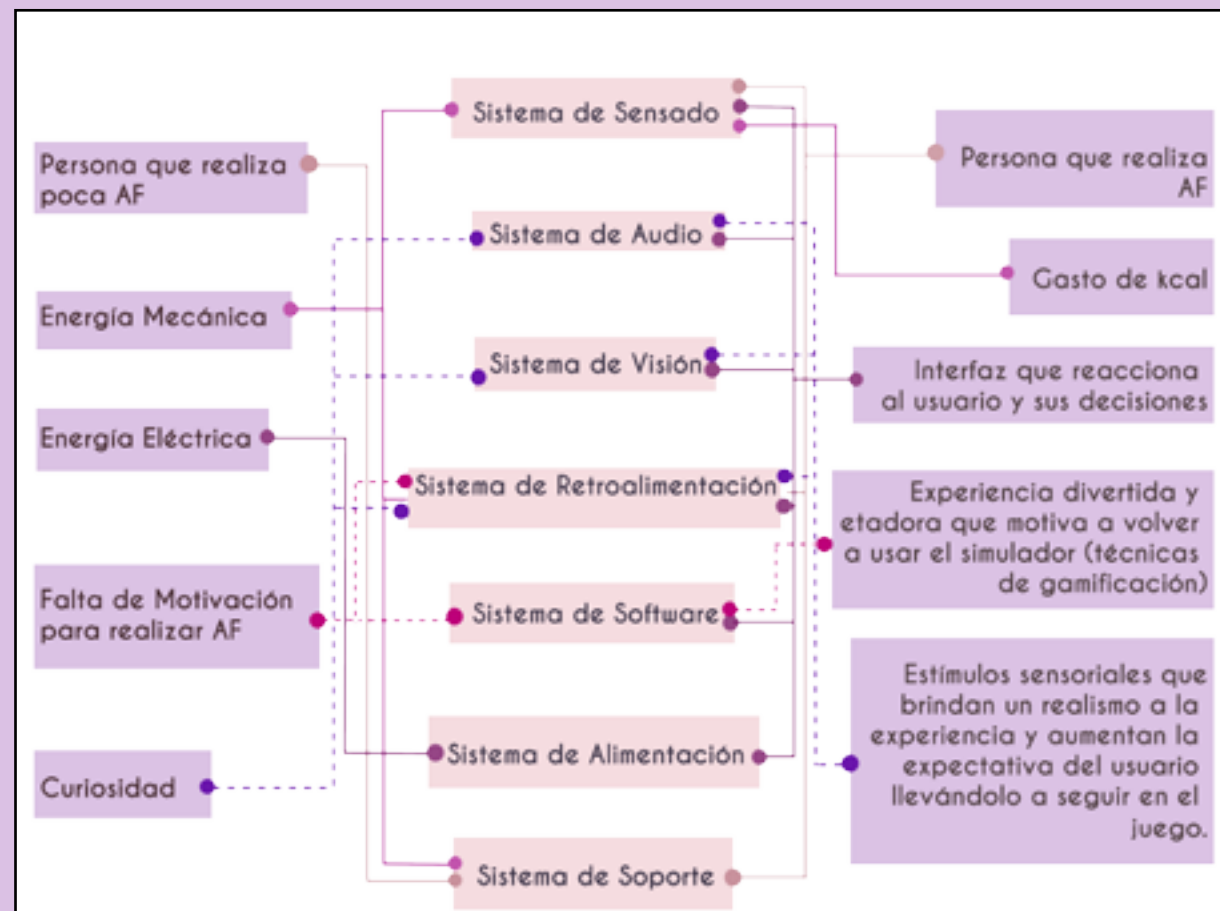


Figura 30. Diagrama de Sistemas.png

c) Carta morfológica

Una vez conocidos los sistemas y subsistemas propuestos para el simulador, el siguiente paso fue proponer la solución a cada uno de los anteriores. A continuación se presentarán las ideas propuestas, y más adelante se explicará cada una de ellas.

Tabla 6. Carta morfológica.jpg

Sistema	Subsistema	Solución
Sensado	Presencia	En asiento En manubrio En pedales
	Desplazamiento	Encoder óptico Encoder magnético
	Dirección	Manubrio con Giroscopio Manubrio con Magnetómetro Manubrio con Potenciómetro
	Acción	Push Button en manubrio Limit switch en manubrio (con palanca de freno)
Audio		Audífonos Bocinas
Visión		Oculus Rift Samsung Gear VR
Retro-alimentación	Velocidad	Ventiladores en manubrio Ventiladores fijos externos
	Superficie	Freno en rueda con motor Freno en llanta con motor Freno Electromagnético
Comunicación	Cables	
	Wireless	Bluetooth Wi-Fi Radiofrecuencia
Software	Procesamiento Motor de Juegos Modelado	Arduino UNO Raspberry Pi PIC Unity 3D Unreal Engine Blender Maya
Alimentación		Corriente eléctrica (enchufe) Baterías

C1. Análisis por Sistema

Sistema de Sensado. Para proponer soluciones para este sistema se hizo una búsqueda de sensores que cumplieran con características para traducir los movimientos del usuario y demás condiciones consideradas.

Subsistema de Presencia. Este sensor debe reaccionar al dejar de detectar la presencia del usuario. Se propusieron tres maneras de detectar la presencia:

En asiento. Se activará al levantarse el usuario de su asiento. De esta manera se sabrá si el usuario está en una posición segura para seguirse moviendo.

En manubrio. Se activará si el usuario retira sus manos

Tabla 7. Comparación subsistemas de presencia.jpg

	Asiento	Manubrio	Pedales
Facilidad de Implementación	Alta	Alta	Baja
Éxito de detección	Alta	Baja (Se puede estar jugar sin sostenerse)	Alta
Cantidad de sensores requeridos	1	2	2

Subsistema de Desplazamiento. Este sensor debe detectar el giro de la llanta de la bicicleta, de esta manera se sabrá si se está avanzando. Se propusieron dos maneras de detectar el giro:

Encoder Óptico. Con este tipo de sensor, se emplea detección infrarroja, empleando la luz que pasa por el disco del encoder.

del manubrio. Asegura que el usuario mantenga su equilibrio con la vista ocupada con el headset.

En pedales. Se activará si el usuario retira sus pies de los pedales. Si los pies no se encuentran en los pedales, se corre el riesgo de lastimarse por el giro remanente de haber estado pedaleando. Indica que el jugador se ha parado. Por el constante movimiento de los pedales, esta solución puede ser difícil de implementar.

Encoder Magnético. Con este tipo de sensor, se emplea la detección del campo magnético, activándose cada vez que se detecte en el disco del encoder.

Tabla 8. Comparación soluciones subsistema de desplazamiento.jpg

	Encoder óptico	Encoder Magnético
Aditamentos adicionales al sensor	Dependiendo de Resolución buscada	Si, agregar imanes para campo magnético
Probabilidades de falla	Depende de la luz alrededor, calibración constante	Depende de la distancia y disposición del campo magnético.
Precio sin aditamentos	<20 pesos (CNY70)	<150 pesos (módulo detector de efecto Hall)

Subsistema de Dirección. Este sensor debe ser sensible a las posibilidades de giro del manubrio. Se propusieron tres soluciones para conocer la posición del manubrio durante el giro:

Manubrio con Giroscopio. Si se emplea este tipo de sensor, se mide el cambio de orientación del manubrio o la velocidad con que cambia de orientación. Se detecta si hay un giro y hacia qué sentido se de dicho giro.

Manubrio con Magnetómetro. Si se emplea este sensor, que funciona como brújula al detectar los campos magnéticos de la Tierra, brindando una orientación absoluta en el plano.

Manubrio con Potenciómetro. Si se emplea este sensor, se detectaría mediante la resistencia del potenciómetro la posición del giro del manubrio.

Tabla 9. Comparación de subsistema de dirección.jpg

	Giroscopio	Magnetómetro	Potenciómetro
Facilidad de Implementación	Alta	Alta	Baja
Sensibilidad a posición	Baja (se requiere un giro pronunciado)	Alta	Alta
Precio	<80 pesos (Mercado libre)	<100 pesos (Mercado libre)	<10 pesos (Mercado libre)

Subsistema Acción. Este sensor detectará cada vez que el usuario presione el gatillo de su arma. Se ubicará en el manubrio, ya que se activa con las manos. **Push button.** Este sensor se activa directamente al presionar sobre él con un dedo.

Limit Switch. Este sensor se acondiciona a la forma del freno de la bicicleta, por tener una palanca que presiona el botón del switch.

Tabla 10. Comparación de subsistema acción.jpg

	Push Button	Limit Switch
Facilidad de implementación	Alta	Media (se requiere un soporte específico)
Precio	<10 (Mercado libre)	<15 (Mercado libre)
Comodidad para usuario	Media	Alta (frenar en una bicicleta es un acto natural si se ha montado en bicicleta)

Sistema de Audio. En este sistema se hizo la comparativa entre un estímulo directo y uno indirecto.

Audífonos. En esta opción el estímulo es directo sobre el oído, aislando los estímulos provenientes del exterior. De igual forma este medio brinda al usuario la privacidad que necesita, además de ser la una opción más accesible comparado con un equipo de

sonido de calidad.

Bocinas. Brindan una mejor calidad de sonido, pues su capacidad de reproducción de sonidos graves es superior a la de los audífonos. Además, después de un periodo prolongado de sonido, un sistema como el de los audífonos podría generar incomodidad, misma que se anularía con las bocinas.

Tabla 11. Comparación sistema audio.jpg

	Audífonos	Bocinas
Naturalidad de sonido	Alta	Media
Comodidad del usuario	Depende de tiempo y tipo de audífonos	Alta
Facilidad de Implementación	Alta	Baja (tendrían que acomodarse dentro del soporte)

Subsistema de Visión. A continuación se hizo un análisis de las características de los headsets al alcance del proyecto.

Tabla 12. Comparación de Headsets disponibles para este proyecto.jpg

	Oculus rift	Samsung Gear VR
Pantalla y resolución	OLED 2.16 x 1.2 pixeles	AMOLED 2.56x1.44 pixeles
Frecuencia de refresco(Hz)	90	60
Plataforma	Oculus Home	Oculus share
Campo de visión(grados)	110	96
Controles	Mando Xbox One	Touchpad
Sensores	Acelerómetro, giroscopio y magnetómetro	Acelerómetro, giroscopio y sensor de proximidad
Conexiones	HDMI,USB 2.0, USB 3.0	Micro USB
Requisitos	NVIDIA GTX 970 MD Radeon R9 290 o superior Intel i5	Galaxy Note 5, S6, S6 edge, S6 edge+, S7, S7 edge.
Precio	<16000 (Mercado Libre)	<3000 Sin incluir Smartphone (Mercado Libre)

Sistema de Retroalimentación. Para este sistema, se requiere proponer las formas de interacción entre el juego y la persona. Para ello, se pondrán actuadores que se comunican directamente con la interfaz y reaccionan dependiendo de lo estipulado en el diseño del ambiente. Existen tres subsistemas de retroalimentación en el simulador, sin embargo uno se analizó ya en otro sistema, audio, por

lo que estos subsistemas se limitarán a dos, como se ve a continuación:

Subsistema de Velocidad. Este actuador debe permitir sentir proporcionalmente el aire que le da al cuerpo con la velocidad de pedaleo. Se planteó como solución emplear ventiladores, con dos opciones de colocación:

Ventiladores en manubrios. Al poner los ventiladores en el manubrio, se garantiza que la dirección del "viento" siempre de directamente a la cara.

Ventiladores fijos externos. Esta solución brinda facilidad de colocación, pues no depende del manubrio de la bicicleta.

Tabla 13. Comparación de subsistema velocidad.jpg

	En manubrios	Fijos externos
Naturalidad de sensación brindada	Alta	Media
Cantidad de viento	Media	Alta
Complejidad de control	Media (Uso de puente-h)	Alta (AC-DC)
Precio	<50 pesos (Mercado Libre)	<1000 pesos (Mercado libre)

Subsistema de Superficie. Este actuador brindará al usuario una mayor resistencia al pedaleo, contribuyendo a la sensación de pedalear por distintos terrenos. Se aplicará sobre la llanta de la bicicleta, pudiendo ser transmitida la señal de freno mediante tres medios:

Freno en rueda con motor. Este freno se aplicaría directamente a la rueda de freno que incluye la bicicleta estática. Esta viene adicionada con un tornillo manual de freno, por lo que habría que buscar un mecanismo que actúe directamente sobre el eje de dicho tornillo. El actuador que accionará el mecanismo sería un motor.

Freno en llanta con motor. Este freno se aplicaría con un mecanismo directamente sobre la llanta de la bicicleta, como sucede con los frenos de bicicletas normales. El actuador que accionará el mecanismo sería un motor.

Freno Electromagnético. Al igual que el anterior, el freno se aplicará directamente sobre la llanta con un mecanismo que incluye un actuador que crea un campo magnético para frenar la llanta de la bicicleta, la cual deberá contener partes metálicas para lograr dicho efecto.

Tabla 14. Comparación de subsistema superficie.jpg

	En rueda con motor	En llanta con motor	Electromagnético
Complejidad de implementación	Alta	Media	Media
Precio	<500 pesos (Manufactura eje, motor y reducción)	<500 pesos (Freno, motor y reducción)	<3000 pesos (Mercado libre)

Sistema de Comunicación. Este sistema debe proveer al simulador de los medios para que cada sistema intercambie información. Existen dos maneras propuestas, como se ve a continuación:

Cables. Si se implementa esta solución, cada uno de los sensores y actuadores estaría conectado por cables a lo largo de la bicicleta.

Wireless. Si se implementa esta solución, la cantidad de cables disminuiría. Existen varias tecnologías para ésta, las que se propusieron se analizarán en la siguiente tabla comparativa:

Tabla 15. Comparación de tecnología wireless [45].jpg

	Bluetooth	Wi-Fi	Radiofrecuencia (ZigBee)
Enfoque de aplicaciones	Eliminar Cableado	Web, email, video	Monitoreo y control
Recursos del sistema	250 KB+	1 MB+	4 KB- 32 KB
Tiempo de Vida de batería (días)	1-7	5	100-1000+
Tamaño de Red	7	32	limitada (2^64)
Ancho de Banda (KB/s)	720	11 000+	20-250
Rango de Transmisión (metros)	1-10+	1-100	1-100+
Métricas de éxito	Costo, conveniencia	Velocidad, flexibilidad	Confiable, poder, costo.

Sistema de Software. Dentro de este sistema se involucran varias partes que trabajan en conjunto para crear una interfaz que brinda naturalidad de juego al usuario. Se decidió separar toda la parte que involucre programación, del *hardware*, obteniendo al final tres subsistemas, como se verá a continuación:

Subsistema de Procesamiento. Este subsistema se encarga de comunicar la interfaz del juego con los sensores y actuadores en el simulador. A continuación se hará una tabla comparativa con tres microcontroladores conocidos que se plantearon para este subsistema.

Tabla 16 Comparación entre Microcontroladores [46][47].jpg

	Arduino UNO	Raspberry Pi	PIC16F887
Programas a correr	1	Varios (microprocesador)	1
GPIO pins	14 pines digitales, 6 pines analógicos	26 pines digitales	35 pines digitales, 2 comparadores analógicos
Velocidad de procesamiento (Mhz)	16	700	0-20
Pines de Interrupción	2	26	8 (Puerto B)
Precio (pesos)	<500	<1500	<300
Lenguaje de Programación)	C/C++	Python, C/C++	C / ensamblador

Subsistema Motor de Juegos. Esta parte del software será la encargada de mostrar la interfaz y controlar el juego. Se comunica con el subsistema de procesamiento para brindar una experiencia en tiempo

real al usuario, entre lo que percibe y lo que ocurre en el juego. A continuación se presenta una tabla comparativa entre dos motores de juegos populares y amigables con el usuario:

Tabla 17 Comparación entre Motores de Juego [48][49][50].jpg

	Unity 3D	Unreal Engine
Cuadros por segundo (para VR)	75 fps	30 fps
Apoyo a Desarrolladores (Documentación)	Amplia y amigable para usuarios principiantes	Amplia y amigable para usuarios principiantes
Plataformas Objetivo	WebGL, Windows, Windows Store Apps, Steam OS, OS X, GNU/Linux, iOS, Android, Windows Phone, Tizen, tvOS, Samsung Smart TV, Android TV, PlayStation Vita, PlayStation 4, Xbox 360, Xbox One, Wii U, Nintendo 3DS, Nintendo Switch, Oculus Rift, Google cardboard, HTC Vive, PlayStation VR, Samsung Gear VR, Microsoft HoloLens	Windows, OS X, Linux, HTML5, iOS, Android, Nintendo Switch, PlayStation 3, PlayStation 4, Wii U, Xbox 360, Xbox One, Oculus Rift
Lenguaje de Programación	Unity Script, C, C#, C++, Boo, JavaScript.	C++ (desde 2014)

Subsistema Modelado. Este subsistema se encarga de realizar algunos de los modelos gráficos 3D que se emplearán en la interfaz. Existen varios software que

auxilian para estos fines, en esta tesis se consideraron dos conocidos, los cuales compararemos a continuación:

Tabla 18. Comparacion entre software de modelado [51].jpg

	Autodesk Maya 8.5	Blender
Mercado Principal	Juegos, Cine	Arquitectura tiempo real
Mayores problemas	Curva de aprendizaje	Documentación e Interfaz
Soporte técnico	Empresa, bueno	Comunidades, bueno
Documentación	Excelente	Bueno
Modelos exportables	3DS, FBX, Collada, OBJ, VMRL 2, Baking: Plug In, DXF, IGES, STL, Composición: RPF, EXR, RLA	3DS, FBX, Collada, OBJ, VMRL 1 y 97, Baking: 90% de trabajo, DXF, STL, Composición: EXR
Precio	Unity Script, C, C#, C++, Boo, JavaScript.	C++ (desde 2014)

Sistema de Alimentación. Este sistema debe proveer de electricidad a todos los componentes que lo requieran. Existen dos maneras de poder proveer dicha electricidad, planteados a continuación:

Enchufe. Si se conecta directamente a una toma de corriente, se puede emplear voltajes elevados continuamente. El único inconveniente es la misma

necesidad de tener una toma de corriente cerca, o una gran extensión para conectarse.

Baterías. Si se emplean baterías, no hay problemas de conexiones lejanas, sin embargo se requerirían varias baterías para tener voltajes elevados, y éstas pueden gastarse con facilidad

Tabla 19. Comparación de soluciones de sistema alimentación.jpg

	Enchufe	Baterías
Tiempo de vida	Limitado	Dependiente del uso y marca
Libertad de movimiento	Limitada	Limitada
Voltaje posible	127 V	Depende de la cantidad de baterías
Tipo de Energía Suministrada	Alterna	Directa

Una vez planteados los aspectos positivos y negativos de cada solución planteada, el siguiente paso a tomar es la selección de la mejor opción, considerando los requerimientos del usuario.

d. Selección de soluciones a sistemas

Para seleccionar las soluciones a cada sistema se hizo una comparación por pares con las características vistas anteriormente, asignándoles un peso, y con el mismo, se realizó una matriz de decisión por cada solución (Anexo 3).

Sistema de Sensado

a) Subsistema: Presencia

Del análisis efectuado en la comparación por pares y matriz de decisión (Anexo 3 Tablas A3.1 y A3.2), se decide implementar la solución de poner el sensor en el asiento.

b) Subsistema: Desplazamiento

Del análisis efectuado en la comparación por pares y matriz de decisión (Anexo 3 Tablas A3.3 y A3.4), se decide implementar la solución de usar el Encoder Óptico.

c) Subsistema: Dirección

Para este sistema se optará por hacer pruebas con dos de las opciones propuestas (giroscopio en principio y magnetómetro en caso de falla del primero) a fin de encontrar la mejor opción y debido a que dichos sensores hacen la lectura de los datos de forma digital sin la necesidad de un acondicionamiento previo.

d) Subsistema: Acción

Del análisis efectuado en la comparación por pares y matriz de decisión (Anexo 3 Tablas A3.5 y A3.6), se decide implementar la solución de usar el Limit Switch.

Sistema: Audio

Del análisis efectuado en la comparación por pares y matriz de decisión (Anexo 3 Tablas A3.7 y A3.8), se decide implementar la solución de usar el audífonos.

Sistema: Visión

Para este sistema, aunque se puede realizar el análisis por pares, por disposición de la Facultad ya se contaba con un Oculus Rift DK2, por lo que se decid-

ió trabajar directamente con el mismo, por lo tanto la solución a implementar fue Oculus Rift.

Sistema Retroalimentación

a) Subsistema: Velocidad

Del análisis por pares y matriz de decisión (Anexo 3. Tablas A3.9. y A3.10), se decide implementar la solución de poner el ventilador en el manubrio.

b) Subsistema: Superficie

Del análisis por pares y matriz de decisión (Anexo 3. Tablas A3.11 y A3.12), se decide implementar la solución de automatizar la rueda que ya se tenía en la bicicleta como freno.

Sistema Software

a) Subsistema: Procesamiento

Si bien existen microcontroladores más veloces o con más memoria que Arduino UNO, se ha escogido esta opción debido a la experiencia y tiempo que se ha trabajado con este microcontrolador, además del hecho de ser una herramienta sumamente accesible y de fácil manejo, con el cual se puede obtener la estructura de programación inicial que posteriormente puede ser migrada a otros lenguajes. Finalmente el número de entradas y salidas es suficiente para los sensores y actuadores que se tienen planeados emplear.

b) Subsistema: Motor de juegos

Para este subsistema, se ha seleccionado a Unity 3D como solución. ya que es un software que cuenta con mucha documentación, además de tener una variedad superior de lenguajes de programación para trabajar. Así mismo se tomará en cuenta la experiencia de trabajo que se tiene con este motor.

c) Subsistema: Modelado

Para este subsistema, se ha seleccionado a Blender como solución. ya que es un software completamente gratuito, aunado que se posee más conocimiento de manejo de esta herramienta.

Sistema Comunicación

Este sistema se contempló después de analizar el subsistema de procesamiento. Debido a la cantidad de sistemas de sensado y actuadores en el simulador, la cantidad de módulos que se emplearían en éste sería muy grande (5), por lo tanto se consideró un costo beneficio de implementar tecnologías wireless en los módulos, el cual dio como resultado, para una primera iteración comunicar vía cables.

Sistema: Alimentación

Del análisis por pares y matriz de decisión (Anexo 3. Tablas A3.13 y A3.14), se decide implementar la solución de conectar el sistema por medio de un enchufe.

En resumen, las soluciones para cada sistema y subsistema planteado son las siguientes, las cuales se analizarán a profundidad en el Diseño de Detalle, al ponerlas a prueba:

Resumen: Solución a Sistemas propuestos para Modelo 1

Sistema de Soporte: Bicicleta estática con la que ya se contaba.

Sistema de Sensado

Subsistema Presencia: En asiento

Subsistema Desplazamiento: Encoder Óptico

Subsistema Dirección: En manubrio con Giroscopio

Subsistema Acción: Limit Switch en manubrio

Sistema Audio: Audífonos

Sistema Visión: Oculus Rift

Sistema Retroalimentación

Subsistema Velocidad: Ventiladores en manubrio

Subsistema Superficie: Freno en rueda con motor

Sistema Comunicación: Cables

Sistema Software

Subsistema Procesamiento: Arduino UNO

Subsistema Motor de Juegos: Unity 3D

Subsistema Modelado: Blender

Sistema Alimentación: Enchufe

Cabe recordar que dentro del Proceso de Diseño, se analiza la posibilidad de realizar reingeniería por lo que estas soluciones no son absolutas, sino una guía para una primera iteración.

4. Prueba de concepto: Primer Modelo Funcional

A partir del concepto obtenido, se procedió a implementar algunos de los sistemas antes descritos, con el fin de comprobar el correcto funcionamiento de cada uno de ellos y analizar la manera en que se podrían comunicar (Figura 3 1).



Figura 3 1. Primer modelo funcional (Expo DIMEI, junio 2016).PNG

a. Descripción del Modelo

El Sistema de **Soporte** es una bicicleta estática (Magistro-ni), con rueda de bicicleta común (caucho y rayos) con transmisión de pedaleo por medio de catarinas (Figura 32).



Figura 32. Sistema de Soporte (original en blanco).PNG

Para el Sistema de **Sensado** se incorporó un sensor de presión resistivo (Figura 33) en el asiento de la bicicleta, un encoder óptico empleando el mismo hardware y un CNY70 (Figura 34), un giroscopio y un Limit Switch en el manubrio (Figura 35).



Figura 33. Sensor de presión en asiento.PNG



Figura 34. Encoder Óptico acondicionado para soporte.PNG



Figura 35. Limit switch en manubrio.PNG

El Sistema de **Audio** emplea unos Headphones Beats Solo 2 (Figura 36).



Figura 36. Audifonos en oído Beats Solo2 [52].PNG

El Sistema de **Visión** cuenta con un Oculus Rift DK2 (Figura 37).



Figura 37. Oculus Rift DK2 [53].PNG

Para el Sistema de **Retroalimentación** sólo está incorporado un ventilador en el manubrio (Figura 38), proponiendo para el frenado emplear un motor de pasos, aún sin incorporarlo en la bicicleta (manufactura adicional).



Figura 38. Ventilador en manubrio.PNG

El Sistema de **Comunicación** está dado por una serie de cables a lo largo de todo el soporte.

El Sistema de **Software** implementó un Arduino UNO, un juego prueba elaborado en Unity 3D que lee los datos mandados por los sensores y algunos modelos dentro

El Sistema de **Alimentación** consta de dos tomas de corriente: la que da energía a la computadora que corre el juego, y una fuente que activa el ventilador. Los sensores funcionan con 5 V brindados por la tarjeta Arduino UNO, a su vez alimentada por el equipo de cómputo.

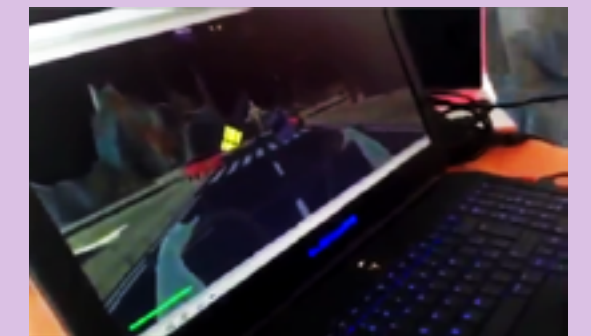


Figura 39. Interfaz del juego.PNG

b. Prueba con Usuarios

De este primer modelo se obtuvieron varios puntos a considerar para la solución de varios de los sistemas. Algunas observaciones fueron dadas por los mismos usuarios, quienes al probar el simulador no encontraron una respuesta rápida o natural dentro del juego.

A continuación se enlistan algunos de los comentarios coincidentes entre los usuarios y el análisis de razones de falla:

“El avance es demasiado lento”. Lo cual dice que no se tenía una transmisión de datos fluida, es decir que el tiempo de detección (100 ms dentro del programa) entre un haz lumínico y otro no era el suficiente para que el fotodetector lo registrara, además del hecho de que en el lugar donde se estaban realizando las pruebas no se tenía un control sobre la luz, mismo factor que afectó de manera directa la calibración del sensor.

“No me siento seguro/a con el ventilador expuesto”. Este factor es determinante para mantener la seguridad y confianza del usuario, por lo que es necesario pensar en una forma de aislar los sistemas que puedan provocar la sensación de peligro.

“Cuando giro, lo hago de manera abrupta (dentro del juego)”. Tal y como se vio en la descripción de la solución a los subsistemas, el giroscopio necesita un giro pronunciado para detectar el cambio de orientación (ya que se sabe que su rango de sensibilidad es de $\pm 16^\circ$ pues al obtener los valores de posición angular a través de una integral, el ruido puede afectar esta operación provocando que la medición obtenida pierda la referencia con la que comenzó [70]), por lo que a consideración de los usuarios no parece una acción natural, hecho que quedó expuesto durante la prueba.

“No puedo retroceder”. Aunque naturalmente, cuando se anda en bicicleta, no es común ir en reversa, algunos de los que probaron el sistema dijeron que les gustaría poder tener esta opción, lo cual es un punto a considerar si se desea que queden satisfechos con la experiencia que se está brindando.

“A veces siento que no disparo”. Debido al tipo de accionador, se mezclaba mucho ruido en nuestra señal, por lo que se propone agregar un filtro pasivo al sensor, además, el método de programación empleado para detectar el disparo es por poleo, por lo que se plantea la posibilidad de detección por interrupciones.

c. Rediseño de Sistemas

Tras los resultados de la prueba de concepto, y al ver que algunos de los sistemas probados, no reaccionaron de la manera esperada, se procederá a tomar otras de las opciones planteadas como solución a los subsistemas, de tal forma que satisfagan las necesidades y peticiones de los usuarios. En seguida se mencionan los sistemas que adoptarán otro tipo de sensor para mejorar la calidad en su sensibilidad, además de los nuevos sistemas a considerar para el dispositivo.

Subsistema de velocidad: sensor óptico \rightarrow sensor magnético, nos permitirá tener un flujo de datos más continuo, ya que con el sensor de luz se dependía de la cantidad de luminiscencia en el entorno, y se cambiaba dicho valor analógico a un intervalo digital, llevando a obtener valores diferentes, no caracterizables en dichos parámetros, lo cual se traducía en una falta de movimiento en el juego, o un movimiento continuo, sin seguir lo realizado por el usuario, al nunca detectar un cambio de 0 a 1 en el sensor de luz. Otro problema que se notó fue que no siempre se leía el cambio de valores, aunque estuviera calibrado el sensor, pues la técnica para detectarlo era poleo, por lo que también se considerará agregar interrupciones dentro del programa, lo que ayudará a controlar la velocidad del pedaleo dentro del juego ya que siempre que se detecte un imán se mandará dicha interrupción a verificar si hubo un cambio binario, así mismo evitaremos que factores externos (luz) alteren los datos leídos del encoder.

Nuevo Subsistema: sentido: Se implementará la reversa incorporando un encoder de cuadratura (con dos sensores magnéticos), que nos permite saber si se está avanzando o retrocediendo en el pedaleo. Este método consiste en tener un encoder (en este caso disco binario) y otro igual pero desfasado, de manera que al leer los dos sensores al mismo tiempo, si gira el disco se pueden leer números binarios de 2 bits (00, 01, 11, 10), de esta manera, se conoce el sentido si la numeración se presenta de manera ascendente o descendente.

Subsistema de giro: giroscopio \rightarrow magnetómetro. Al aumentar la sensibilidad del subsistema, será más fácil determinar el valor exacto de la orientación del manubrio, disminuyendo los grados de giro para que el mismo sea detectado. Conocer el ángulo del manubrio respecto al cuerpo de la bicicleta ayuda también a considerar qué tanto gira la bicicleta con respecto a la interfaz, volviendo la experiencia más natural. Cabe repetir que el giroscopio es un sensor que detecta el sentido de giro del objeto, pero no la posición del objeto en el espacio. En el primer modelo, si dicho giroscopio reaccionaba positivamente, se aumentaban grados en la posición respecto al eje 'y', y si reaccionaba negativamente, se restaban grados. Por lo mismo, el giro debía ser muy pronunciado (aplicar mucha fuerza rápidamente cada vez que se quería girar el manubrio) y reiterativo. Con el magnetómetro se estaría leyendo directamente la posición del manubrio en grados (acondicionando la señal), por lo que se sabría con precisión (siempre tras calibración previa) en dónde se encuentra el manubrio, tomando como referencia el centro natural del manubrio al ir hacia adelante.

Subsistema de acción: *limit switch* \rightarrow push button. Dentro de este subsistema, no solo se cambiará al sensor si no que se harán las modificaciones pertinentes para que el software no obtenga otras señales, es decir se contempla la opción de implementar interrupciones al programa. Se seleccionó el push button tras realizar una modificación al manubrio de la bicicleta, incorporando una palanca de freno con el mismo (la solución fue brindada por un compañero externo al proyecto). De esta manera es más ergonómico ap-

retar el gatillo que con el limit switch. Respecto a las interrupciones, se decide ocuparlas por la misma razón que el Subsistema de Velocidad, en el primer modelo se leía el sensor mediante poleo, a veces no disparando a los enemigos en el juego cuando se necesitaba. Con una interrupción se garantizará la atención del programa cada vez que se detecte que hay una señal del botón. También se notó una falta de discretización al disparar (cuando se presionaba una sola vez, se leían hasta 5 señales de disparo), por lo que se considerará implementar un filtro pasivo para solo obtener una señal por cada accionamiento.

Subsistema Superficie: Dado que aún no se prueba dicho subsistema, la idea original de colocar un motor que “jale” la rueda de freno con la que ya cuenta la bicicleta sigue siendo la primera opción de solución.

Para terminar y como consideración final para todos nuestros sistemas, se buscará la forma de aislarlos, para evitar cualquier fallo por hardware y evitar cualquier contacto no seguro entre sistema- usuario. También es necesario contemplar que las soluciones requieren fijación, por lo que hay que tomar en cuenta diversos tipos de ensamblajes y uniones entre sensores, dispositivos y cableado, con el soporte.

5. Diseño de Detalle

Una vez se seleccionaron las mejores soluciones para cada sistema, es momento de analizar cómo se pondrán y cómo interactúan cada uno de ellos. El Diseño de Detalle nos ayuda a conocer cada uno de los elementos que están implicados en el dispositivo final, sus dimensiones, restricciones, evaluando las características necesarias que no pueden ser excluidas y que llevan a una mejor selección de la solución, en caso de que el diseño conceptual haya fallado en seleccionar algún componente. Es también en esta parte del proceso que podemos decidir los materiales posibles, métodos de ensamble, detalles de conexión y calibración de sensores, etc. En este apartado se hará un análisis de las soluciones planteadas, se propondrá el circuito final con dichas soluciones y un CAD básico del Modelo de Apariencia

Tomando las soluciones seleccionadas por cada sistema y subsistema del hardware del simulador, a continuación se explicará a detalle en qué consiste cada una de ellas.

a) Sistema de Soporte

Consiste en una bicicleta estática, con pedales que transmiten el giro con una catarina sobre una llanta, la cual si es frenada aumenta la resistencia de giro en pedales. Tiene un manubrio que puede girar, como lo hacen las bicicletas, pero sin modificar la posición de la llanta (solo gira el manubrio, el cuerpo de la bicicleta se mantiene estático). En la parte lateral junto a la llanta hay una lámina de polímero (plástico), la cual funciona como base para el microcontrolador y circuitos. El manubrio incorpora un freno, como las bicicletas normales, el cual sirve de soporte para el botón (Subsistema acción). La altura del asiento es ajustable, la del manubrio no.

Dimensiones: 95.9 [cm] x 40.2 [cm] x 76.5 [cm]

Material: Estructura de acero cromado, extremos del manubrio de polímero, lámina lateral de plástico, asiento de polímero, pedales de aluminio con polímero.

Uniones: Acero cromado tubular unido por soldadura, manubrio y asiento unidos por rosca, extremos del manubrio a presión, pedales por tornillo.

b) Sistema de Sensado

Este sistema involucra las mediciones para determinar la orientación dentro del juego (desplazamiento a derecha o izquierda), la velocidad de desplazamiento del usuario, activar su arma de defensa, y por supuesto determinar su presencia en el juego. A continuación se definirá cada uno de los subsistemas.

Presencia. Consiste en un sensor de presión resistivo el cual manda una señal al microcontrolador si detecta la presencia de alguien sobre el asiento.

Dimensiones: 4.37 [cm] x 4.37 [cm] x 0.046 [cm]

Material: Capas de conductores, semiconductores y adhesivos (Figura 41)

Unión con asiento (Soporte): Adhesivo



Figura 40. Vistas del Sistema de Soporte.PNG

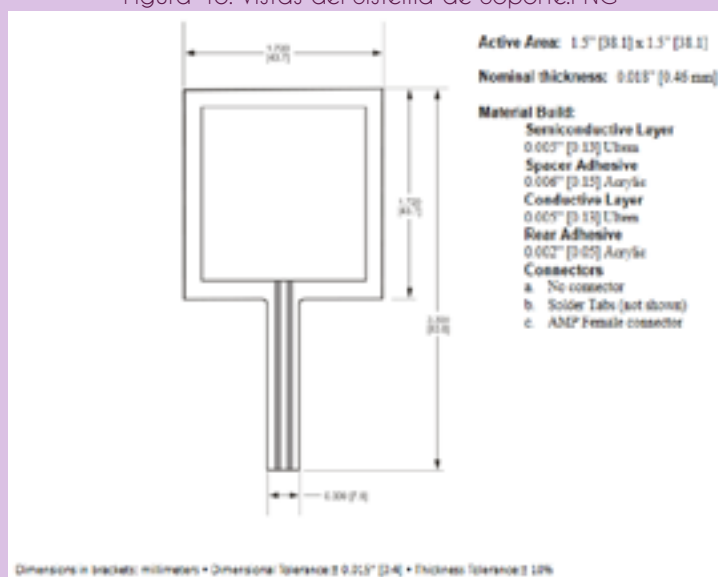


Figura 41. Sensor de Presión Resistivo [54].PNG

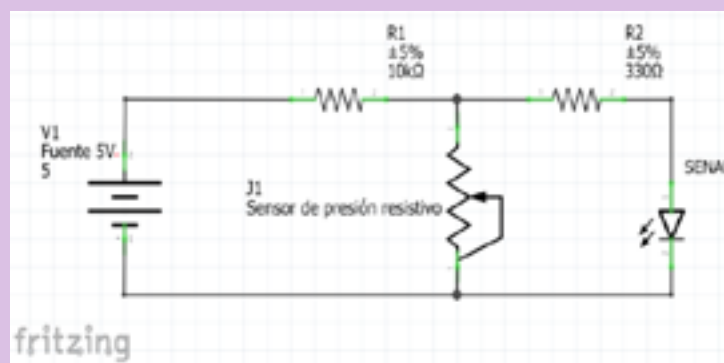


Figura 42. Diagrama de conexión Subsistema de Presencia.PNG

Sentido. Este subsistema consiste en un encoder de cuadratura creado a partir de dos sensores de efecto Hall y dos discos de imanes. Los imanes tienen un desfase para crear el encoder. Uno de los sensores está en la interrupción por timer del Arduino UNO.

Dimensiones:

Módulos: 2 [cm] x 1.5 [cm] x 0.3 [cm]

Caja: 1.9 [cm] x 3.5 [cm] x 4.1 [cm]

Discos: MDF 3 [mm], radio 3 [cm]

Material: Placa con un Sensor de Efecto Hall SS49E, comparador LM393, resistencia variable para calibración, resistencias y LEDs [55] & 12 Imanes.

Unión con Soporte:

Tornillos para fijar en una caja que irá fijada a Soporte igualmente por tornillos.

Adhesivo para fijar imanes a rayos de llanta.

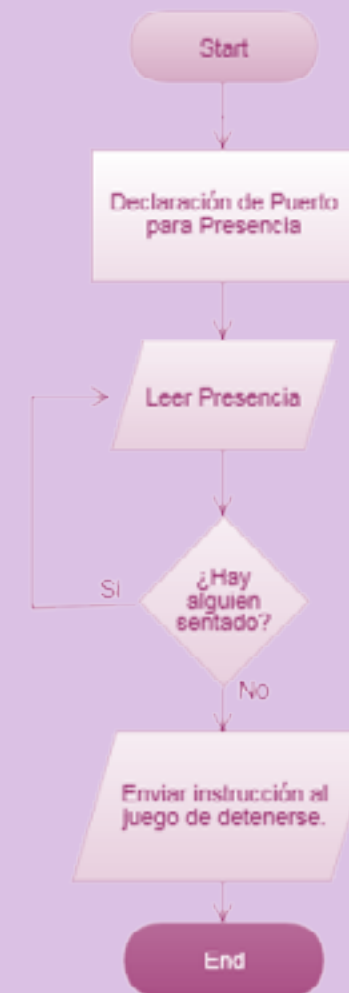


Figura 43. Diagrama de flujo Subsistema de Presencia.PNG



Figura 44. Módulo Sensor de Efecto Hall (izquierda) [55] y Ejemplo de desfase de imanes en dos discos (derecha) [56].PNG

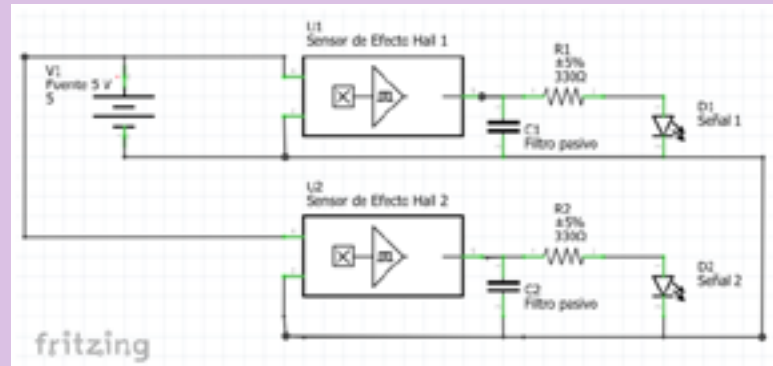


Figura 45. Diagrama de conexión Subsistema de Sentido.PNG

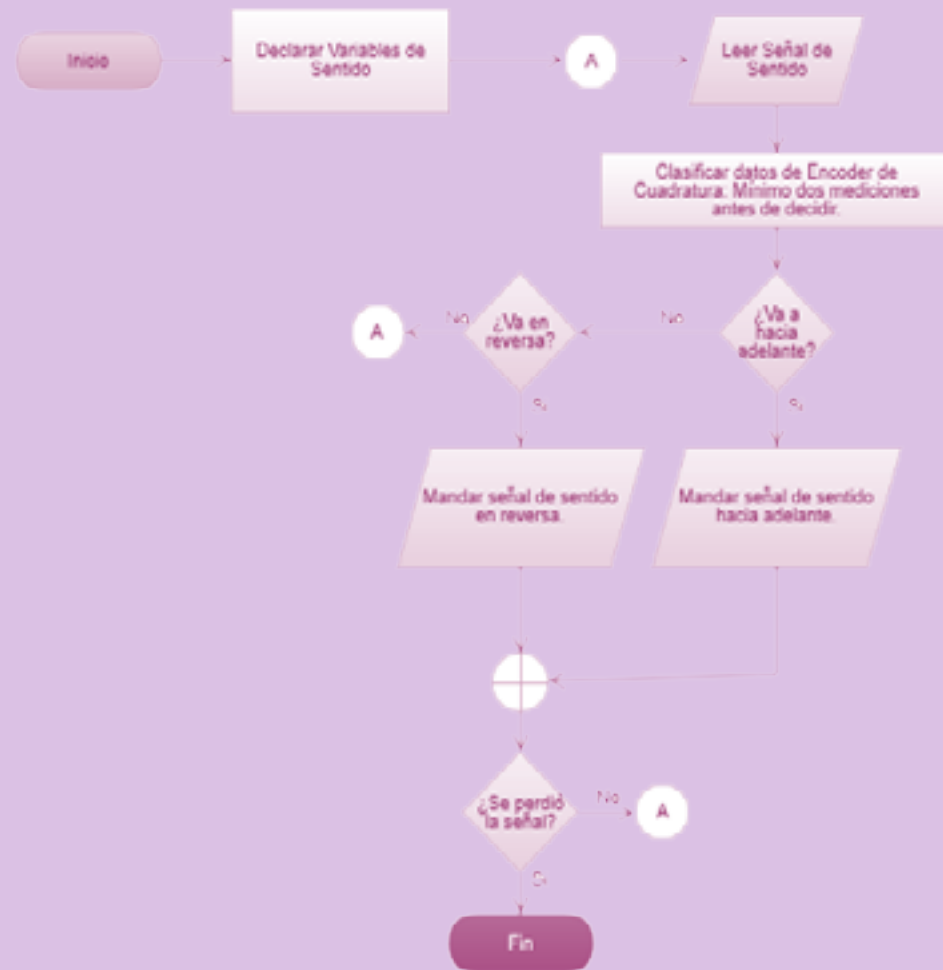


Figura 46. Diagrama de flujo Subsistema de Sentido.PNG

Dirección. Este sistema consiste en un módulo de magnetómetro HMC5883L, el cual puede medir la posición del manubrio para conocer el ángulo en que se encuentra, y traducirlo en el juego, por lo que como se mueve el manubrio se mueve la bicicleta en la interfaz.

Dimensiones: 1.6 [cm] x 1.8 [cm] x 0.254 [cm] [57]

Material: Placa con magnetómetro HMC5883L y diversos encapsulados.

Unión con Manubrio (Soporte): Tornillos para fijar en una caja que irá fijada a Soporte igualmente por tornillos.



Figura 47. Subsistema de Sentido.PNG



Figura 48. Módulo Magnetómetro HMC5883L [57].PNG

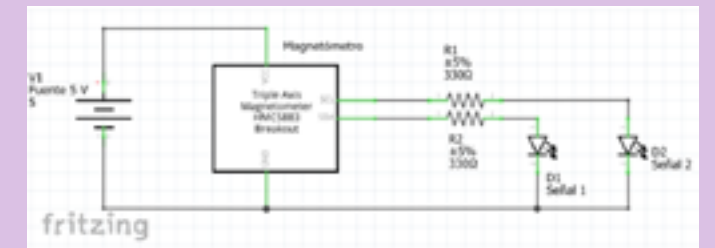


Figura 49. Diagrama de conexión Subsistema de Dirección.PNG

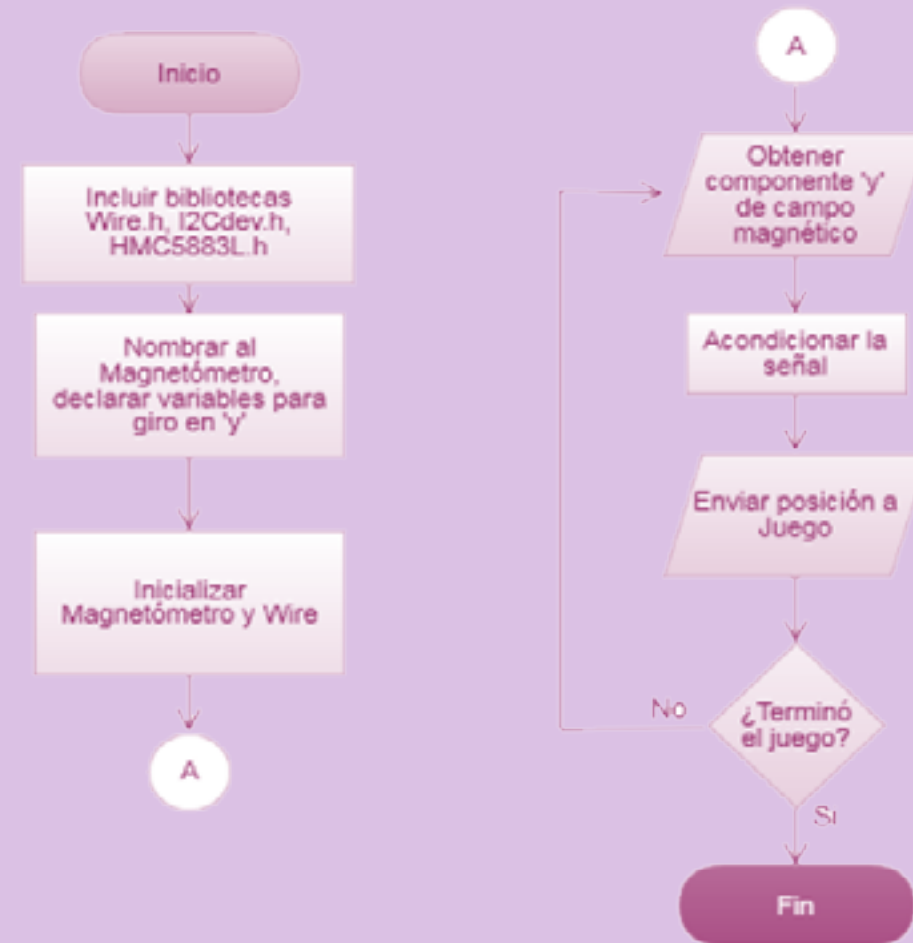


Figura 50. Diagrama de flujo Subsistema de Dirección.PNG

Acción (botón). Este subsistema consiste en un botón colocado en el manubrio de la bicicleta accionado al presionar la palanca de freno. La señal de este sistema va conectada a la interrupción por evento del Arduino UNO.

Dimensiones:

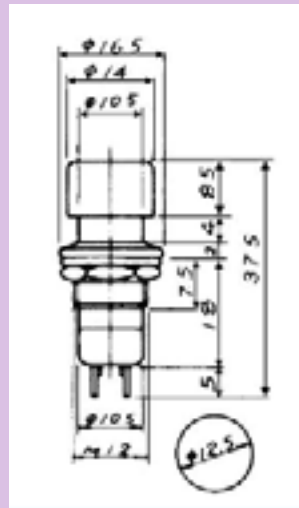


Figura 52. Dimensiones [mm] de subsistema Acción [58].PNG

Material: Botón redondo con pines de metal y accionador de polímero.

Unión con palanca de Freno (Soporte): A presión

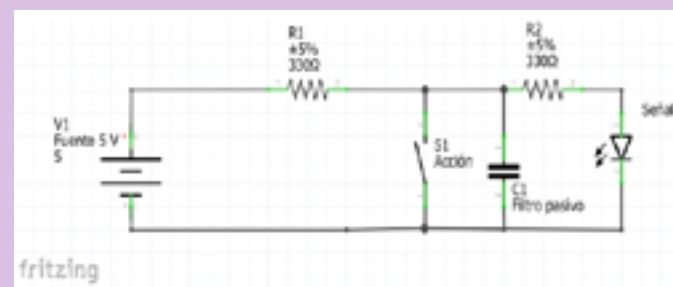


Figura 54. Diagrama de conexión Subsistema de Acción.PNG



Figura 53. Subsistema de Acción [58].PNG



Figura 51. Subsistema de Dirección.PNG

c) Sistema de Audio

Este sistema es el mismo que se empleó en la prueba de concepto. El Audio se maneja desde la interfaz en Unity 3D, asignando pistas a los distintos eventos que ocurren al interactuar en el ambiente virtual.

d) Sistema de Visión

Al igual que Audio, este sistema es el mismo empleado en la prueba de concepto. Para poder jugar un juego con el headset, Unity 3D pone a disposición una función en la cámara del juego. Mientras corre el juego, se envía información de gráficos a Oculus Rift por medio de la tarjeta gráfica, el cable HDMI y el cable USB.

e) Sistema de Retroalimentación

Este sistema es el encargado de reaccionar con el usuario cuando realiza ciertas acciones en el juego. A continuación se definirá cada uno de los subsistemas.

Velocidad. Consiste en un ventilador que lanzará una cantidad de viento proporcional a la velocidad con que se pedalea. Este subsistema está íntimamente relacionado con el subsistema de Sentido pues es con el Sensor de efecto Hall conectado a la interrupción por evento del Arduino UNO que se determina la velocidad.

Material: Polímero y conductores (bobinados)

Unión con manubrio (Soporte): Tornillos para fijar en una caja que irá fijada a Soporte igualmente por tornillos.



Figura 56. Subsistema de Velocidad.PNG

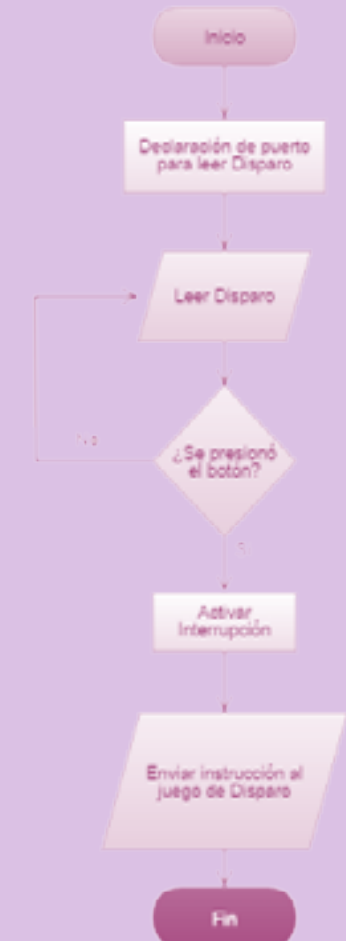


Figura 55. Diagrama de flujo Subsistema de Acción.PNG

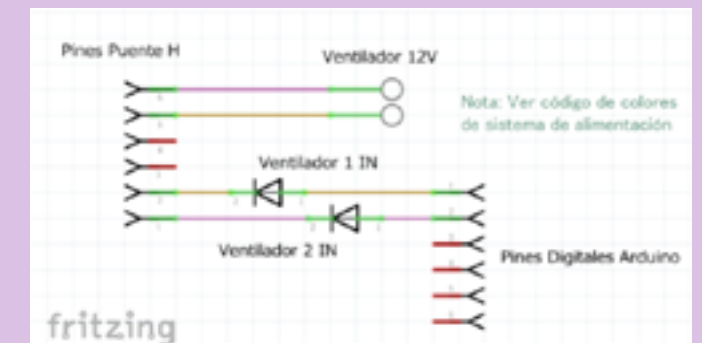


Figura 57. Diagrama de conexión Subsistema de Velocidad.PNG

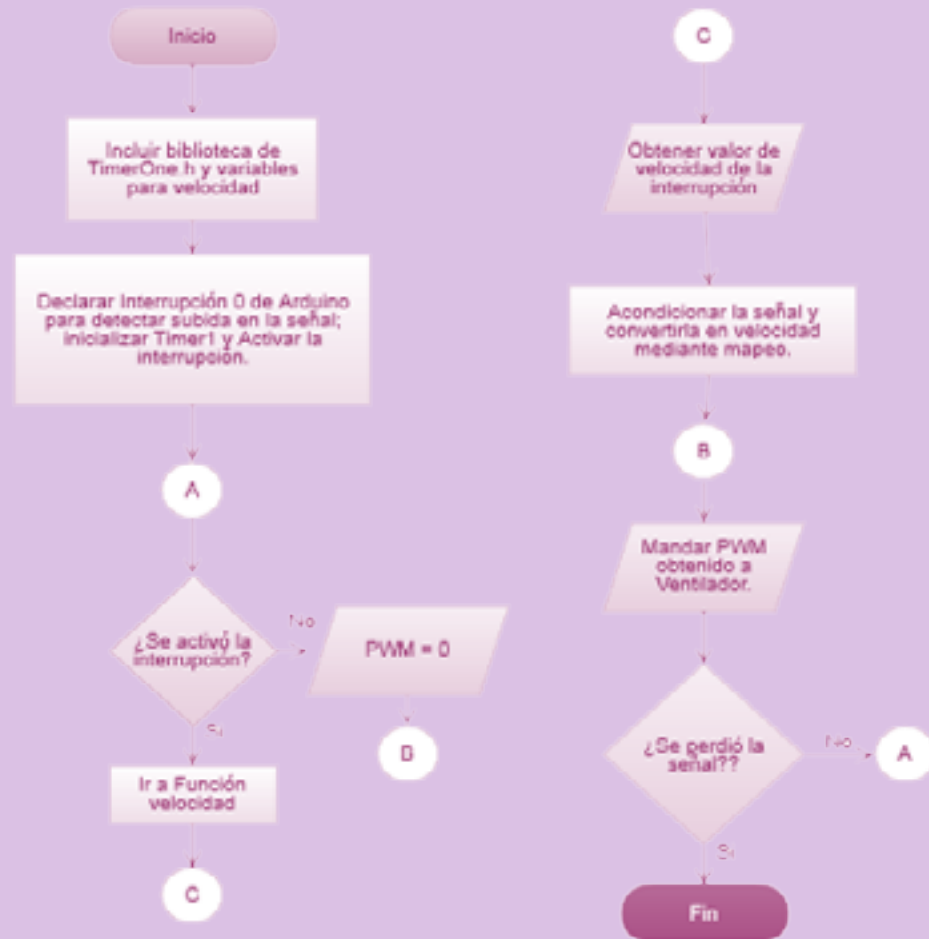


Figura 58. Diagrama de flujo Subsistema de Velocidad.PNG

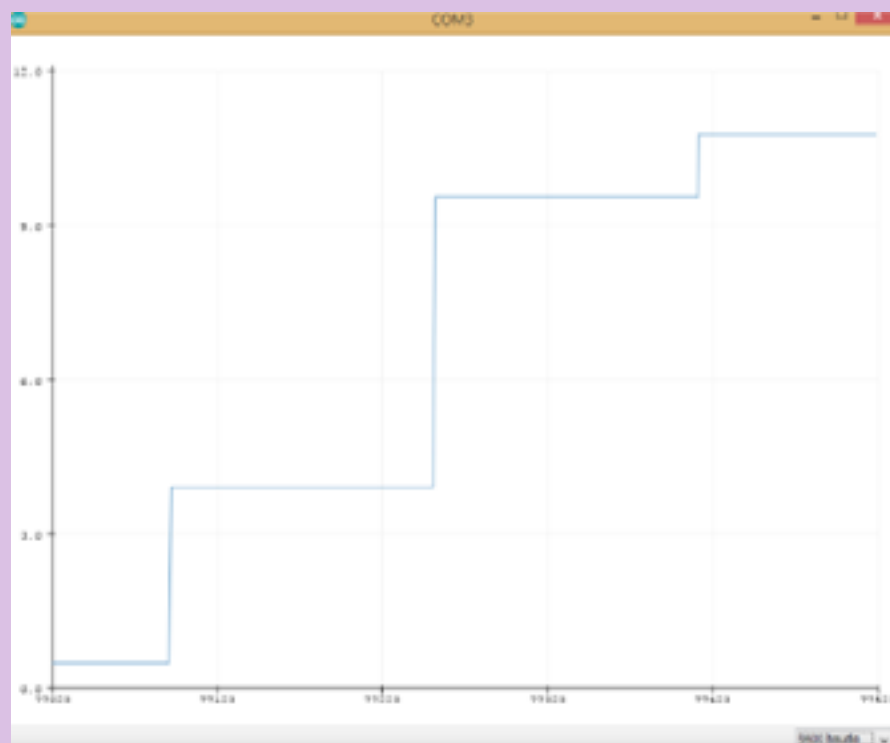


Figura 59. Caracterización del ventilador del Subsistema de Velocidad.PNG

Para caracterizar el ventilador se realizó un mapeo de los datos que se recibía del subsistema de avance y se asignó un valor de PWM tras evaluar las velocidades a las que se podía llegar cuando se empleaba la bicicleta (Figura 59).

Superficie. Consiste en un freno para la llanta de la bicicleta, que se activa al interactuar con distintas superficies dentro del juego. El freno se acciona con un motor DC que jala el chicote del mecanismo, controlando la fuerza de frenado con un encoder de cuadratura en el mismo eje del motor.

Dimensiones:

Motor: 10.3 [cm] x 4.4 [cm] x 5.8 [cm]

Freno: 12.0 [cm] x 11.3[cm] x 4.5 [cm]

Chicote: 50 [cm] largo

Material:

Motor de DC

Freno "V Brake" de Benotto

ITR8 102 y acrílico (Encoder)

Manufactura y Unión con Soporte:

-Se soldaron nuevos tubos para alcanzar el espacio necesario de colocación de frenos.

-Se mandó a roscar el motor para lograr tener puntos de sujeción, al igual que se perforó una placa en su eje, para atorar el chicote.

-Se perforó con un taladro dichos tubos, y el tubo de la base, para colocación del motor.

-Se colocó el freno con tornillos, rondanas y tuercas, al igual que el motor.



Figura 60. Subsistema de Superficie, Solo Motor (izquierda), Motor con Encoder (derecha).PNG

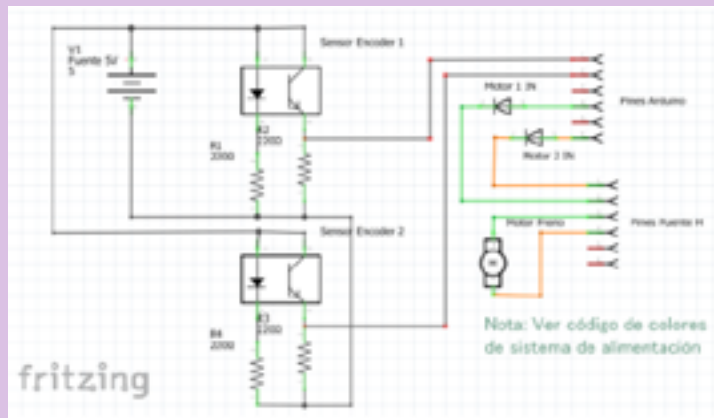


Figura 61. Diagrama de conexión Subsistema de Superficie.PNG

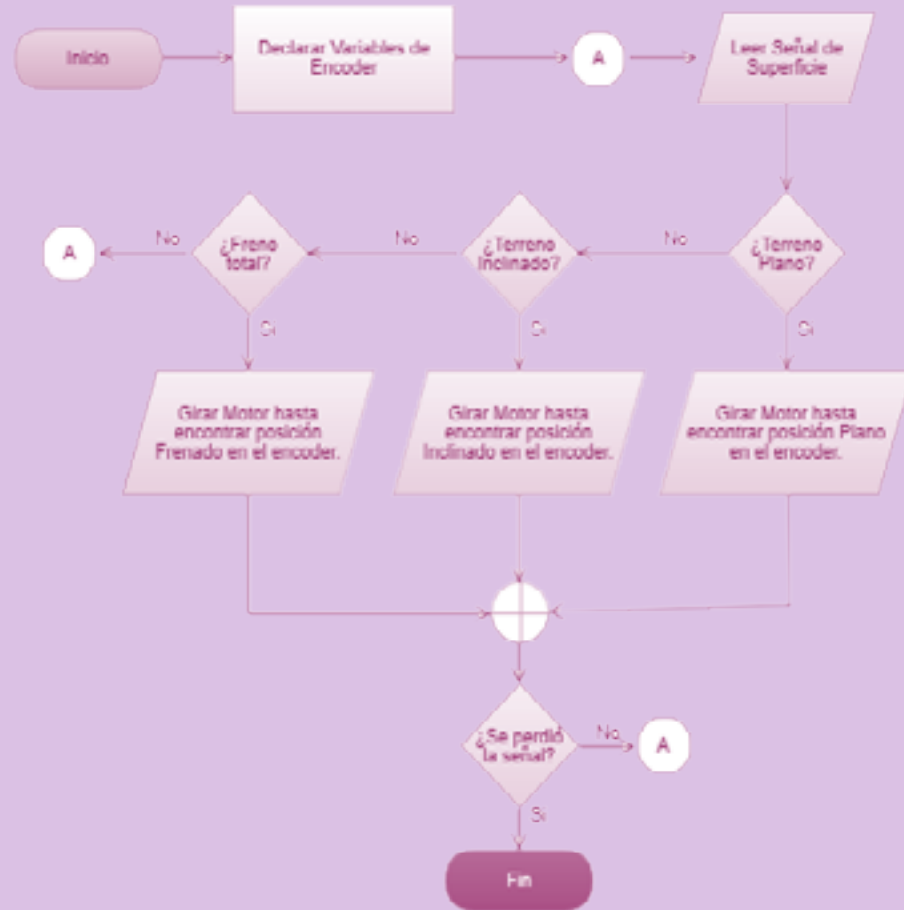


Figura 62. Diagrama de flujo Subsistema de Superficie.PNG

f) Sistema de Comunicación

El sistema permite el intercambio de datos (lectura ↔ escritura) entre el dispositivo de procesamiento y la interfaz (videojuego) a través de un protocolo USB integrado en el Arduino UNO y un adaptador hembra USB tipo B con cable (Figura 63).



Figura 63. Sistema de Comunicación [59].PNG

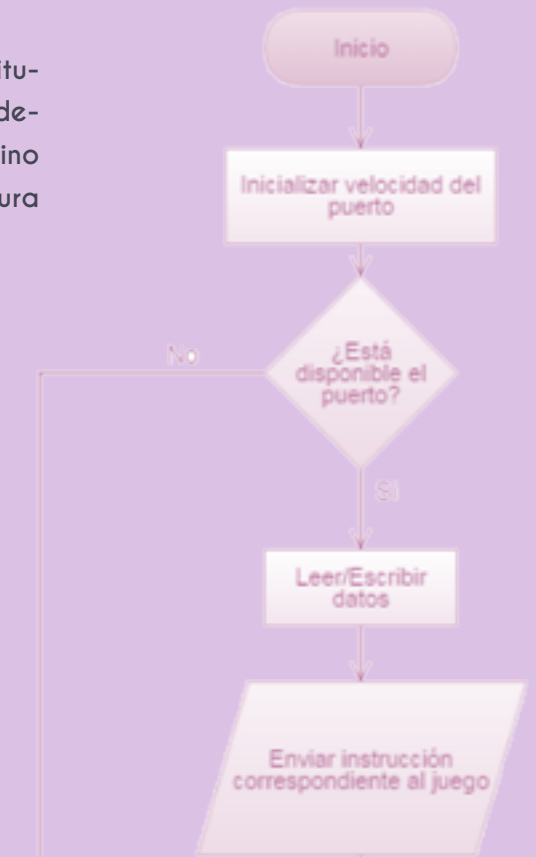


Figura64.DiagramadeflujoSistemadeComunicación.PNG

g) Sistema de Software

Este Sistema es el que brinda el control de los sensores, actuadores, interfaz y provee las herramientas virtuales para lograr dicha interfaz. A continuación se explicará cada uno de estos subsistemas.

Procesamiento. Este subsistema fue implementado con la tarjeta de desarrollo Arduino UNO, haciendo uso de algunos puertos analógicos, digitales, y las dos interrupciones con las que cuenta (Pin 2 y 3) para hacer la adquisición de señales provenientes de los sensores.

A continuación se muestra el diagrama de flujo (Figura 65) donde se desglosan las operaciones que tienen lugar para la lectura/escritura de los datos una vez que se inicia el proceso desde la computadora.



Figura 65. Subsistema de Procesamiento [60].PNG

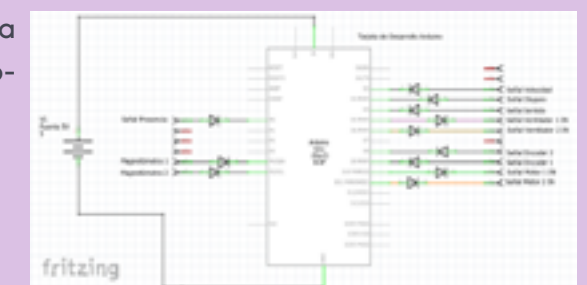


Figura66.DiagramadeconecciónSubsistemadeProcesamiento.PNG



Figura 67. Diagrama de flujo Subsistema de Procesamiento.PNG

Motor de Juegos. El videojuego fue desarrollado dentro de la interfaz de Unity 3D version 5.3.3. Para su programación se consideran 3 mecánicas que darán lugar a todo el juego. Dichas mecánicas se describirán a continuación:



Figura 68. Entorno de Desarrollo de Videojuegos en Unity 3D.PNG

Movimiento: El jugador podrá moverse (avanzar-retroceder) en el juego mediante los pedales de la bicicleta y girará con el manubrio; el jugador podrá girar sólo si se está moviendo.

Recolección de ítems: El jugador podrá recolectar ítems que le ayudarán a recuperar salud, así como monedas que le darán puntos y fragmentos de alma, robada al inicio del juego. En todos los casos, basta con dirigirse hacia alguno de estos objetos y tocarlo o chocarle para recolectarlo.

Batallas con enemigos: El jugador podrá disparar para defenderse de ciertos tipos de enemigos, mediante el botón que se encuentra en el manubrio de la bicicleta. Los disparos saldrán en la dirección en la

que apunte el manubrio.

Condiciones de victoria y derrota

Como el objetivo del simulador es motivar la actividad física no hay condiciones de victoria ni de derrota como tales, sólo existe la limitante del tiempo y la barra de vida que posee el jugador, pues se trata de que cada sesión el participante logre un mejor desempeño/rango al anterior, o bien, supere el de otros jugadores.

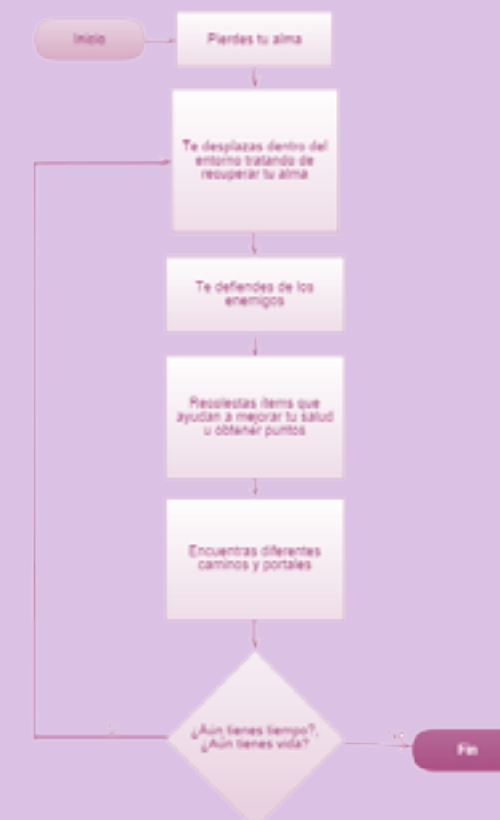


Figura 69. Diagrama de flujo dentro del juego.PNG

Modelado. Este subsistema empleó el Software Blender para realizar algunos de los modelos empleados durante el juego. A continuación se mostrarán ejemplos de dichos modelos, los cuales se realizaron con modelado Low Poly, el cual ayuda a hacer objetos menos pesados para el procesador, y de esta manera poder enfocar la velocidad de procesamiento a otras funciones dentro del juego.

i) Modelado y texturizado de la bicicleta

Modelo de bicicleta que el usuario utilizará para transportarse dentro del entorno, recolectar objetos y defenderse de los enemigos, generando la mayor puntuación posible antes de alcanzar un límite de tiempo.



Figura 70. Modelado de bicicleta sólido (izquierda) y con texturas (derecha).PNG

II) Modelado y texturizado de la bala

El jugador puede disparar a los fantasmas con estas balas, defendiéndose, derrotándolos y ganando

puntos. Si un fantasma recibe un disparo del jugador, entonces habrá sido derrotado y desaparecerá.

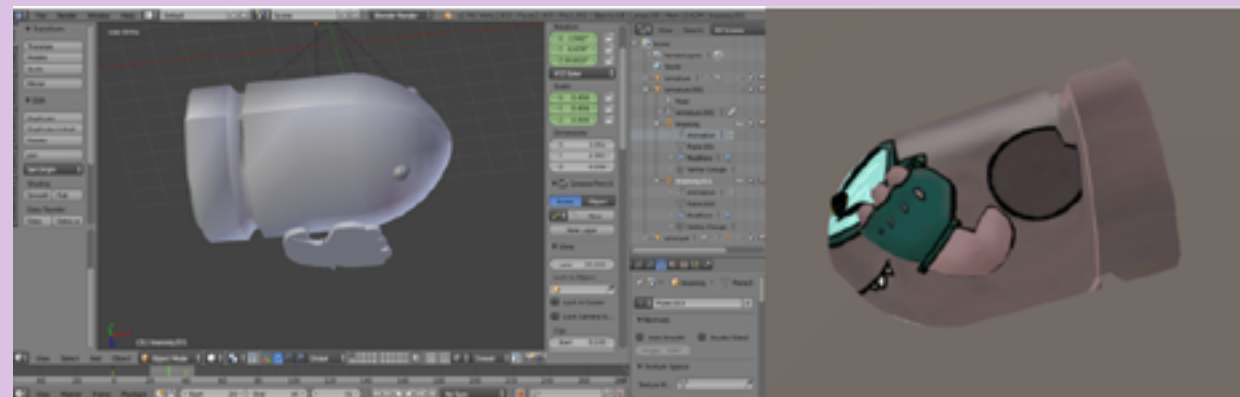


Figura 71. Modelado de bala sólido (izquierda) y con textura (derecha).PNG

II) **Items Monedas:** Las monedas se encuentran esparcidas a lo largo del juego, y aparecen siempre en

grupos de 5 a 10. Cada moneda otorga 100 [puntos].

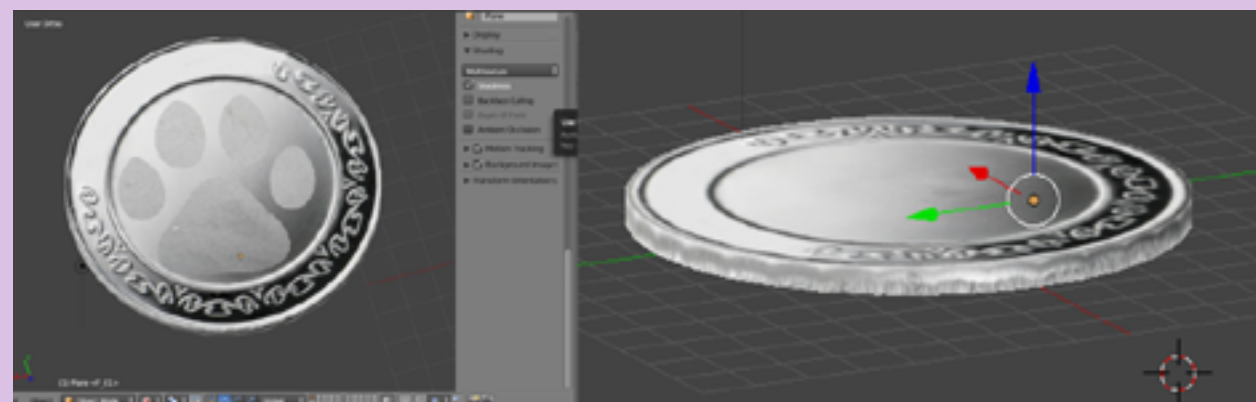


Figura 72. Modelo texturizado de Moneda.PNG

IV) Señalizaciones

Se modelan como guía para los jugadores, para que

puedan recordar la ubicación de algunos objetos como los portales, calles y demás.



Figura 73. Ubicación de algunos de los cruces dentro del entorno de Unity.PNG

h) Sistema de Alimentación

Dado que la tarjeta de desarrollo Arduino Uno, al igual que los sensores que conforman el sistema de sensado funciona con un voltaje de 5 [V], sólo se requerirá alimentación adicional para activar el ventilador y el motor DC, los cuales trabajan en este simulador con 12 [V] y 1 [A]. Por ende se escogió el siguiente eliminador como sistema de alimentación

Salida de voltaje regulado: 3 / 4,5 / 6 / 7,5 / 9 / 12 [Vcc]

Corriente: 1.2 [A] máxima

Dimensiones: 5 x 7.5 x 3.5 [cm]



Figura 74. Sistema de Alimentación [61].PNG

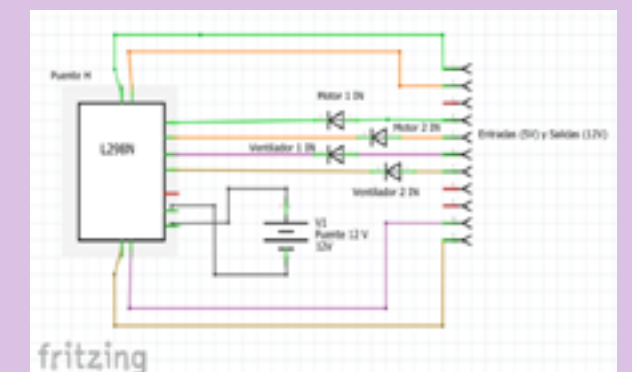


Figura 75. Diagrama de conexión Sistema de Alimentación.PNG

i) CADs de Soporte (bicicleta) con Sistemas colocados

Como se mencionó en la selección de AF a promover, una bicicleta estática (Magistroni) se utilizó como modelo de soporte para todo el hardware. A con-

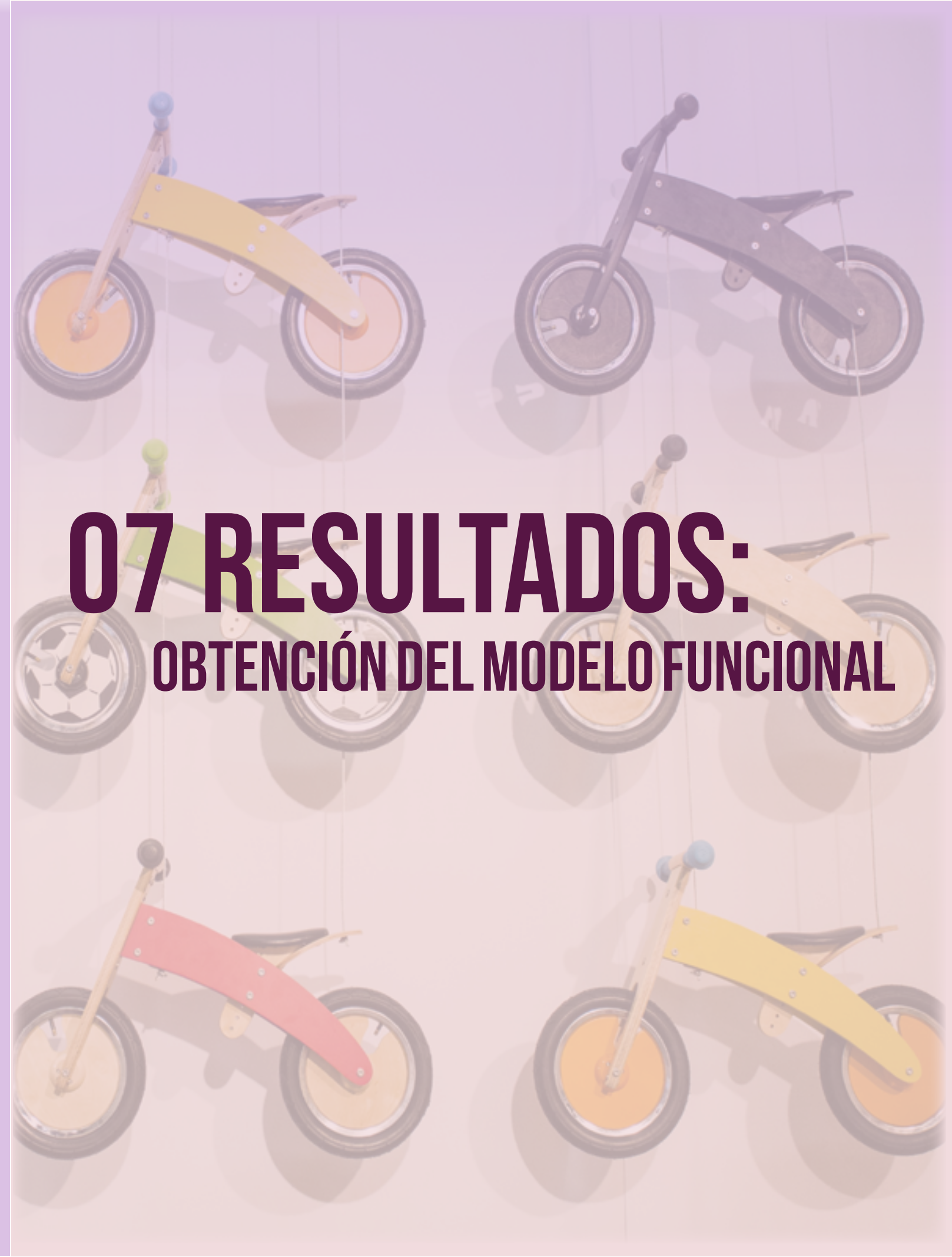
tinuación se muestran algunas de las vistas isométricas de la misma y la disposición del acomodo de los módulos que contienen los sistemas seleccionados; las dimensiones por módulo se encuentran en los anexos de la presente tesis (Anexo 5).



Figura 76. Vista Isométrica NE del sistema.PNG



Figura 77. Vista Lateral (izquierda) y Vista Isométrica SE (derecha) del sistema.PNG



07 RESULTADOS: OBTENCIÓN DEL MODELO FUNCIONAL

A partir de las pruebas realizadas con el 1er modelo funcional y con las modificaciones reportadas en el diseño de Detalle se dispuso poner a prueba los cambios realizados a los diferentes sistemas, con el fin de validar su funcionamiento y mejora. Es así como el modelo obtenido en esta segunda iteración (en esta ocasión, se probó el subsistema de retroalimentación: Superficie) para dar paso a una experiencia virtual, con el que se obtendrá la herramienta que será capaz de motivar a las personas a aumentar su nivel de AF.

A continuación se presenta el segundo modelo funcional del sistema, mismo que fue probado por estudiantes de la FAD (Facultad de Artes y Diseño) y usuarios dentro del Edificio CIA de la Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria; además se muestra un análisis de los datos obtenidos a partir de estas experiencias, buscando afinar los últimos detalles dentro de cada sistema.

a. Pruebas de los elementos dentro de los sistemas

Para evaluar el comportamiento de cada sistema se pidió a los participantes de las pruebas su opinión referente a algunos puntos tales como:

-Percepción de los objetos (edificios, monedas, enemigos, entorno en general)

- Su experiencia de pedaleo
- Respuesta de direccionamiento
- La sensación de aire al pedalear
- El esfuerzo al pedalear
- Si disparaba
- Su nivel de mareo
- Qué tanto se cansó



Figura 78. Pruebas con el segundo modelo funcional.PNG

b. Resultados

La encuesta que se realizó fue cualitativa, y pueden verse las respuestas en el Anexo 2. A continuación se dará un resumen de dichos resultados:

Tabla 20. Resultados generales de encuesta 4.jpg

Pregunta	Respuesta de voluntarios	
¿Los objetos son alcanzables?	Si: 86%	No: 14%
¿El pedaleo se sintió natural?	Si: 92.9%	No: 7.1%
¿El giro dirige a donde se deseaba?	Si: 35.7%	No: 64.3%
¿Se sentía aire dependiendo de la velocidad?	Si: 50%	No: 50%
¿Se percibió el freno?	Si: 42.9%	No: 57.1%
¿Se observó cuando salía la bala al disparar?	Si: 92.9%	No: 7.1%
¿Se sintió mareo?*	Mucho: 42.9%	Más o menos: 57.1%
¿Qué tanto se cansó el usuario?*	Sólo un poco: 57.1%	Nada: 42.9%

Número de voluntarios: 14

*Estas preguntas se hicieron con una escala, las respuestas registradas no alcanzaron los límites de las escalas por lo que se aproximan a Nada o Mucho, según el caso.

08 DISCUSIÓN

Tras haber realizado la prueba del segundo modelo funcional, se notó una serie de aspectos a corregir para un tercer modelo funcional. Esta sección analizará los distintos resultados obtenidos en estas pruebas, además de las propuestas para implementar las partes a mejorar, considerando que algunos de los detalles que se proponen fueron puestos a prueba o planteados en la primera fase del proceso de diseño, el diseño conceptual.

a. Análisis de Resultados

En la prueba, como ya se ha mencionado, participaron 14 voluntarios (Anexo 2). Los resultados de esta encuesta fueron cualitativos, preguntando acerca de la experiencia bajo propia percepción.

a.1 Percepción de realismo visual.

El 86% de los voluntarios opinó que el realismo de las imágenes era alto (podrían tocar el objeto si se extienden sus manos). Parte del efecto de emplear un visor de VR es transmitir imágenes desfasadas que concuerden con la naturaleza de visión de una persona, por ejemplo, si se está viendo hacia enfrente y se cierra un ojo, y luego éste se abre y se cierra el otro, no se verá exactamente lo mismo pues cada ojo está desplazado respecto al otro. Es gracias a la incorporación de esta técnica de visualización (separar el "foco" de la cámara de un ojo del otro) que se logra un efecto 3D. Por esta parte el realismo es claramente apreciable, sin embargo, hay que considerar el tipo de ambiente que se reproduce en el juego, el cual es más caricaturesco, brillante, y a veces presenta un desfase entre lo que hacemos y lo que nos muestra el visor. Son estas características las que se consideran como desencadenantes para la evaluación el 14% de los voluntarios que no sintieron real la experiencia visual. También hay que considerar que varios de los usuarios usaban lentes para mejorar su visión, y que emplear el headset implica retirarlos, por lo que no ven de la misma manera los efectos visuales o detalles en la pantalla del visor, y esto afecta la claridad con que pueden percibir el entorno.

a.2 Percepción de naturalidad de movimiento:

La evaluación de este factor fue dividida en dos partes, el pedaleo y el giro, ya que cada uno de estos sistemas responde diferente por los sensores empleados en cada uno. Para la parte del pedaleo, al solo una persona decir que el pedaleo no se sentía natural, se puede decir que la manera en que el cuerpo se mueve en una bicicleta estática es parecido a la manera en que lo hace en una bicicleta normal, el problema que se detecta con esta persona puede ser el tamaño de su cuerpo respecto a la bicicleta, ya que en este modelo, no se alteró la distancia del asiento ni la del manubrio, los cuales deben ser ajustables al tamaño de cada uno de los usuarios. En esta prueba, los usuarios no sintieron necesidad de emplear la reversa, lo cual indica que el realismo del simulador aumentó, ya que si los voluntarios han empleado bicicletas no fijas, se sabe que no se puede ir en reversa, de esta manera, si la experiencia es cercana a la real no se percibe diferencia entre uno y otro, y se emplea el simulador como si realmente se encontraran en una situación en la que van en bicicleta y reaccionan de acuerdo a esto. Para la parte de frenado (reacción a tipo de terreno), no se percibió. El principal problema con esta solución está en el material del freno. La solución empleada tiene un freno normal de bicicleta, el cual logra detener el movimiento de las llantas mediante fricción, lo cual crea un desgaste, sin embargo, al frenar ser una acción que se ocupa raramente durante un recorrido (no se aplica el freno continuamente), el desgaste es lento. En este simulador, para lograr que el efecto de pendiente y aumento de resistencia en un terreno, se debe aplicar el freno de manera continua durante el pedaleo, por lo que el desgaste es muy rápido y tras una serie de pruebas, los frenos ya se habían gastado, lo cual hizo que los usuarios no alcanzaran a percibir dicho frenado. En cuanto al giro, más de la mitad de los usuarios no consideran la reacción del manubrio normal.

Para la primer prueba se tenía un mecanismo en el que con girar súbitamente, se registraba un giro y éste se traducía en el juego, sin embargo para esta prueba, se manejaron intervalos, en los cuales si se entraba a alguno, la bicicleta virtual incrementa o disminuye radianes respecto a su eje de referencia, por lo mismo, aún no se ha logrado el efecto de giro natural, el cual es cambiar el ángulo de giro dependiendo de la posición exacta del manubrio respecto a su eje de referencia.

a.3 Percepción de velocidad:

La mitad de los voluntarios no percibieron el aire del ventilador. Esto se debe a la posición en que se puso el mismo, ya que el aire es dirigido directamente al rostro, sin embargo, el rostro está cubierto por el headset lo cual disminuye los puntos de contacto para el aire.

a.4 Percepción del entorno virtual:

Solo un voluntario no pudo ver las balas en el juego, esto es debido probablemente a que las balas salen a la altura del manubrio de la bicicleta y se mantienen a dicha altura, por lo que si el usuario no está volteando ligeramente hacia abajo, puede no percibir la bala.

a.5 Efectos físicos del simulador:

Uno de los principales problemas de la VR en la actualidad, es la sensibilidad del usuario a los movimientos rápidos percibidos visualmente. La VR representa una manera de engañar a los sentidos, sin embargo, el cuerpo está diseñado para reaccionar ante lo que se percibe mediante ellos, por lo que hay que considerar las reacciones normales del cuerpo ante algunas de las experiencias a presentar. En este caso, ir muy rápido y ver rápidamente cómo se desplazan los objetos alrededor, puede causar un efecto parecido al que se tiene al ir contando árboles al avanzar en un automóvil a gran velocidad, o al ir leyendo en el mismo, por lo que el mareo es muy frecuente en este tipo de aplicaciones, sin embargo, sólo 21% de los usuarios padeció este efecto, dejando abierta una ventana para mejorar la relación

del movimiento creado por el usuario y el interpretado en el ambiente virtual. Finalmente, y como punto principal de este trabajo, los usuarios pudieron percibir haber realizado actividad física en esta experiencia, la cual no duró más de tres minutos por prueba, lo que señala que este dispositivo realmente ha logrado un impacto físico en los voluntarios.

b. Mejoras para un tercer modelo funcional

Como parte del rediseño para mejorar las sensaciones, se plantea buscar un acomodo del ventilador que impacte más áreas faciales o expuestas a la intemperie, a fin de que la mayoría de las personas logre captar dicha sensación. Por otra parte, en lo que se refiere al manubrio se puede optar por realizar una calibración desde Unity, lo que hará que el usuario determine el ángulo de movimiento que para él es normal, permitiendo que se establezca un promedio de este valor con el cual será más fácil trabajar. En cuanto al subsistema de superficie, se propone implementar tres niveles de cambio de resistencia entre: terreno plano, pendiente y paro total, a fin de que el usuario pueda reconocer dichos cambios; pues cabe resaltar que en la prueba sólo se ejecutó un nivel de esta resistencia. También para este sistema se propone manufacturar los frenos con un material que se desgaste menos que el del freno actual, se propone como primera iteración nylamid por su facilidad de manufactura.

El campo de mareos queda a trabajarse en el *software* con ayuda de técnicas comunes que tienden a emplearse para aumentar el tiempo de juego en otras experiencias de VR, como es poner una nariz virtual, la distancia de los ojos en el juego respecto al juego, la velocidad del usuario al recorrer el ambiente virtual, entre otras. La nariz virtual ayuda al brindar al usuario una sensación de equilibrio, pues al emplear VR se crea una disonancia entre lo que ven tus ojos en la pantalla y el tipo de movimiento que el cuerpo siente, llevando a una desorientación y náusea.

El cerebro tiene la particularidad de tomar algunos objetos que vemos constantemente y bloquearlos de nuestra visión, sin embargo, puede detectar algún error si el objeto realmente no se encuentra ahí, y de aquí la razón de mareo. Si se coloca la nariz virtual, el cerebro podría detectar normalidad en lo que trata de procesar y disminuir la náusea. [66] La distancia de los ojos se refiere a tener la cámara que simula la visión en una altura acorde a la del usuario o la posición del usuario normal, por el mismo efecto de hacer creer al cerebro que lo que se está viendo está ocurriendo realmente, además de ayudar a hacer la experiencia lo más natural posible. El efecto de la velocidad también se relaciona con la percepción normal de movimiento del cuerpo. Un efecto semejante se puede sentir al ir en un automóvil, contando los árboles que van pasando, el cerebro no está acostumbrado ni listo para tener que diferenciar objetos puntuales a velocidades elevadas, por lo que el efecto común es el mareo. Ocurre lo mismo en la VR, si se procesa un movimiento muy rápido cuando no se está realizando un movimiento relativo a dicha velocidad. Lo ideal si se desea mover rápidamente es la teletransportación, pues el cambio es procesado con más tiempo (si se realiza el cambio de escena de manera correcta, es decir, se evalúa el tiempo de cambio de escena).

A partir de la información recabada en esta segunda prueba; se puede decir que el concepto del Segundo Modelo y su configuración queda considerado como factible, sólo faltando detalles en cuanto a calibración, mismas que pueden ser corregidas por software, para que pueda existir una sensación completa dentro de la experiencia del usuario.



09 TRABAJO A FUTURO

El mundo de la VR es apenas un inicio, el gran alcance que tiene esta tecnología puede traducirse en casi todas las áreas del conocimiento humano, si se desarrollan las aplicaciones necesarias y pertinentes para ello; en el caso de este simulador, las áreas de oportunidad en que puede desenvolverse son bastas. El primer paso para que esta experiencia llegue a las personas, es terminar el tercer modelo funcional a partir de los comentarios que se presentaron en la segunda prueba. Una vez este modelo funcione, hay que volver a probarlo, para evaluar tanto la funcionalidad de los sistemas corregidos, como la experiencia general de los usuarios, con el fin de pasar a una siguiente etapa, en la cual se diseñará un juego para determinar la condición física que puede lograrse con este simulador. Uno de los aspectos más interesantes de este proyecto, es que no se planea dejarlo de lado, si no que aún se estará trabajando en él. Actualmente, se colabora con alumnos de la FAD (Facultad de Artes y Diseño), para poder desarrollar una apariencia más agradable para los usuarios. Otro plan que se tiene es presentar el dispositivo en Medicina del Deporte para validar la actividad física que se realiza con el mismo. Un compañero de la facultad, de Ingeniería en Computación, trabaja con este proyecto apoyando en la parte de interfaz gráfica, programación y básicamente con el ambiente virtual del juego de demostración. Varios cambios se deben realizar para que este proyecto siga adelante. Hay planes de volverlo una tecnología wireless con el fin de hacer módulos que las personas puedan adecuar a sus propias bicicletas, sin embargo la investigación y trabajo para esto aún deben realizarse.

Este simulador puede ser ocupado más allá de realizar actividad física. Si se implementa el hardware y software adecuado, podría incluso ayudar a un acondicionamiento físico, que es el plan que se tiene al llevar el proyecto a Medicina del Deporte. Si se pueden hacer rutinas útiles para apoyar a la mejora de la condición física, el simulador puede incluso incorporarse en hospitales para apoyar en distintos tratamientos, como clínicas de obesidad o incluso desarrollar rutinas para rehabilitación. Cabe recordar que para prevenir las futuras enfermedades causadas por el sedentarismo, es necesario fomentar una cultura de actividad física diaria desde temprana edad, así que el ambiente lúdico también es importante. Si este simulador puede ser usado por niños y jóvenes, el impacto a futuro es prometedor.

Para finalizar, el campo de la VR es inmenso, pero aún no hay herramientas suficientes para lograr un realismo y una inmersión total. Si se desea mejorar este simulador, al igual que otras experiencias de VR, es una necesidad primordial investigar y apoyar el estudio de la estimulación sensorial virtual (cómo lograr engañar a los sentidos para que crean que lo que ocurre realmente se encuentra ahí): el arte de engañar a la visión y al oído es muy bueno, pero no hay que dejar de lado los otros tres sentidos, de los cuales el tacto se ha trabajado con sistemas hápticos, pero el olfato y el gusto aún son muy difíciles de engañar por métodos electrónicos y virtuales.

10 CONCLUSIONES

El proyecto tenía como base el desarrollo e implementación de un sistema inmersivo, lúdico que promoviera la AF mediante el uso de la tecnología de VR, y ya establecido, de acuerdo a las referencias de la OMS, que andar en bicicleta es una actividad que cubre los METs requeridos para un impacto benéfico sobre la salud, y con base en los resultados obtenidos en la prueba del segundo modelo funcional se dice que el modelo cubrió con aproximadamente 60% de los aspectos evaluados por los usuarios (Discusión incisos a-e), al ser percibidos como naturales tres de los sistemas propuestos quedando los otros dos para mejoras, dejando ver que ellos encuentran en el modelo una experiencia muy cercana a la generada con la de andar en bicicleta, lo que les permitió crear una interfaz humano-máquina (P2M) que respondiera acorde a sus movimientos, dejando que el la AF pasara a segundo plano. Aspecto que también nos da la pauta para concebir a la VR como una opción que motive a las personas a incrementar su nivel de AF. Así con este tipo de herramientas se les permitirá sentirse inmersos dentro de otros ambientes, que los reten mediante diferentes técnicas de gamificación.

En cuanto a inmersión se refiere (recordando que el nivel del mismo es medido en términos de cuántos sentidos impactamos) los sentidos estimulados dentro del modelo cubrieron el 60%, entre oído, visión y tacto, brindados por el sonido y ambientación del videojuego, los gráficos del mismo, y la retroalimentación usuario-máquina respectivamente, produciendo experiencias satisfactorias para los voluntarios en las pruebas, y dejándonos en la labor de encontrar alternativas de estimulación no intrusiva para los sentidos faltantes: olfato y gusto; acción que nos llevaría a hablar de una inmersión completa.

La interfaz desarrollada (mundo abierto para el segundo modelo) mostró la capacidad que tiene la computación gráfica para diseñar y reproducir ambientes que son atractivos visuales para el jugador, pues como se vio en los antecedentes, el arte, es una de las primeras pautas que determina si un usuario reincide o no en su uso. Por ende y basados en las opiniones de los participantes, la parte gráfica es un aspecto que

debe trabajarse mucho más, detallando los personajes y usando diferentes combinaciones de colores que permitan una mejor apreciación del entorno.

Si bien existe una amplia gama de sensores y actuadores que pueden utilizarse para la instrumentación del modelo, en la presente tesis se presenta una base de interacción usuario-máquina que cumple con las funciones planteadas. y que posteriormente podrán ser migradas a otro tipo de interfaz, microcontrolador o lenguaje de programación que sea más adecuado al área que se quiera orientar.

El método adoptado para la creación del modelo funcional podrá ser replicado e implementado en otro tipo de áreas, algunas de las cuales se mencionan en el trabajo a futuro, siempre y cuando se asegure que el sistema seguirá siendo lo suficientemente intuitivo, de tal manera que siempre existan los mecanismos de comunicación necesarios entre hardware y software para recibir información de los sensores y mandar señales a los actuadores en el momento que el usuario ejecute un movimiento tanto físico, como virtual, tal y como ahora lo hace.

Hasta este punto se cuenta con un modelo que evita comprometer la seguridad del usuario mediante el aislamiento de los sistemas, se debe tener en cuenta y de forma reiterativa que el impacto visual y ergonómico que se tenga del simulador será también un factor que influya en la reincidencia del mismo. Por lo que se deberá seguir trabajando en el diseño de apariencia del mismo para que en un futuro próximo se tenga un prototipo final que sea de sumo interés para otros campos además de el de la salud.

Finalmente, se puede decir que aunque existen dispositivos parecidos en el mercado, aún quedan muchos aspectos a explotar para brindar una experiencia totalmente inmersiva, y gracias a que las proyecciones que se tienen sobre VR apuntan a que aún se podrán generar nuevas y mejores versiones del sistema no queda más que ahondar en el desarrollo de diversas técnicas de ludificación que impulsen o impacten en la salud de los demás a través de más dispositivos como el planteado en esta tesis.

11 REFERENCIAS

- [1] Márquez Rosa, Sara, et.al., Sedentarismo y Salud: efectos beneficiosos de la actividad física. *Apuntes. Educación física y deportes*, 1er trimestre, pp. 12-24, 2006.
- [2] Caspersen, Carl J. PhD, et.al. Physical Activity, Exercise and Physical Fitness: Definitions and Distinctions for Health-Related Research, *Public Health Reports*, Vol. 100, No. 2, pp. 126-131, Marzo- Abril 1985.
- [3] Dr. Rajesh Chauhan, Health benefits of physical activity: There's probably more to it than just physical activity alone [En línea] Consulta: 16.4.2017 http://www.cmaj.ca/content/174/6/801.short/reply#cmaj_el_4252
- [4] Jetté M., Sidney K. y G. Blümchen, Metabolic Equivalent (METs) in the Exercise Testing, Exercise prescription, and Evaluation of Functional Capacity, *Clin. Cardiol.* Vol. 13, pp. 555-565, Agosto 1990.
- [5] Warburton, Darren E.R., et.al., Review: Health benefits of physical activity: the evidence, *CMAJ*, vol. 174 no. 6, pp. 801-809, Marzo 2006.
- [6] Organización Mundial de la Salud. 10 datos sobre la salud. [En línea] Consulta: 16.4.2016 http://www.who.int/features/factfiles/physical_activity/es/
- [7] Organización Mundial de la Salud. Actividad física. [En línea] Consulta: 16.4.2017 <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs385/es/>
- [8] La capital (2017) Promueven activación física para prevenir enfermedades [Figura] Recuperado de http://www.lacapital.com.mx/noticia/53909-Promueven_activacion_fisica_para_prevenir_enfermedades
- [9] Samari, Nima en Bunnyfoot. The growing importance of serious games. [En línea] Consulta: 25.4.2017 <http://www.bunnyfoot.com/blog/2015/01/the-growing-importance-of-serious-games/>
- [10] Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa. De los juegos a los videojuegos y a la gamificación. [En línea] Consulta: 25.4.2017 <http://www.ilce.edu.mx/index.php/opinionmenu/1011-de-los-juegos-a-los-videojuegos-y-a-la-gamificacion>
- [11] Yu-Kai Chou en Octalysis. Complete gamification Framework & The eight Core Drives of Gamification. [En línea] Consulta: 25.4.2017 <http://yukaichou.com/gamification-examples/octalysis-complete-gamification-framework/>
- [12] Imagen Taxonomy of Serious Games. [En línea] Consulta: 25.4.2017 http://blogs.epb.uni-hamburg.de/spielendlernen2011/files/2011/11/Sawyer_SeriousGamesTaxonomy.png
- [13] Cordero-Brito, Staling y José M. Díaz Puente. Gamificación en el ámbito social: una herramienta para la motivación y el compromiso. [En línea] Consulta: 25.4.2017 https://www.researchgate.net/publication/315818858_GAMIFICACION_EN_EL_AMBITO_SOCIAL_UNA_HERRAMIENTA_PARA_LA_MOTIVACION_Y_EL_COMPROMISO
- [14] Sailer, Michael, et al. How gamification motivates: An experimental study of the effects of specific game design elements on psychological need satisfaction. *Computers in Human Behavior*, Vol 69, pp. 371-380, 2017.
- [15] Sun-Tzu en Wiki-quote [En línea] Consulta: 28.4.2017 https://en.wikiquote.org/wiki/Sun_Tzu
- [16] Concari, Sonia Beatriz. Tecnologías emergentes: ¿cuáles usamos? *Lat. Am. J. Phys.Educ.* Vol. 8, No.3, pp. 494-503, Septiembre 2014. [En línea] Consulta: 27.4.2017 http://www.lajpe.org/sep14/13_LAJPE_899_Sonia_Concari.pdf
- [17] Woods, Teresa (Traducción). 'MIT Technology Review' presenta las 10 Tecnologías Emergentes de 2017 en MIT Technology Review. [En línea] Consulta: 27.4.2017 <https://www.technologyreview.es/s/6814/mit-technology-review-presenta-las-10-tecnologias-emergentes-de-2017>
- [18] Gartner (2016) Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2016 [Figura] Recuperado de <http://www.gartner.com/smarterwithgartner/3-trends-appear-in-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2016/>
- [19] La Evolución de la Tecnología Fitness en IQ, Intel [En línea] Consulta: 27.4.2017 <https://iq.intel.la/la-evolucion-de-la-tecnologia-fitness/>
- [20] Wii Fit en Wikipedia, The Free Encyclopedic, Wii Fit European box art [Figura] Recuperado de https://en.wikipedia.org/wiki/Wii_Fit
- [21] Ramírez Aguayo, Abraham (9 de octubre de 2015). Gamers: los nuevos gladiadores. *TechBit en El Universal*, pp. 32-33. [En línea] Consulta: 27.4.2017 https://issuu.com/abrahamramirezaguayo/docs/portadas_tech-bit_2015
- [22] Ramírez Aguayo, Abraham (23 de enero de 2015). Humanos hiperconectados. *TechBit en El Universal*, pp. 2-3, [En línea] Consulta: 27.4.2017 https://issuu.com/abrahamramirezaguayo/docs/portadas_tech-bit_2015
- [23] Purpura, Stephen y Victoria Schwanda, et al. Fit4Life: The Design of a Persuasive Technology Promoting Healthy Behaviour and Ideal Weight, Cornell University. [En línea] Consulta: 27.4.2017 <http://purpuras.net/acmpaper1645.pdf>
- [24] Piwek L, Ellis DA, Andrews S, Joinson A (2016). The Rise of Consumer Health Wearables: Promises and Barriers. *PLOS Medicine*, DOI:10.1371/journal.pmed.1001953. [En línea] Consulta: 27.4.2017 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4737495/pdf/pmed.1001953.pdf>
- [25] TechBit en El Universal. Tecnología, factor que impulsa industria de los gimnasios. 5 octubre de 2015. [En línea]. Consulta: 28.4.2017 <http://www.eluniversal.com.mx/articulo/techbit/2015/10/5/tecnologia-factor-que-impulsa-industria-de-los-gimnasios>
- [26] Rosario Reyes en El financiero. La tecnología al servicio del fitness. 12 octubre de 2015. [En línea]. consulta: 28.4.2017 <http://www.elfinanciero.com.mx/after-office/la-tecnologia-al-servicio-del-fitness.html>
- [27] Simon Parkin. 'MIT Technology Review' presenta Oculus Rift Oculus Rift. Thirty years after virtual-reality goggles and immersive virtual worlds made their debut, the technology finally seems poised for widespread use. [En línea] Consulta : 27.4.2017 <https://www.technologyreview.com/s/526531/oculus-rift/>

- [28] Virtual Reality en Merriam-Webster (diccionario online) [En línea] Consulta: 28.4.2017 <https://www.merriam-webster.com/dictionary/virtual%20reality>
- [29] Giraldi, Gilson, et al. Introduction to Virtual Reality, LNCC, Brasil. [En línea] Consulta: 28.4.2017 <http://www.lncc.br/~jauvane/papers/RelatorioTecnicoLNCC-0603.pdf>
- [30] 15.3 Different kinds of Virtual Reality en The Handbook of Research for Educational Communications and Technology [En línea] Consulta: 28.4.2017 <http://www.aect.org/edtech/ed1/15/15-03.html>
- [31] Juan Señor, et al (Editores). Innovation in magazine media. 2016-2017 report. 7a. ed. 2016, pp. 92-98. [En línea]. Consulta: 28.4.2017 <http://dan-skemedier.dk/wp-content/uploads/2017/03/fipp-innovation-in-magazines-2016-2017-1.pdf>
- [32] Paul Lamkin en *Wearable*. Best VR headsets 2017: HTC Vive, Oculus, PlayStation VR compared. (Marzo 14, 2017). [En línea]. Consulta: 28.4.2017 <https://www.wearable.com/vr/best-vr-headsets-2017>
- [33] VIRTUAL REALITY HEADSETS & GAMES en Gamestop: Power to the players. [En línea]. Consulta: 28.4.2017 <http://www.gamestop.com/vr>
- [34] Microsoft (2016), Windows 10 Headsets en Microsoft's \$300 Windows VR headsets: 6 things we know (and 1 big question) [Figura] Recuperado de <http://www.pcworld.com/article/3136156/virtual-reality/microsofts-300-windows-vr-headsets-6-thing-we-know-and-1-big-question.html>
- [35] Icaros (Página oficial). [En línea] Consulta: 28.4.2017 <http://www.icaros.net/index.php/pages/about-icaros/>
- [36] VR Boxing Workout en Steam. [En línea] Consulta: 28.4.2017 http://store.steampowered.com/app/494380/VR_Boxing_Workout/
- [37] Holofit: virtual reality for fitness, biking, Rowing & workout by Holodia (Página oficial) [En línea] Consulta: 28.4.2017 <http://www.holodia.com/>
- [38] Spencer Honeyman en INDIEGOGO. VirZOOM Virtual Reality Bike Controller and Games. [En línea]. Consulta: 28.4.2017 <https://www.indiegogo.com/projects/virzoom-virtual-reality-bike-controller-and-games#/>
- [39] BKOOOL. Connect: Sport (Página oficial). [En línea]. Consulta: 28.4.2017 <http://www.bkool.com/es>
- [40] Fitness Gaming Team (Abril 25,2016). Veloporter Sensor Delivers Wireless Virtual Cycling Experience for Mobile Devices. [En línea]. Consulta: 28.4.2017 http://www.fitness-gaming.com/news/markets/fitness-and-sports/veloporter-sensor-delivers-wireless-virtual-cycling-experience-for-mobile-devices.html#.V8dQ4_nhCzk
- [41] Evobe (Página oficial). [En línea]. Consulta: 28.4.2017 <http://www.activetainment.com/#evobe>
- [42] Curso innovación uc 2 04 09-2012. Proceso de desarrollo de productos [Figura] Recuperado de <https://es.slideshare.net/maxjohansson/curso-innovacion-uc-2-04-092012>
- [43] Dimensiones en JLL IC300 Indoor Cycling Exercise Bike Review [En línea] Consulta: 30.4.2017 <http://keepfitathome.com/jll-ic300-indoor-cycling-exercise-bike-review>
- [44] Carmen Villarreal E. La Ergonomía es parte del proceso de Diseño Industrial. [En línea] Consulta: 30.4.2017 <http://www.semac.org.mx/archivos/5-4.pdf>
- [45] ZigBee, Comparison of ZigBee with other wireless standards en Report: ZigBee- the next revolution in wireless technology [En línea] Consulta: 1.5.2017 <http://linuxdevices.linuxgizmos.com/report-zigbee-the-next-revolution-in-wireless-technology/>
- [46] Orsini, Lauren (2014). Arduino Vs. Raspberry Pi: Which Is The Right DIY Platform For You? en readwrite.com [En línea] Consulta: 1.5.2017 <http://readwrite.com/2014/05/07/arduino-vs-raspberry-pi-projects-diy-platform/>
- [47] Pic16f887 Datasheet por Microchip (2007) [En línea] Consulta: 1.5.2017 <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41291D.pdf>
- [48] Unity 5 vs Unreal Engine 4 en Create 3D games [En línea] Consulta: 1.5.2017 <https://create3dgames.wordpress.com/2015/09/07/unity-5-vs-unreal-engine-4/>
- [49] Unreal Engine en Wikipedia, la Enciclopedia Libre [En línea] Consulta: 1.5.2017 https://en.wikipedia.org/wiki/Unreal_Engine
- [50] Unity (motor de juego) en Wikipedia, la Enciclopedia Libre [En línea] Consulta: 1.5.2017 [https://es.wikipedia.org/wiki/Unity_\(motor_de_juego\)#Caracter.C3.ADsticas_Principales](https://es.wikipedia.org/wiki/Unity_(motor_de_juego)#Caracter.C3.ADsticas_Principales)
- [51] Padilla, Fernando. Comparativa Blender vs Maya en Mundo Geek [En línea] Consulta: 1.5.2017 <http://www.mundogeek.com/tutoriales/60-general/262-comparativa-blender-vs-maya>
- [52] Apple Shop Accesorios. Audífonos en oído Beats Solo2-Negro [Figura] Recuperado de <https://www.apple.com/mx/shop/product/MH8W2AM/B/aud%C3%ADfonos-en-o%C3%ADdo-beats-solo2-negro>
- [53] Oculus VR (2017). Oculus Rift DK2 [Figura] Recuperado de <https://www3.oculus.com/en-us/dk2/>
- [54] Part No. 406 (1.5" Square) en Force Sensing Resistors Integration Guide and Evaluation Parts Catalog with Suggested Electrical Interfaces en Interlink Electronics pp.12 (versión pdf) [Figura] Recuperado de <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Pressure/fsrguide.pdf>
- [55] Sensor de efecto Hall SS49E en Naylamp Electronics [En línea] Consulta: 5.5.2017 <http://www.naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/232-sensor-de-efecto-hall-ss49e.html>
- [56] Quadrature Encoder en Barr Group The embedded Systems Experts [Figura] Recuperado de <https://barrgroup.com/Embedded-Systems/Glossary-Q>
- [57] HMC5883L Triple Axis Compass Magnetometer sensor module en itead [En línea] Consulta: 6.6.2017 https://www.itead.cc/wiki/HMC5883L_TRIPLE-AXIS_COMPASS_MAGNETOMETER_SENSOR_MODULE
- [58] B161A Push Button Round Latch Red en RabTron Supplier and Importer of Electronic Components [En línea] Consulta: 6.5.2017 <http://shop.rabtron.co.za/catalog/b161a-push-button-round-latch-p-6779.html?osCsid=fiaui03pionqo26rgufc917a95>

- [59] Arduino UNO R3 en Zazetrex Technologies SAC [En línea] Consulta: 6.5.2017 <http://zacetrex.com/producto/arduino-uno/>
- [60] Arduino UNO & Genuino UNO en Arduino [Figura] Recuperado de: <https://www.arduino.cc/en/main/arduinoBoardUno>
- [61] Eliminador de 3 a 12 Vcc, 1,200 mA con puntas intercambiables ELI-1200 en Steren [En línea] Consulta: 6.5.2017 <http://www.steren.com.mx/eliminador-regulado-con-salida-de-3-a-12-vcc-1-2-amp.html>
- [62] Los codificadores innovadores ofrecen durabilidad y precisión sin compensaciones, Biblioteca de Artículos en DigiKey Electronics [En línea] Consulta: 19.5.2017 <https://www.digikey.com/es/articles/techzone/2015/nov/innovative-encoders-deliver-durability-and-precision-without-tradeoffs>
- [63] Gatillos en Guía para la verificación ergonómica de máquinas-herramientas empleadas en el sector de la construcción, pp.16 [En línea] Consulta: 19.5.2017 <http://ergonomia.lineaprevencion.com/uploads/pdfs/lista%20verif%20herramientas.pdf>
- [64] ¿Audífonos o bocinas? en noiselab [En línea] Consulta: 19.5.2017 <http://noiselab.com/blog/tecnologia/audifonos-o-bocinas/>
- [65] Pilas (extraído de DOMENECH,X.1993.Química Ambiental. 2da.Ed. Ediciones Miraguano. Madrid) [En línea] Consulta: 19.5.2017 <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/Pilas.htm>
- [66] How to reduce VR Sickness? Just add a virtual nose en Wired. [En línea] Consulta: 1.6.2017 <https://www.wired.com/2015/04/reduce-vr-sickness-just-add-virtual-nose/>
- [67] CONAPO, SEGOB. La estructura por edad de la población base en "Dinámica demográfica 1999-2019 y proyecciones de población 2010-2030".
- [68] 56% de los adultos mexicanos son sedentarios: INEGI [En línea] Consulta: 3.6.2017 <http://www.brunoticias.com/mexicanos-sedentarios-inegi/>
- [69] Sample size calculator en Creative Research Systems [En línea] Consulta: 3.6.2017 <https://www.surveysystem.com/sscalc.htm>
- [70] Introducción al giroscopio en 5Hertz electrónica [En línea] Consulta: 3.6.2017 <http://5hertz.com/tutoriales/?p=431>

12 ANEXOS



ANEXO 1. Información complementaria de Antecedentes

Tabla 21. Taxonomía de la Gamificación.PNG

	Juegos para salud	Advergaming*	Juegos de entrenamiento	Juegos para la educación	Juegos para ciencia e investigación	Producción	Juegos como trabajo
Gobierno	Educación en salud pública y respuesta de víctimas en masa	Políticas del juego	Capacitación de los empleados	Informes públicos	Colección y planeación de datos	Planeación de estrategias y políticas	Exposición pública
Defensa	Rehabilitación y bienestar	Reclutamiento y propaganda	Soldado/Entrenamiento de apoyo	Soldado/Entrenamiento de apoyo	Educación escolar	Planes de guerra e investigación de armas	Mando y control
Cuidado de la salud	Ciberterapia	Políticas de salud pública y campañas de conciencia social	Juegos de entrenamiento para profesionales de la salud	Juegos para pacientes. Educación y manejo de enfermedades	Visualización y epidemiología	Manufactura y diseño de biotecnología	Planeación y logística de la responsabilidad pública de la salud
Marketing y comunicaciones	Tratamiento publicitario	Publicidad, marketing con juegos, colocación de productos	Uso del producto	Información del producto	Investigación de opinión	Machinima**	Investigación de opinión
Educación	Investigación de opinión	Juegos sociales	Capacitar a maestros y a la fuerza laboral	Aprenderse	Ciencias computacionales y reclutamiento	Documental constructivo del aprendizaje ppp**	Educación a distancia
Cooperativo	Educación a distancia	Educación y conciencia del consumidor	Capacitación de los empleados	Educación continua y certificación	Publicidad/ visualización	Estrategias de planeación	Mando y control
Industria	Seguridad ocupacional	Ventas y reclutamiento	Capacitación de los empleados	Educación de la fuerza de trabajo	Simulación de procesos de optimización	Diseño de Nano/ Bio tecnología	Mando y control

*Desarrollo de juegos publicitarios. ** El arte de hacer películas animadas en un ambiente virtual 3D y en tiempo real. ***Persona a persona



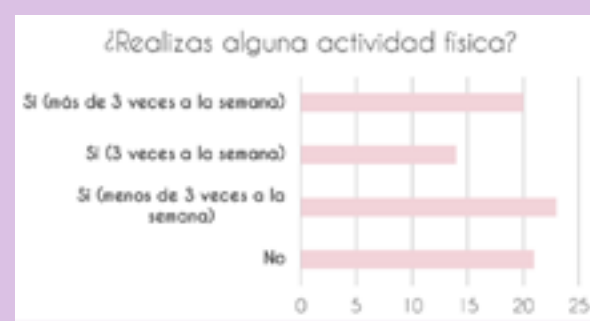
*(pantalla verde para la modificación de ambientes)



II. Resultados de la Segunda encuesta. Total de encuestados: 10

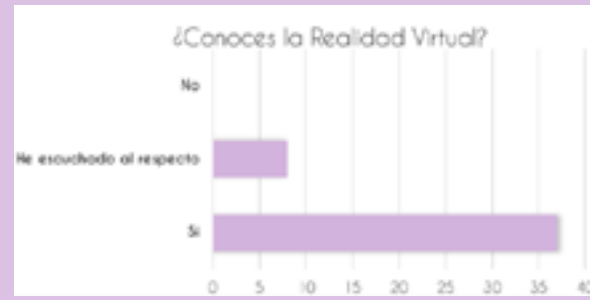
ANEXO 2. Estadísticas de las encuestas (252 personas en total)

I. Resultados de la Primera encuesta. Total de encuestados: 78

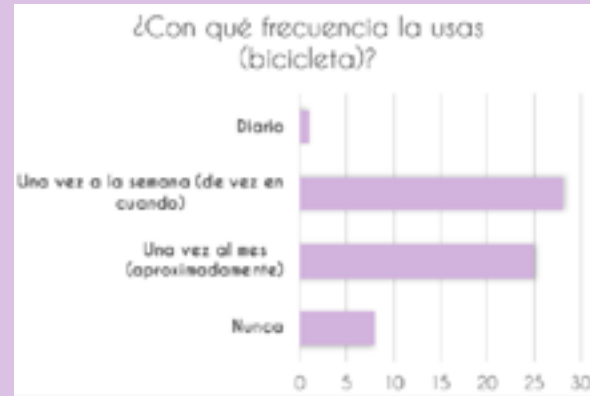


Encuestados que no cuentan con bicicleta (45)

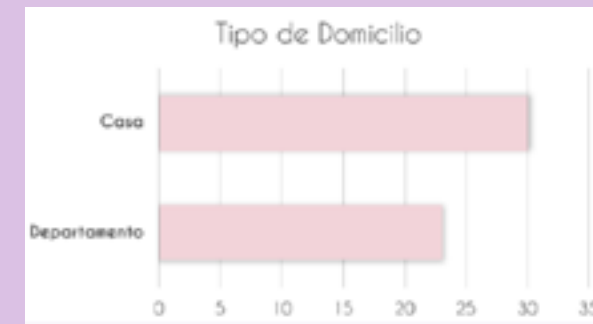




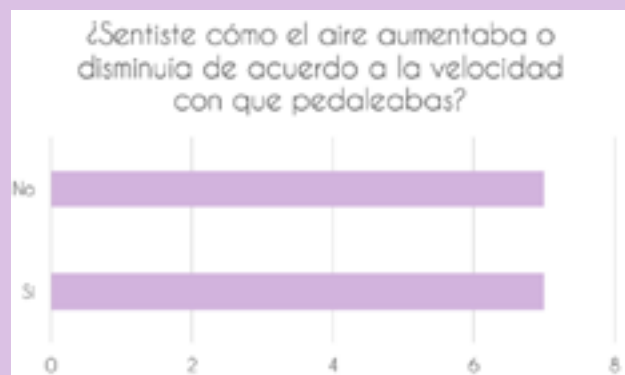
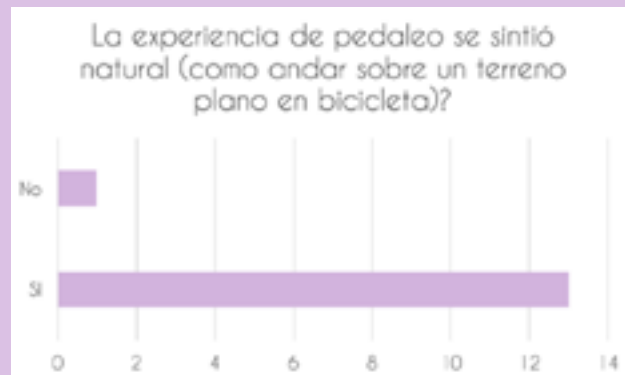
Encuestados con bicicleta (62)



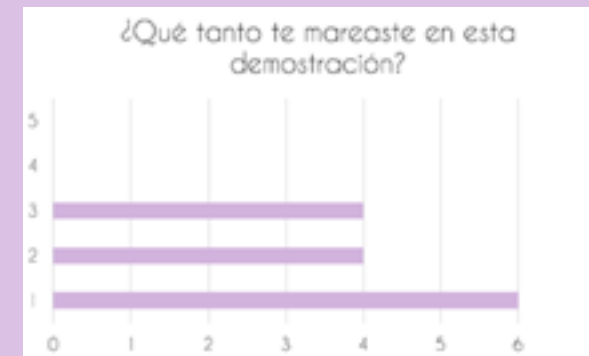
III. Resultados de la Tercera encuesta. Total de encuestados: 53



Previo a esta pregunta, el encuestado probó un juego VR



* Se asignó una escala de 1 = Andar en bicicleta en terreno plano y 5 = Frenado abrupto



* Se asignó una escala de 1 = Como te sientes normalmente y 5 = Mareo que lleva a la náusea



*Se asignó una escala de 1 = No me cansé nada y 5 = Muy agotado

ANEXO 3. Análisis por pares y matrices de decisión de conceptos

Este anexo presenta los procesos de decisión de soluciones para los sistemas y subsistemas establecidos en el diseño conceptual.

1. Sistema de Sensado

Métricas usadas en la comparación

a) Facilidad de implementación: 1 equivale a necesidad de manufactura para lograr colocar el sensor, además de consideraciones de movimiento y diseño para colocación. 5 equivale a no intervención intrusiva en la estructura pudiendo realizarse la unión con adhesivos.

b) Éxito de detección: 1 equivale a una manera ineficaz de detectar presencia al no poder discernir entre el usuario sobre o fuera del simulador. 5 equivale a siempre tener una manera de conocer el estado del usuario respecto a su posición sobre la bicicleta (el dato que se lea del sensor correspondiente siempre indicará la presencia o ausencia del usuario, por la posición y espacio donde se encuentre en el soporte).

c) Cantidad de sensores requeridos: Analizar los posibles movimientos del usuario, y la continuidad de su presencia para el sensor (¿si se retira uno de los sensores, el usuario aún puede seguir maniobrando si se leen otros sensores? ¿La comparación de cuántos sensores es necesaria para registrar dicha maniobrabilidad?) 1 equivale a más de tres sensores y 5 equivale a solo un sensor.

d) Distancia al Microcontrolador: 1 equivale a poner el sensor a más de 2 [m] de cableado (considerando la cantidad de sensores requeridos por opción) y 5 a poner el sensor a menos de 30 [cm] del microcontrolador.

Tabla A3.1. Comparación por pares Subsistema Presencia.png

	Facilidad de Implementación	Éxito de detección	Cantidad de Sensores requeridos	Distancia al Microcontrolador	Suma	Factor de Peso
Facilidad de Implementación		0	0	1	1	0.167
Éxito de detección	1		1	1	3	0.5
Cantidad de sensores requeridos	1	0		0	1	0.167
Distancia al Microcontrolador	0	0	1		1	0.167
Total					6	1

Métrica: 1 – 5 de acuerdo a los criterios descritos

Tabla A3.2. Matriz de decisión Subsistema Presencia

	Factor de Peso	Asiento	Manubrio	Pedales
Facilidad de Implementación	0.167	5 – 0.835	4 – 0.668	1 – 0.167
Éxito de detección	0.5	4 – 2	2 – 1	5 – 2.5
Cantidad de sensores requeridos	0.167	5 – 0.835	3 – 0.501	3 – 0.501
Distancia al Microcontrolador	0.167	3 – 0.501	4 – 0.668	2 – 0.334
Total	1	4.171	2.837	3.502

Subsistema Desplazamiento

- a) Facilidad de implementación: 1 equivale a necesidad de manufactura para lograr colocar el sensor, además de consideraciones de movimiento y diseño para colocación. 5 equivale a no intervención intrusiva en la estructura pudiendo realizarse la unión con adhesivos.
- b) Probabilidades de falla: Haciendo referencia a aquellos factores que podrían obstruir o alterar la toma de datos tales como polvo, humedad, luminiscencia, cambios de la temperatura entre otros, así como agentes externos como golpes o vibraciones. 1 equivale a un grado superior de afectación y 5 un menor grado de interferencia. [62]
- c) Precio unitario sin componentes extra o manufactura: 1 equivale a un precio superior a \$100 y 5 un precio menor a \$20 (MXN).
- d) Distancia al Microcontrolador: 1 equivale a poner el sensor a más de 2 m de cableado (considerando la cantidad de sensores requeridos por opción) y 5 a poner el sensor a menos de 30 [cm] del microcontrolador.

Tabla A3.3. Comparación por pares Subsistema Desplazamiento

	Facilidad de implementación	Probabilidades de falla	Precio unitario sin componentes extra o manufactura	Distancia al Microcontrolador	Suma	Factor de Peso
Facilidad de implementación		0	1	0	1	0.167
Probabilidades de falla	1		1	1	3	0.5
Precio unitario sin componentes extra o manufactura	0	0		1	1	0.167
Distancia al Microcontrolador	1	0	0		1	0.167
Total					6	1

Tabla A3.4. Matriz de decisión Subsistema Desplazamiento

Métrica: 1 – 5 de acuerdo a los criterios descritos

	Factor de Peso	Encoder óptico	Encoder Magnético
Facilidad de implementación	0.167	5 – 0.835	2 – 0.334
Probabilidades de falla	0.5	2 – 1	4 – 2
Precio unitario sin componentes extra o manufactura	0.167	5 – 0.835	1 – 0.167
Distancia al Microcontrolador	0.167	4 – 0.668	4 – 0.668
Total	1	3.338	3.169

Subsistema Acción

a) Facilidad de implementación: 1 equivale a necesidad de manufactura para lograr colocar el sensor, además de consideraciones de movimiento y diseño para colocación. 5 equivale a no intervención intrusiva en la estructura pudiendo realizarse la unión con adhesivos.

b) Precio unitario sin componentes extra o manufactura: 1 equivale a un precio superior a \$50 y 5 un precio menor a \$10 (MXN)

c) Comodidad para el usuario: Medición cualitativa de que tan natural o común encuentra la acción de presionar un botón o jalar una palanca para disparar. 1 equivale a no es una acción común y 5 a se asemeja mucho a la forma de disparo que se usa con las armas de juguete

d) Facilidad de accionamiento: Evalúa el área de contacto que se tiene con el sensor. Tomando como referencia que para gatillos accionados con un solo dedo la longitud del mismo no debería exceder los 25[mm]. [63] 1 representa menor área de contacto (<10 [mm]) y 5 mayor área de contacto(>25 [mm])

Tabla A3.5. Comparación por pares Subsistema Acción

	Facilidad de implementación	Precio unitario sin componentes extra o manufactura	Comodidad para Usuario	Facilidad de accionamiento	Suma	Factor de Peso
Facilidad de implementación		1	0	0	1	0.167
Precio unitario sin componentes extra o manufactura	0		0	1	1	0.167
Comodidad para usuario	1	1		0	2	0.334
Facilidad de accionamiento	1	0	1		2	0.334
Total					6	1

Tabla A3.6. Matriz de decisión Subsistema Acción

Métrica: 1 – 5 de acuerdo a los criterios descritos

	Factor de Peso	<i>Push Button</i>	<i>Limit Switch</i>
Facilidad de implementación	0.167	4 – 0.668	3 – 0.501
Precio unitario sin componentes extra o manufactura	0.167	5 – 0.835	4 – 0.668
Comodidad para usuario	0.334	3 – 1.002	5 – 1.67
Facilidad de accionamiento	0.334	4 – 1.334	5 – 1.67
Total	1	3.839	4.509

2. Sistema de Audio

- a) Estimulación directa: Evalúa la distancia del sistema al oído del usuario. 1 equivale a una distancia mayor a un metro y 5 a contacto directo con el sentido.
- b) Naturalidad de sonido: Capacidad del sistema para diferenciar entre agudos y graves. 1 equivale a limitado en la reproducción de sonidos graves y 5 capaz de reproducir experiencias en vivo, como conciertos sinfónicos [64].
- c) Comodidad para el usuario. Medida cualitativa dice cuánto tiempo el usuario acepta la estimulación auditiva por parte del sistema antes de sentir molestias. 1 equivale a no más de una hora y 5 a tiempos prolongados de más de 3 [horas].
- d) Facilidad de implementación: 1 equivale a necesidad de manufactura para lograr colocar el sensor, además de consideraciones de movimiento y diseño para colocación. 5 equivale a no intervención intrusiva en la estructura pudiendo realizarse la unión con adhesivos.

Tabla A3.7. Comparación por pares Sistema Audio

	Estimulación directa	Naturalidad de sonido	Precio unitario sin componentes extra o manufactura	Comodidad para Usuario	Facilidad de implementación	Suma	Factor de Peso
Estimulación directa		1	0	1	0	2	0.2
Naturalidad sonido	0		1	0	0	1	0.1
Precio unitario sin componentes extra o manufactura	1	0		1	0	2	0.2
Comodidad para usuario	0	1	0		0	1	0.1
Facilidad de implementación	1	1	1	1		4	0.4
Total						10	1

Tabla A3.1. Comparación por pares Subsistema Presencia.png

Métrica: 1 — 5 de acuerdo a los criterios descritos

	Facilidad de Implementación	Éxito de detección	Cantidad de Sensores requeridos	Distancia al Microcontrolador	Suma	Factor de Peso
Facilidad de Implementación		0	0	1	1	0.167
Éxito de detección	1		1	1	3	0.5
Cantidad de sensores requeridos	1	0		0	1	0.167
Distancia al Microcontrolador	0	0	1		1	0.167
Total					6	1

3. Sistema de Retroalimentación

Subsistema Velocidad

- a) Naturalidad de sensación brindada: hace referencia a cuántas áreas del cuerpo impacta. 1 equivale a una, por ejemplo la cara y 5 a más de 3 zonas como rostro, manos y tórax
- b) Distancia al Microcontrolador: 1 equivale a poner el sensor a más de 2 [m] de cableado (considerando la cantidad de sensores requeridos por opción) y 5 a poner el sensor a menos de 30 [cm] del microcontrolador.
- c) Complejidad del control: Nos indica si se tendrá que aplicar más voltaje para alimentar los ventiladores. 1 implica que es imposible usar 12 [V] para alimentar el sistema y 5 que aún se puede trabajar con 12 [V]
- d) Precio unitario sin componentes extra o manufactura: 1 equivale a un precio superior a \$100 y 5 un precio menor a \$50 (MXN)

Tabla A3.9. Comparación por pares Subsistema Velocidad

	Naturalidad de sensación brindada	Distancia al microcontrolador	Complejidad de control	Precio unitario sin componentes extra o manufactura	Suma	Factor de Peso
Naturalidad de sensación brindada		1	1	1	3	0.5
Distancia al microcontrolador	0		0	1	1	0.167
Complejidad de control	0	1		0	1	0.167
Precio unitario sin componentes extra o manufactura	0	0	1		1	0.167
Total					6	1

Tabla A3.10. Matriz de decisión Subsistema Velocidad

Métrica: 1 – 5 de acuerdo a los criterios descritos

	Factor de Peso	En Manubrio	Fijos Externos
Naturalidad de sensación brindada	0.5	2 – 1	4 – 2
Distancia al microcontrolador	0.167	5 – 0.835	1 – .167
Complejidad de control	0.167	4 – 0.668	2 – 0.334
Precio	0.167	4 – 0.668	2 – 0.334
Total	1	3.171	2.835

Subsistema Superficie

- 1) Facilidad de implementación: 1 equivale a necesidad de manufactura para lograr colocar el sensor, además de consideraciones de movimiento y diseño para colocación. 5 equivale a no intervención intrusiva en la estructura pudiendo realizarse la unión con adhesivos.
- 2) Precio unitario sin componentes extra o manufactura: 1 equivale a un precio superior a \$500 y 5 un precio menor a \$100 (MXN)
- 3) Dispositivos adicionales: Hace referencia a todos aquellos componentes “extras” que se necesitan para poder activar la señal del sistema. 1 equivale a más de 4 elementos adicionales y 5 a no se requiere nada adicional para activar el sistema

Tabla A3.11. Comparación por pares Subsistema Superficie

	Facilidad de implementación	Precio	Dispositivos adicionales	Suma	Factor de Peso
Facilidad de implementación		1	0	1	0.333
Precio	0		1	1	0.333
Dispositivos adicionales	1	0		1	0.333
Total				6	1

Tabla A3.12. Matriz de decisión Subsistema Superficie

Métrica: 1 – 5 de acuerdo a los criterios descritos

	Factor de Peso	En rueda con Motor	En llanta con motor	Electromagnético
Facilidad de implementación	0.333	2 – 0.666	4 – 1.333	4 – 1.331
Precio	0.333	4 – 1.333	3 – 0.999	2 – 0.666
Dispositivos adicionales	0.333	4 – 1.333	2 – 0.666	2 – 0.666
Total	1	3.332	2.998	2.663

4. Sistema de Alimentación.

- a) Tiempo de vida: 1 equivale a un periodo de un mes [65] y 5 un tiempo indefinido sin la influencia de los factores de falla.
- b) Probabilidades de falla: Haciendo referencia a aquellos factores que podrían obstruir el suministro de energía tanto ambientales (polvo, humedad, cambios de la temperatura entre otros) así como agentes externos (golpes, daño en los cables, derrame de baterías, etc) 1 equivale a un grado superior de afectación y 5 un menor grado de interferencia.
- c) Precio unitario sin componentes extra o manufatura: 1 equivale a un precio superior a \$100 y 5 un precio menor a \$20 (MXN)
- d) Libertad de movimiento: Se refiere a la distancia que el dispositivo puede moverse con la opción seleccionada. 1 equivale a menos de 80 [cm] y 5 más de 2[m]
- e) Voltaje suministrado: 1 equivale a mínimo 3 [V] y 5 a más de 24 [V]

Tabla A3.13. Comparación por pares Sistema Alimentación

	Tiempo de vida	Probabilidades de falla	Precio	Libertad de movimiento	Voltaje suministrado	Suma	Factor de Peso
Tiempo de vida		1	1	0	0	2	0.2
Probabilidades de falla	0		0	1	0	1	0.1
Precio	0	1		0	1	2	0.2
Libertad de movimiento	1	0	1		0	2	0.2
Voltaje suministrado	1	1	0	1		3	0.3
Total						10	1

Tabla A3.14. Matriz de decisión Sistema Alimentación

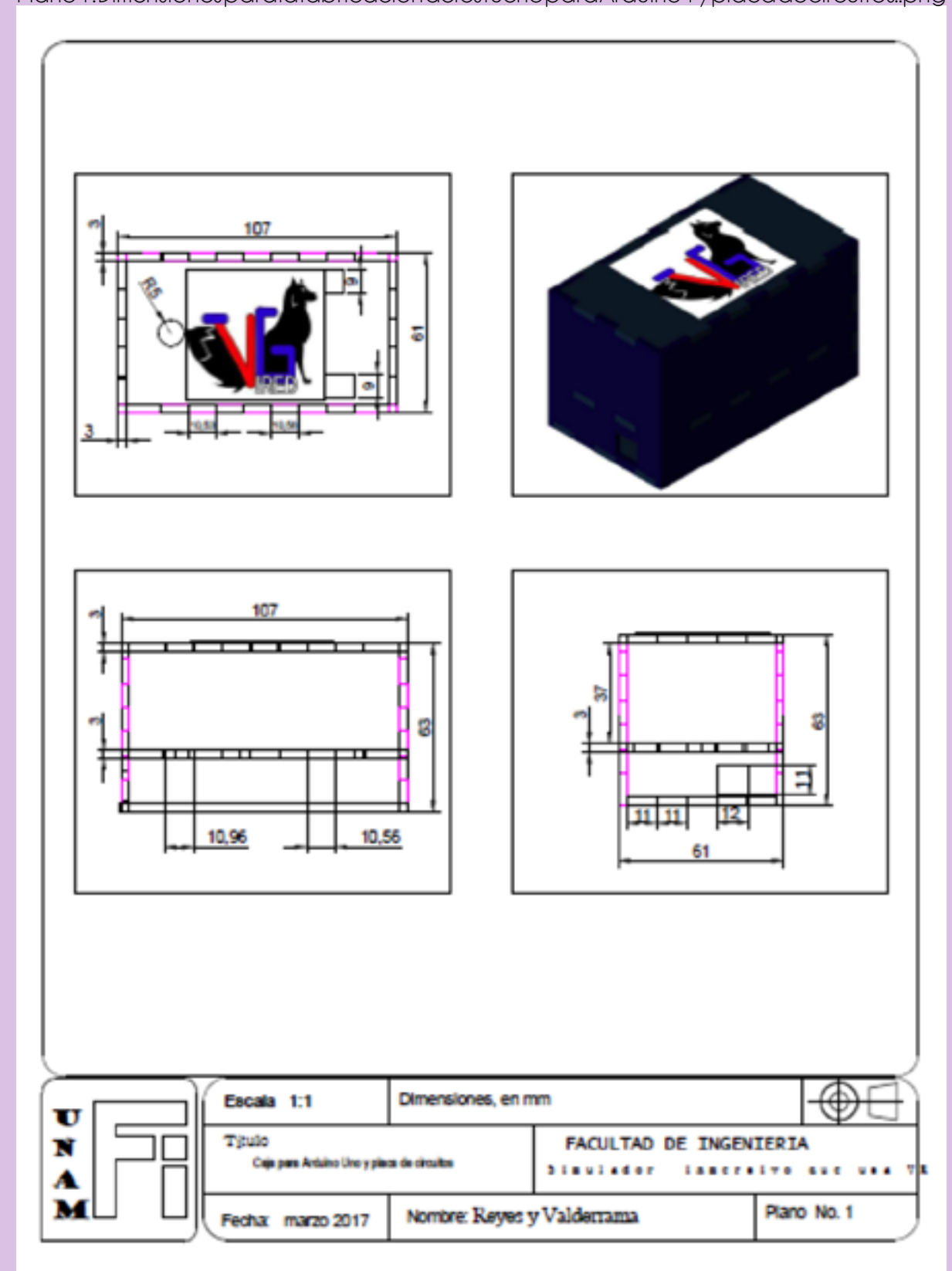
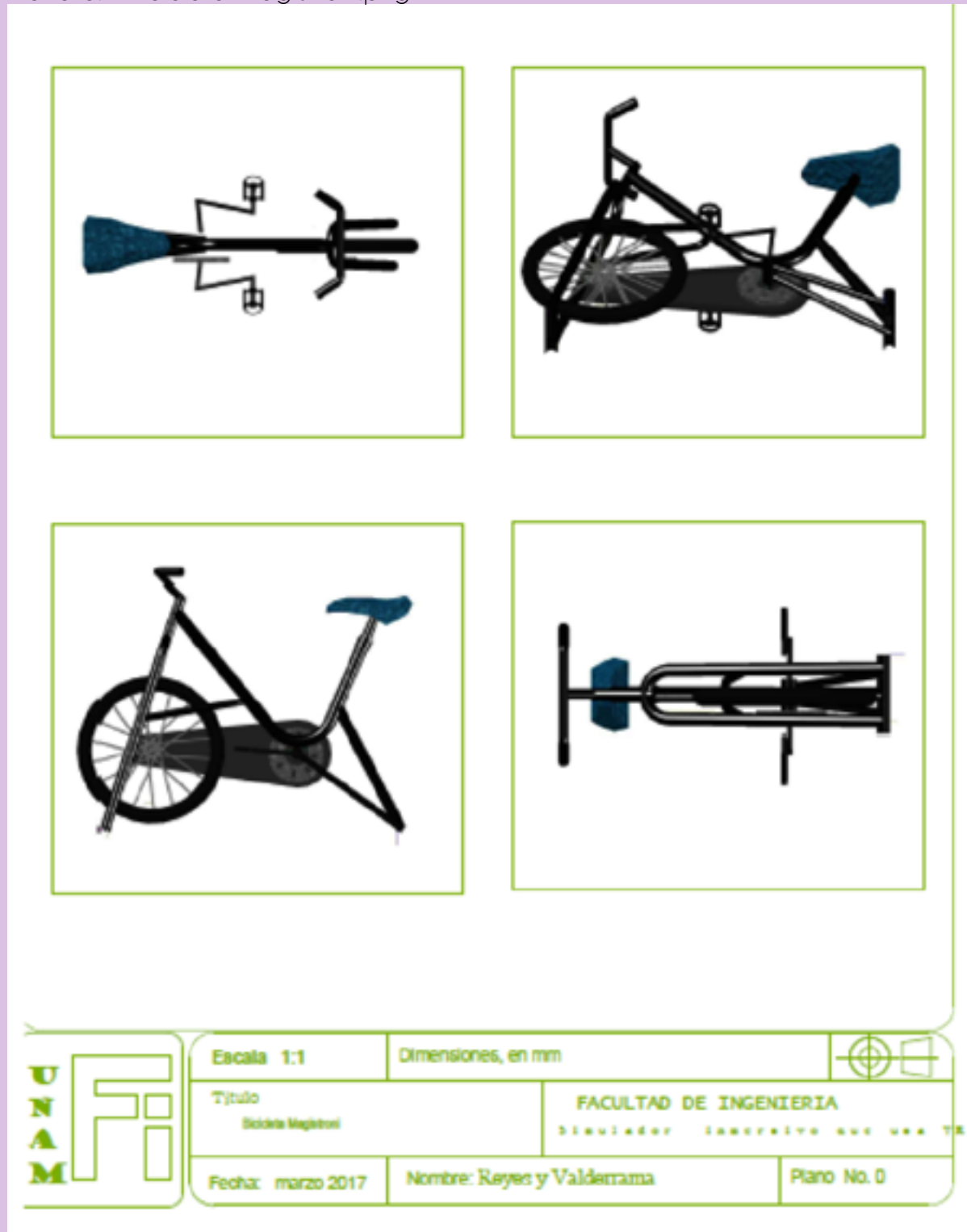
Métrica: 1 – 5 de acuerdo a los criterios descritos

	Factor de Peso	Enchufe	Pilas
Tiempo de vida	0.20	4 – 0.80	2 – 0.40
Probabilidades de falla	0.10	4 – 0.40	3 – 0.30
Precio	0.20	4 – 0.80	3 – 0.60
Libertad de movimiento	0.20	2 – 0.80	5 – 1
Voltaje suministrado	0.30	5 – 1.5	3 – 0.90
Total	1	4.3	3.2

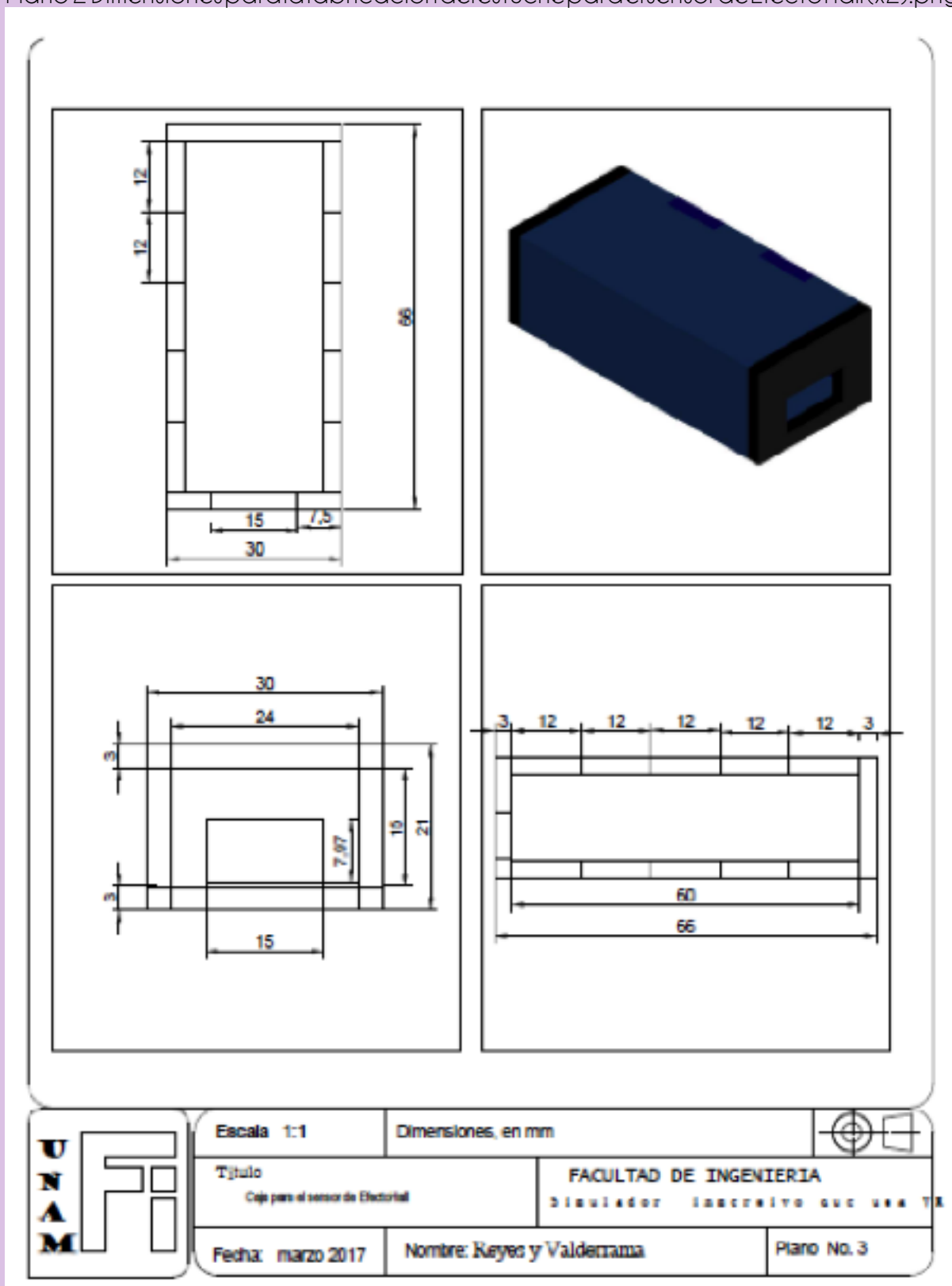
ANEXO 4. Planos y Modelos CAD's

Plano I. Dimensiones para la fabricación de estuche para Arduino I y placa de circuitos..png

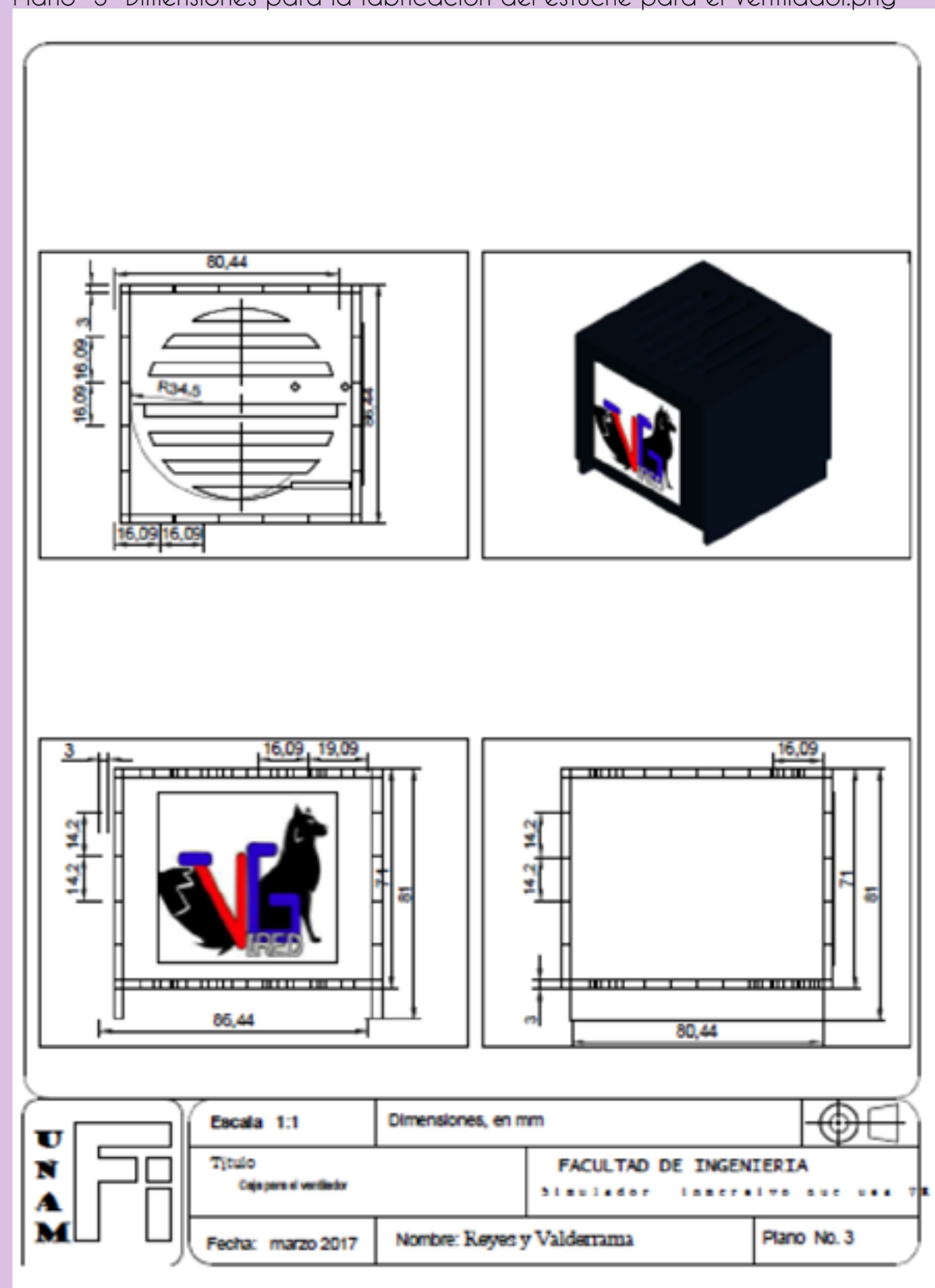
Plano 0. Bicicleta Magistroni.png



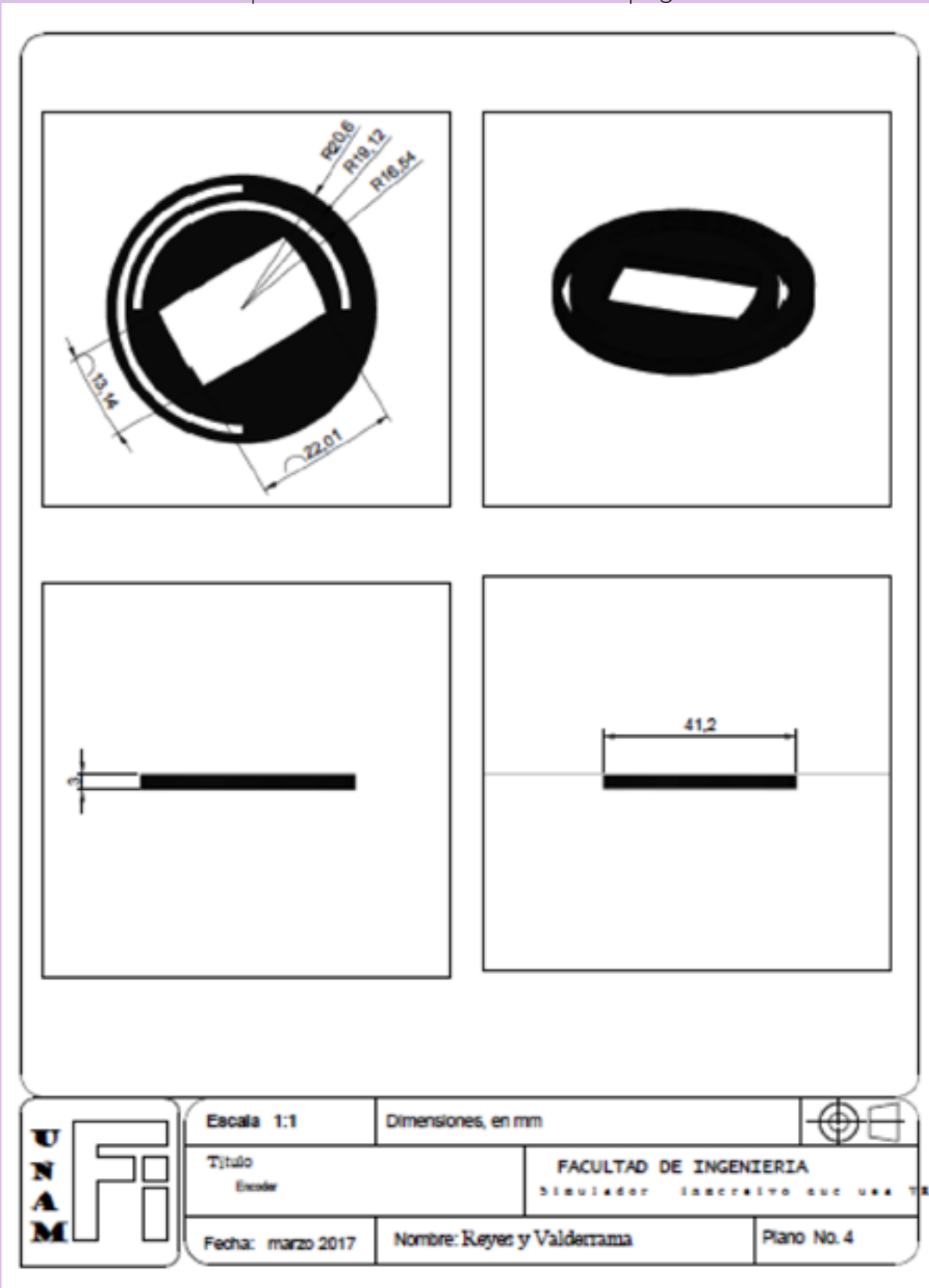
Plano 2 Dimensiones para la fabricación del estuche para el sensor de Efecto Hall(x2).png



Plano 3 Dimensiones para la fabricación del estuche para el Ventilador.png



Plano 4. Dimensiones para la fabricación del encoder.png



Plano 5. Vistas del sistema completo con módulos.png

