



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Desarrollo de un dispositivo tipo
wearable orientado al
entrenamiento HIIT utilizando
aprendizaje supervisado**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Mecatrónico

P R E S E N T A

Alan Rubén Jurado Piña

DIRECTOR DE TESIS

M.A. Luis Yair Bautista Blanco



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre, quien me acompañó en todo momento y siempre estuvo ahí para guiarme y aconsejarme, gracias a ella he llegado hasta donde he querido.

A mi padre, quien con su apoyo y esfuerzo logró que realizara mis metas y objetivos sin dejar que me rindiera en ningún momento.

A mi hermana Magalli, por quererme y apoyarme siempre, sin sus locuras y motivación no podría ser la persona que soy.

A mi amigo del alma, Rubén, por nunca abandonarme, estar presente en todo momento y ser un apoyo incondicional durante toda la carrera.

A mis amigos de la Facultad de Ingeniería, con quienes he creado lazos de amistad increíbles y estoy seguro de que serán para toda la vida.

A mi asesor Yair Bautista, por su paciencia y confianza puesta en mí, por motivarme día a día con sus consejos y aportaciones a este proyecto, pero sobre todo por todas esas enseñanzas que enriquecieron mi formación como ingeniero.

A la UNAM y a la Facultad de Ingeniería por permitirme tener una formación académica de calidad, ayudarme a cumplir mis metas y darme la oportunidad de superarme día a día como profesionista y gran ser humano.

A Dios, que me ha permitido realizar cada uno de mis sueños y siempre me ha bendecido en mi camino.

"Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad".

-Albert Einstein

Índice

Índice	3
Imágenes	5
Tablas.....	6
Gráficas.....	6
1. Introducción	7
2. Marco Teórico	10
2.1 La Importancia del Deporte.....	11
2.1.1 Rutinas HIIT.....	13
2.2 Tecnologías <i>Wearable</i>	15
2.2.1 <i>Wearable Devices</i> : ¿Qué es y para qué se utilizan?	16
2.2.2 Dispositivos <i>Wearables</i> en el deporte.....	19
2.2.3 Principales características de un <i>Wearable</i>	21
2.2.4 Desarrollo de un dispositivo <i>Wearable</i> para el deporte	22
2.3 Inteligencia Artificial.....	23
2.3.1 <i>Machine Learning</i> : Aprendizaje Supervisado	26
2.3.2 TensorFlow	28
2.3.3 Algoritmo de Aprendizaje Supervisado: <i>DNN (Deep Neural Network)</i>	29
3. Problemática	33
3.1 Objetivo General	34
3.2 Justificación	35
3.3 Alcances.....	36
4. Diseño Conceptual.....	37
4.1 Requerimientos del dispositivo	39
4.2 Especificaciones del dispositivo.....	41
4.3 Selección de componentes electrónicos	44
4.3.1 Sensores	45
4.3.2 Módulo	48

4.3.3	Microcontrolador	50
4.4	Manufactura y ensamblado del dispositivo	53
4.4.1	Implementación del <i>wearable</i> en el cuerpo.....	56
4.4.2	Metodología de uso del dispositivo	57
4.5	Modelo Funcional.....	58
4.5.1	Calibración.....	60
4.5.2	Tiempo de Retraso	61
4.5.3	Comunicación Inalámbrica	62
5.	Programación del dispositivo <i>wearable</i>	63
5.1	Software utilizado para la creación de la base de datos	66
5.2	Recepción y manejo del almacenamiento de datos	67
5.3	Base de datos y programación del algoritmo.....	71
5.4	Entrenamiento del método de aprendizaje	73
6.	Pruebas.....	77
6.1	Generación de datos con diferentes sujetos de prueba	77
6.1.1	Protocolo de pruebas	83
6.1.2	Evidencia.....	84
6.2	Análisis de datos por actividad realizada	85
6.3	Validación del algoritmo con pruebas realizadas.....	86
6.4	Datos no utilizados en el entrenamiento	87
7.	Resultados	89
7.1	Modelo general para el dispositivo <i>Wearable</i>	90
8.	Conclusión	92
9.	Trabajo a futuro.....	94
	Referencias	95
	Anexos	98

Imágenes

Imagen 1 Spectacles de Snapchat y smarwatch Gear 2 de Samsung. [41][42].....	10
Imagen 2 Ejemplo de actividades físicas dentro de un entrenamiento HIIT. [5][6].....	14
Imagen 3 Ejemplos de Wearables Devices. [7]	17
Imagen 4 Lentes Glass de Google.....	19
Imagen 5 Algunos dispositivos wearables utilizados en el deporte.....	20
Imagen 6 Principales algoritmos del Aprendizaje Automático. Traducido de [14].....	26
Imagen 7 Diagrama de flujo del Aprendizaje Supervisado. [20]	28
Imagen 8 Ejemplo de un algoritmo de Red Neuronal. Traducido de [18].....	30
Imagen 9 Ejemplo de Vectores de clasificación. [20].....	32
Imagen 10 Principales partes del cuerpo en donde suelen ir colocados los dispositivos wearables. Traducido de [24]	38
Imagen 11 MPU-3050 y MPU-6000.....	47
Imagen 12 MPU-6050.....	47
Imagen 13 Módulo Bluetooth HC-05 y HC-06.....	48
Imagen 14 Módulo Bluetooth HC-06	49
Imagen 15 Comparativa de microcontroladores utilizados en los dispositivos wearable. [26].....	51
Imagen 16 Batería Lipo de 3.7 v, 400 mAh.....	52
Imagen 17 LilyPad Arduino USB	53
Imagen 18 Diseño en software de la placa PCB	54
Imagen 19 Primer Boceto del modelo junto con la comparación de dimensiones	54
Imagen 20 Vista aérea y frontal del modelo terminado	56
Imagen 21 Demostración del HIIT Wearable en funcionamiento.....	57
Imagen 22 Modelo funcional HIIT Wearable	59
Imagen 23 Prueba de calibración, Giro en eje Y.	60
Imagen 24 Parte del código en donde se muestra el tiempo de retraso generado.	61
Imagen 25 Software Arduino con parte del código utilizado para el modelo wearable.....	64
Imagen 26 Diagrama de flujo del procesamiento de datos.	65
Imagen 27 Ejemplo de programas para la administración de bases de datos.....	66
Imagen 28 Vista de Inicio del software PuTTY.	68
Imagen 29 Inicio de sesión para vincular el modelo HIIT desde la PC.	69
Imagen 30 Archivo generado desde PuTTY, con extensión '.log'	70
Imagen 31 Ejemplo de un clasificador de imagen para diferencias animales. [29]	71
Imagen 32 Ejemplo de archivo procesado con extensión '.csv'	72
Imagen 33 Comparativa entre los 3 lenguajes más utilizados por desarrolladores a nivel mundial. [30] ...	74
Imagen 34 Bibliotecas utilizadas en el desarrollo del programa de entrenamiento.	75
Imagen 35 Diagrama de flujo del proceso de entrenamiento.	75
Imagen 36 Parte del programa en ejecución.	76

Imagen 37 Diagrama de caja negra del modelo wearable.....	78
Imagen 38 Ejemplo de una Sentadilla. [33].....	80
Imagen 39 Ejemplo de una Lagartija. [36].....	81
Imagen 40 Ejemplo de un Desplante. [38]	82
Imagen 41 Ejemplo de un Burpee. [40].....	83
Imagen 42 Muestra del proceso de iteración.	86
Imagen 43 Demostración de una prueba validada.	88
Imagen 44 HIIT Wearable	90

Tablas

Tabla 1 Necesidades y requerimientos	40
Tabla 2 Requerimientos y especificaciones.....	42
Tabla 3 Comparativa entre algunos dispositivos wearable.....	44
Tabla 4 Comparativa de sensores IMU.....	46
Tabla 5 Resultados de validación del programa de entrenamiento	89

Gráficas

Gráfica 1 Ejemplo de cada actividad unitaria.....	85
---	----

1. Introducción

La realización de actividades físicas, así como la importancia de la salud son temas de interés común entre las personas que buscan un bienestar y cuidado personal mediante el deporte y el ejercicio. Hoy en día las personas pueden tener un estilo de vida saludable gracias a la variedad de productos y aplicaciones que existen para realizar cualquier tipo de deporte o entrenamiento, desde descargar una *app* en tu móvil donde te indique las calorías que has quemado por caminar, hasta aparatos electrónicos que incluso se pueden instalar en el hogar para ejercitarse sin necesidad de acudir a un gimnasio, todas estas tecnologías ayudan a adaptar el ejercicio al ritmo de vida de cada persona.

En este trabajo se presenta el desarrollo de un dispositivo tipo *wearable* capaz de sensar y transmitir los datos de una actividad física realizada por el usuario, así como un programa que logra procesar dichos datos para dar como resultado un aprendizaje automático constante sobre los ejercicios de entrenamiento y de esta forma, lograr predecir futuras actividades físicas haciendo una comparación con los datos guardados en el programa generado.

En el capítulo 2 se explica de forma general, pero haciendo énfasis en el tema principal, la importancia que tiene el hacer deporte, así como la razón por la que las rutinas HIIT son una opción muy popular, pero sobre todo efectiva, para la ejecución de actividades físicas con fines de obtener resultados en menor tiempo. También en este capítulo se da una breve explicación de lo que, hasta la actualidad, la tecnología *wearable* ha realizado durante los últimos años.

En el capítulo 3, se presenta la problemática propuesta y que este proyecto aborda, el objetivo general al que se logró llegar, así como los alcances deseados que se obtuvieron al finalizar el modelo funcional del proyecto. También se muestra la justificación del trabajo, el cual enfatiza la importancia del desarrollo de proyectos con enfoque en los campos de la salud y deporte.

En el capítulo 4 se hablará de manera detallada del proceso que se llevó a cabo para la creación del dispositivo denominado '*HIIT Wearable*', en dónde se explica la razón en la selección de componentes utilizados, además del desarrollo y manufactura del dispositivo. También se explican los requerimientos, especificaciones e implementación final del *wearable* que fueron realizados para obtener el modelo final. De igual forma se hace una descripción de las pruebas que se le hicieron al dispositivo para lograr su correcto funcionamiento.

El capítulo 5 aborda todo lo relacionado al tema de programación del dispositivo, aquí se describe todo respecto al software, lenguaje y herramientas utilizadas para generar el código fuente. Al ser un programa de entrenamiento y aprendizaje, también se hablará sobre la base de datos generada, la forma en que realizó este programa, así como los problemas que surgieron durante su desarrollo.

Una vez visto tanto la parte de software como de hardware del proyecto, en el capítulo 6 se abordará la realización de pruebas, pues al ser un proyecto que requería de un entrenamiento prueba, se tuvieron que recabar una serie de muestras previas que ayudaron a validar la certeza y precisión del programa junto con el dispositivo, obteniendo un conjunto de resultados en esta primera fase del modelo. También se aborda el protocolo que se siguió para realizar estas pruebas a diferentes sujetos de prueba llevando un control en la base de datos y cuidando la confidencialidad de cada uno de ellos.

Después en el capítulo 7, se exponen los resultados obtenidos durante todo el proceso de obtención, desarrollo y comparación de estos, los cuales sirvieron para llegar a las conclusiones que se determinaron en el capítulo subsecuente. También se explica el proceso que se llevó a cabo para esta parte comparativa de los datos y el cómo se logró obtener el programa mencionado en el capítulo anterior.

El capítulo 8 presenta las conclusiones que se obtuvieron al finalizar el proyecto, donde se considera: la investigación académica, la base de datos obtenida, los resultados de las pruebas y la validación del modelo funcional.

Por último, en el capítulo 9 se habla sobre el trabajo a futuro que se tiene para el proyecto, las posibilidades de mejora y optimización de este tanto a nivel software como hardware. Además de las diferentes áreas a las que podría ser aplicable tomando en consideración el alcance que tiene la Inteligencia Artificial y el manejo de una base de datos para entrenar un algoritmo.

2. Marco Teórico

La tecnología ha ido cambiando constantemente en los últimos años y gracias a esto, la comunicación entre individuos aumenta cada vez más, a través de dispositivos electrónicos capaces de conectarse con cualquier red para enviar, recibir datos y que se pueden portar con facilidad.

Tal es el caso de los *wearables devices* o dispositivos portables, que son accesorios que cualquier persona puede utilizar con diferentes enfoques según sea el caso, existen ejemplos como los llamados *smartwatch* de *Apple* y *Samsung*, así como los recientes lentes *Spectacles* lanzados por *Snapchat* durante el año pasado, ambos con fines de hacer la interacción usuario-internet más sencilla.

Pulseras, anillos, camisetas, pantalones, relojes y gafas capaces de tomar fotografías y hacer llegar datos, interactuar con otros dispositivos y facilitar la vida es la promesa de la tecnología *wearable*, ahora la tecnología ya es vestible y nos acompaña en todos y cada uno de los instantes de nuestra vida, la tecnología *wearable* es el próximo paso entre la fusión del hombre y el microprocesador. [1]



Imagen 1 Spectacles de Snapchat y smartwatch Gear 2 de Samsung.
[41][42]

2.1 La Importancia del Deporte

El panorama mundial está enmarcado por una creciente preocupación por las consecuencias que pueda traer consigo la poca práctica de actividad física o deporte. Los gobernantes en general y los entes estatales encargados de la salud pública en particular, se encuentran alarmados por las cifras que indican la poca actividad física y las consecuencias sociales en términos de bienestar físico que la escoltan.[2] A nivel mundial, uno de cada cuatro adultos no tiene un nivel suficiente de actividad física. Más del 80% de la población adolescente del mundo no tiene un nivel suficiente de actividad física. El 56% de los Estados Miembros de la OMS ha puesto en marcha políticas para reducir la inactividad física. Los Estados Miembros de la OMS han acordado reducir la inactividad física en un 10% para 2025. [3]

En 2010, a escala mundial, alrededor del 23% de los adultos de 18 años o más no se mantenían suficientemente activos (un 20% de los hombres y un 27% de las mujeres). En los países de ingresos altos, el 26% de los hombres y el 35% de las mujeres no hacían suficiente ejercicio físico, frente a un 12% de los hombres y un 24% de las mujeres en los países de ingresos bajos. Los niveles bajos o decrecientes de actividad física suelen corresponderse con un producto nacional bruto elevado o creciente. La mengua de la actividad física se debe parcialmente a la inacción durante el tiempo de ocio y al sedentarismo en el trabajo y el hogar. Del mismo modo, el mayor uso de medios de transporte “pasivos” también contribuye a una insuficiente actividad física. [4] En 2010, a escala mundial, un 81% de los adolescentes de 11 a 17 años de edad no se mantenían suficientemente activos. Las chicas eran menos activas que los chicos: un 84% de ellas incumplía las recomendaciones de la OMS, por un 78% en el caso de los varones. [4]

El Deporte siempre ha sido un tema de gran importancia a lo largo del tiempo, la gente busca mantener una condición física estable y es la razón, por la que muchas empresas dentro de la industria tecnológica han puesto la vista en distintos deportes y actividades. Tal es el caso de la existencia de gimnasios y espacios exclusivos para el desarrollo de dichas actividades, así como la

constante atención que el poder de la mercadotecnia genera hoy en día para la adquisición de dispositivos o aparatos que ayudan a mejorar la experiencia del usuario amante del deporte.

Algunos beneficios para la salud al practicar deporte son:

- Huesos y músculos más fuertes: En general, el ejercicio físico ayuda a aumentar la resistencia de los huesos y músculos, evitando posibles lesiones, roturas, etc. Y fortaleciendo al mismo tiempo el organismo.
- Canaliza el estrés sufrido: El deporte libera endorfinas de muchos tipos, y la mayoría simulan un estímulo de felicidad en el organismo que actúan como antidepresivo, por lo que ayuda a sobrellevar las situaciones de alto estrés.
- Mejora los hábitos de sueño: Al practicar deporte de forma intensa, el cuerpo se cansa aún más durante el día, por lo que llegado el momento de conciliar el sueño el organismo estará deseando entrar en reposo para poder recuperarse.
- Mejora la resistencia: Se logra soportar un mayor esfuerzo físico sin producir cansancio, ya que el cuerpo está entrenado para ello, se encuentra en un estado más saludable que si se estuviera todo el día sentado y sin apenas moverse, llevando un estilo de vida sedentario.

Estos como algunos otros beneficios, son motivos suficientes para que la gente mantenga una vida activa y más saludable, llevando un hábito de cuidado y atención personal que al paso del tiempo mejora el rendimiento corporal de cada individuo, además de proporcionar una mayor resistencia a ser propensos a enfermedades de cualquier tipo.

La tecnología comienza a expandirse a distintas áreas de la vida cotidiana, sin embargo, no todas han tenido el mismo avance y desarrollo tecnológico: la comunicación, la medicina o el transporte son algunos ejemplos con un avance tecnológico notable, mientras que la ecología, alimentación o vestimenta no han tenido constantes modificaciones en comparación. En el deporte ya existe una variedad de dispositivos y aparatos que han ayudado a mejorar la experiencia de la activación física: relojes inteligentes, fajas deportivas, muñequeras o pulseras

inteligentes son algunos ejemplos. Funciones como medir el tiempo en que se ejecuta un ejercicio, calcular los pasos que una persona camina en un día o incluso detectar calorías quemadas, son acciones que estos dispositivos pueden realizar.

2.1.1 Rutinas HIIT

La popularidad del entrenamiento de intervalos de alta intensidad (del inglés, *High-Intensity Interval Training*) está en aumento. Este tipo de entrenamiento implica episodios repetidos de esfuerzo de alta intensidad seguidos de tiempos de recuperación variados. [5]

Un programa completo de actividad física incluye ejercicio aeróbico y ejercicio de entrenamiento de fuerza, pero no necesariamente en la misma sesión. Esta mezcla ayuda a mantener o mejorar el estado físico cardiorrespiratorio, muscular, la salud y la función motriz en general. La actividad física regular proporciona más beneficios para la salud que los entrenamientos esporádicos de alta intensidad, por lo tanto, se recomienda elegir ejercicios que se puedan disfrutar y que puedan incorporarse fácilmente. [5]

Las recomendaciones de actividad física del ACSM (Colegio Americano de Medicina del Deporte, por sus siglas en inglés "*American College of Sports Medicine*") para adultos sanos, actualizadas en 2011, recomiendan al menos 30 minutos de actividad física de intensidad moderada (trabajar lo suficiente como para sudar, pero aun así poder mantener una conversación) cinco días a la semana, o 20 minutos de actividad más vigorosa tres días a la semana. Se pueden realizar combinaciones de actividad de intensidad moderada y vigorosa para cumplir con esta recomendación. [5]

Ejemplos de ejercicios aeróbicos típicos son: caminar, correr, subir escaleras, ciclismo, remo, esquiar, natación, salto de cuerda, *spinning*, yoga. Además, el entrenamiento de fuerza se debe realizar un mínimo de dos días a la semana, con 8-12 repeticiones de 8-10 ejercicios diferentes

dirigidos a todos los grupos musculares principales. Este tipo de entrenamiento se puede lograr usando peso corporal, bandas de resistencia, pesas libres, balones medicinales o máquinas de pesas. [5]



Imagen 2 Ejemplo de actividades físicas dentro de un entrenamiento HIIT. [5][6]

El entrenamiento HIIT puede ser fácilmente modificado dependiendo del enfoque personal que cada uno quiera darle, es decir, qué y por cuánto tiempo cada persona quiere trabajar para lograr resultados favorables en zonas específicas del cuerpo. La mayoría de las personas están optando más por esta alternativa de ejercicio. Esto se debe a que los entrenamientos HIIT tienden a quemar más calorías que los entrenamientos tradicionales, especialmente después del entrenamiento. El período posterior al ejercicio se llama "EPOC", que significa consumo excesivo de oxígeno después del ejercicio (del inglés, "Excess Post-exercise Oxygen Consumption"). Esto es generalmente alrededor de un período de 2 horas después de un ejercicio en el que el cuerpo se restaura a los niveles previos al ejercicio y, por lo tanto, usa más energía. Debido a la naturaleza vigorosa y contráctil de los entrenamientos HIIT, el EPOC generalmente tiende a ser

moderadamente mayor, agregando aproximadamente 6 a 15% más calorías al gasto total de energía en el entrenamiento. [5]

Las rutinas HIIT han sido consideradas e incluidas dentro de las sesiones físicas en entrenamientos generales y específicos, pues aumenta el rendimiento del cuerpo y ofrece resultados eficientes en lapsos cortos de tiempo, por ello hoy en día son implementados cada vez más en distintos ámbitos o campos del deporte.

2.2 Tecnologías *Wearable*

Los *wearables* son una revolución de la tendencia móvil que en los últimos años ha inundado prácticamente todos los sectores socioeconómicos; comunicación, entretenimiento, educación, salud son algunos ejemplos de dicha revolución. Estos dispositivos usables suponen un paso más allá del *smartphone* y la movilidad: llevar esa tecnología móvil puesta, ya sea en un reloj, en una pulsera, una prenda de vestir o incluso en lentes de contacto. Y los que están impulsando su uso son los jóvenes de la generación del milenio (entre 18 y 34 años), impulsados por un afán de ser original y probar todos los avances tecnológicos, como el 3D o los *wearables*, dos ejemplos que están dispuestos a incluir en diferentes ambientes de su día a día para sacarles todo el partido: desde el trabajo hasta los momentos de ocio y entretenimiento. [6]

Así, siete de cada diez aseguran que se comprarán un dispositivo *wearable*. Y una de las principales razones por las que están llamados a ser los clientes potenciales de estos dispositivos es que son más propensos a compartir información personal, por lo que la barrera de la intimidad es mucho menor en su caso. *“El pensamiento tradicional es que los consumidores no estarían de acuerdo en compartir información como su ubicación, sus marcas y similares, pero esta investigación muestra que los consumidores, especialmente los ‘millennials’, compartirían su*

ubicación y mucho más”, asegura Luis Felipe Rincón, director general de ‘wearables.com’, tras la publicación del estudio The Unexpected State of Consumer Wearable Technology. [6]

También, se ha demostrado que la reducción del rendimiento físico en los adultos mayores se asocia con una mayor mortalidad. De hecho, el envejecimiento implica reducciones en la masa muscular, cambios en la morfología de la unidad motora y un rendimiento motor deteriorado. Dichas limitaciones reducen la fuerza y potencia máximas, ralentizan la velocidad contráctil y aumentan la fatigabilidad en esta población. [7]

Otro aspecto por considerar es el aumento en el consumo de energía metabólica en adultos mayores (mayores de 65 años) que podría conducir a un rendimiento deteriorado. De hecho, los estudios han revelado que el aumento en los costos metabólicos probablemente conduzca a la fatiga muscular al caminar y puede contribuir a una menor participación en el ejercicio de caminar en adultos mayores. De hecho, para caminar una distancia dada, varios estudios informaron altos valores de gasto de energía en adultos mayores en comparación con adultos jóvenes. [7]

2.2.1 Wearable Devices: ¿Qué es y para qué se utilizan?

“Wearable hace referencia al conjunto de aparatos y dispositivos electrónicos que se incorporan en alguna parte de nuestro cuerpo interactuando de forma continua con el usuario y con otros dispositivos con la finalidad de realizar alguna función concreta, relojes inteligentes o smartwatches, zapatillas de deportes con GPS (Global Positioning System) incorporado y pulseras que controlan nuestro estado de salud son ejemplos entre otros muchos de este género tecnológico que se halla poco a poco más presente en nuestras vidas.”[1]

La palabra *wearable* posee una raíz inglesa cuya traducción significa “llevable” o “vestible”, en el argot tecnológico hace referencia a pequeñas computadoras que van siempre con el usuario.

Bajo esta concepción, el PC deja de ser un dispositivo extraño para el usuario que solo lo usaba en un espacio definido pasando a ser un factor que se incorpora e interactúa de forma continua con él, además de acompañarlo a todas y cada una de las partes. [1]

La tecnología *wearable* hace referencia a los productos que incorporan un microprocesador y que se usan a diario formando parte de cada individuo, no se puede considerar *wearable* a los dispositivos electrónicos como la TV, la máquina de café de la cocina o bien al *e-book* que sirve para leer libros digitales, en tanto que si bien sean dispositivos electrónicos que poseen microprocesadores y se emplean a diario no forman parte de cada uno dado que no son “portables” o “vestibles”; en cambio unas gafas, pulseras, relojes, etc., son productos *wearables* si le agregamos uno o varios microprocesadores electrónicos.

Los orígenes de la tecnología *wearable* datan de la década de los sesenta, pero no ha sido hasta 2010 cuando esta tecnología ha evolucionado lo bastante para poder atraer a un extenso abanico de consumidores.



Imagen 3 Ejemplos de Wearables Devices. [7]

Existe otro concepto que va vinculado con *wearables devices* y es el llamado *Internet of Things* o "Internet de las cosas" que se refiere a la identificación e interconexión de todos los objetos a través de internet. Los dispositivos IoT conectados a internet prometen una imparable tendencia de incremento oferta-demanda por lo que la nueva generación de tecnología *wearable* constituye el puente natural hacia la implantación total de IoT y sus ventajas.

El IoT puede ser implementada en infinidad de áreas: SmartHouses, Fitness y Salud, gestión de datos del medio ambiente, Smart Cities, Smart Factories, Coches conectados, Smart Hospitals, objetos cotidianos con sensores y su conexión con internet y otros dispositivos inteligentes, gestión de emergencias con drones, identificación y seguridad, etc. Todos estos dispositivos y tecnologías conforman el horizonte tecnológico de los próximos años.

La tecnología *wearable* se encuentra presente en una extensa variedad de campos que satisfacen las necesidades del ser humano, con la finalidad de mejorar nuestra calidad de vida estando muy presente en la salud de los pacientes, la seguridad de las personas que se exponen a determinados peligros en su trabajo diario, el adiestramiento de los atletas que se preparan para una competición, etc. [1]

El dispositivo más reconocido y el primero en ser anunciado fueron los *Google Glass* (Imagen 4), los cuales se dieron a conocer en el año 2012 como proyecto a desarrollar y que tendría un gran impacto en la industria electrónica. El propósito de *Glass* era mostrar información disponible para los usuarios de teléfonos inteligentes sin utilizar las manos, permitiendo también el acceso a Internet mediante órdenes de voz, de manera comparable a lo que *Google Now* ofrece en dispositivos Android. Es así como Google impulsa la idea de crear dispositivos portables para la comodidad de los usuarios y sin necesidad de llevarlos siempre en las manos.

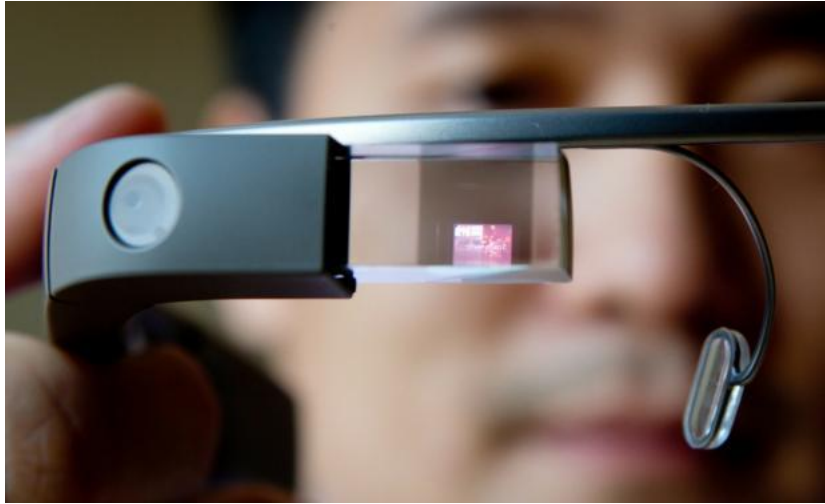


Imagen 4 Lentes Glass de Google

2.2.2 Dispositivos *Wearables* en el deporte

Hubo un tiempo en que una noticia no era noticia hasta que no salía en televisión. Y desde hace unos años parece que la actividad física no es ejercicio si no sabemos exactamente los kilómetros recorridos, las calorías quemadas, las pulsaciones alcanzadas durante el entrenamiento y, además, compartimos con el resto del mundo esos parámetros que darán un valor añadido al esfuerzo realizado. O, al menos, se tendrá una satisfacción. Esa necesidad por estar constantemente conectados en un entorno individuo-exterior, ha hecho que el mercado de *wearables* o artículos inteligentes y aplicaciones asociadas con estos productos sea cada vez mayor y esté más presente en nuestra vida cotidiana. [8]

En el área deportiva existe ya una gran variedad de dispositivos que ayudan a mejorar el rendimiento físico, cumplir tareas básicas y agilizar la interacción existente entre *smartphones* y usuarios; los más populares entre los usuarios son los famosos *smartwatches* o “relojes inteligentes” cuya principal función es conectarse mediante Bluetooth directamente al celular,

para que de esta forma y sin necesidad de tener tu dispositivo a la mano, puedas realizar distintas tareas exactamente de la misma manera que en tu teléfono .



Imagen 5 Algunos dispositivos wearables utilizados en el deporte

Con el rápido desarrollo de la industria del fitness, las personas dedican más y más energía para desarrollar su cuerpo. Según el informe del ACSM (American College of Sports Medicine), dispositivos portátiles y aplicaciones fitness, en los próximos años, serán la tecnología más popular en tendencia para las áreas de salud y actividad física, en las que la tecnología de dispositivos *wearable* dominaría el mercado. [9]

2.2.3 Principales características de un *Wearable*

Un dispositivo que puede ser calificado como *wearable* permite una interacción y un uso natural con el mismo, debe tender a ser un dispositivo que no interfiera en las actividades cotidianas y se pueda “portar” sin notar su presencia, es decir, que no sea una carga extra. En este sentido el dispositivo tiene un enfoque más humano con respecto a su usabilidad e interacción. El dispositivo debe ser capaz de realizar acciones de valor, no sólo dar la hora local o reproducir una canción del reproductor de música. Su intención es ser útil sin invadir el espacio o acciones personales, quizás hasta utilizar el espacio alrededor del individuo para interactuar consigo mismo.

Los *wearable* son dispositivos computarizados o pequeñas computadoras destinadas a usarse en la muñeca y tienen una funcionalidad ampliada que a menudo está relacionada con la comunicación. La mayoría de los modelos actuales de dispositivos *wearable* se basan en un sistema operativo móvil. Algunos operan como dispositivos emparejados con teléfonos inteligentes y proporcionan una pantalla adicional con la que informar al usuario sobre nuevas notificaciones, como mensajes recibidos, llamadas o recordatorios de calendario. Los fabricantes continúan desarrollando sus productos y agregando características, como marcos impermeables, sistemas de navegación con sistema de posicionamiento global (GPS) y funciones de seguimiento de estado físico / salud. [10]

Ejemplo de características de estos dispositivos son:

- Baja potencia de funcionamiento: los componentes del dispositivo son de bajo consumo de energía, por lo que la batería se puede usar por un largo periodo de tiempo.
- Interfaz amigable para el usuario con comandos táctiles y de voz: cuentan con pantallas táctiles que facilitan la manipulación del dispositivo.
- Comunicación inalámbrica: son capaces de conectarse por vía *Bluetooth* o *Wifi* para enviar y recibir información.

- Navegación: Al contar con una pantalla táctil, se puede hacer uso del dispositivo como si fuera este un *smartphone* para hacer distintas acciones, como leer mensajes, hacer llamadas o revisar el calendario.
- Seguimiento de actividad fitness: La detección de pasos realizados o la cantidad de calorías quemadas son un ejemplo del seguimiento que otorgan estos dispositivos
- Ligero: al poseer dimensiones milimétricas, el peso total de estos dispositivos tiende a ser muy similar al de un reloj de muñeca convencional.

2.2.4 Desarrollo de un dispositivo *Wearable* para el deporte

El reconocimiento de actividad con sensores portátiles puede proporcionar retroalimentación al usuario sobre su estilo de vida con respecto a la actividad física y los deportes y, por lo tanto, promover un estilo de vida más activo. Hasta ahora, el reconocimiento de la actividad se ha estudiado principalmente en entornos de laboratorio supervisados. El objetivo de realizar diferentes estudios es examinar qué tan bien se pueden reconocer las actividades diarias y los deportes realizados por los sujetos en entornos no supervisados en comparación con los entornos supervisados. [11]

Grandes empresas de tecnología, incluidas Apple, Google y Samsung, están ingresando al mercado en expansión a la salud de la población con la introducción de dispositivos portátiles. Esta tecnología, que se usa en ropa o accesorios, es parte de un movimiento más amplio que a menudo se conoce como el "yo cuantificado". La idea es que, al registrar y reportar información sobre comportamientos como la actividad física o los patrones de sueño, estos dispositivos pueden educar y motivar individuos hacia mejores hábitos y mejor salud. Sin embargo, la brecha entre registrar información y cambiar el comportamiento es sustancial, y aunque estos

dispositivos están aumentando en popularidad, hay poca evidencia que sugiera que están cerrando esa brecha. [12]

El desarrollo de un dispositivo *wearable* para el deporte se enfoca principalmente en la detección de movimientos, componentes como acelerómetros, barómetros, giroscopios, GPS, son utilizados para tener dos principales funcionalidades: análisis del rendimiento y prevención de lesiones. Información que permite a entrenadores y personal médico monitorizar valores como el rendimiento muscular, la respuesta del corazón, el ritmo de la respiración, la resistencia o estamina. Buena parte de lesiones están directamente relacionadas con la fatiga, y el análisis de datos permite a los equipos profesionales saber en todo momento el estado de forma de un deportista y los niveles de carga física que podrían derivar en lesión si no se actúa a tiempo. [8]

2.3 Inteligencia Artificial

La inteligencia artificial es una rama de la informática que tiene como objetivo crear máquinas inteligentes. Se ha convertido en una parte esencial de la industria tecnológica. La investigación asociada con la inteligencia artificial es altamente técnica y especializada. Los problemas centrales de la inteligencia artificial incluyen la programación de computadoras para ciertos rasgos como: conocimiento, razonamiento, resolución de problemas, percepción, aprendizaje, planificación, capacidad para manipular y mover objetos, entre otros. [13]

La ingeniería del conocimiento es una parte central de la investigación de IA. Las máquinas a menudo pueden actuar y reaccionar como los humanos solo si tienen abundante información relacionada con el mundo. La inteligencia artificial debe tener acceso a objetos, categorías, propiedades y relaciones entre todos para implementar la ingeniería del conocimiento. Iniciar el sentido común, el razonamiento y el poder de resolución de problemas en las máquinas es una tarea difícil y tediosa. [13]

El aprendizaje automático también es una parte central de la IA. El aprendizaje sin ningún tipo de supervisión requiere la capacidad de identificar patrones en flujos de entradas, mientras que el aprendizaje con supervisión adecuada implica la clasificación y las regresiones numéricas. [13]

La clasificación determina la categoría a la que pertenece un objeto y la regresión trata de obtener un conjunto de ejemplos numéricos de entrada o salida, descubriendo así funciones que permiten la generación de salidas adecuadas a partir de las entradas respectivas. El análisis matemático de los algoritmos de aprendizaje automático y su rendimiento es una rama bien definida de la informática teórica, a menudo denominada teoría del aprendizaje computacional. [13]

La percepción de la máquina se ocupa de la capacidad de usar entradas sensoriales para deducir los diferentes aspectos del mundo, mientras que la visión por computadora es el poder de analizar las entradas visuales con algunos subproblemas como el reconocimiento facial, de objetos y gestos. [13]

Arend Hintze, profesor asistente de biología integrativa y ciencias de la computación e ingeniería en la Universidad Estatal de Michigan, clasifica la IA en cuatro tipos, desde el tipo de sistemas de IA que existen hoy en día hasta los sistemas inteligentes, que aún no existen. Sus categorías son las siguientes: [14]

- Tipo 1: máquinas reactivas. Un ejemplo es Deep Blue, el programa de ajedrez de IBM que venció a Garry Kasparov en la década de 1990. Deep Blue puede identificar piezas en el tablero de ajedrez y hacer predicciones, pero no tiene memoria y no puede usar experiencias pasadas para informar las futuras. Analiza posibles movimientos, propios y de su oponente, y elige el movimiento más estratégico. *Deep Blue* y *AlphaGO* de Google fueron diseñados para propósitos limitados y no pueden aplicarse fácilmente a otra situación.
- Tipo 2: memoria limitada. Estos sistemas de IA pueden usar experiencias pasadas para informar decisiones futuras. Algunas de las funciones de toma de decisiones en los autos

sin conductor están diseñadas de esta manera. Las observaciones informan acciones que sucederán en un futuro no muy lejano, como el cambio de carriles de un automóvil. Estas observaciones no se almacenan de forma permanente.

- Tipo 3: Teoría de la mente. Este término de psicología se refiere a la comprensión de que otros tienen sus propias creencias, deseos e intenciones que afectan las decisiones que toman. Este tipo de IA aún no existe.
- Tipo 4: autoconciencia. En esta categoría, los sistemas de IA tienen un sentido de sí mismos, tienen conciencia. Las máquinas con autoconciencia comprenden su estado actual y pueden usar la información para inferir lo que otros sienten. Este tipo de IA aún no existe.

La IA se incorpora a una variedad de diferentes tipos de tecnología. Pero la que se está desarrollando de manera concurrente es la que lleva por nombre “*Machine Learning*” o Aprendizaje Automático, ésta al tener una gran variedad de herramientas de desarrollo y manipulación, ha sido investigada a mayor profundidad.

El aprendizaje automático es la ciencia de hacer que una computadora actúe sin programación. El aprendizaje profundo es un subconjunto del aprendizaje automático que, en términos muy simples, puede considerarse como la automatización del análisis predictivo. Hay tres tipos de algoritmos de aprendizaje automático: [14]

- Aprendizaje supervisado: los conjuntos de datos se etiquetan para que los patrones se puedan detectar y utilizar para etiquetar nuevos conjuntos de datos
- Aprendizaje no supervisado: los conjuntos de datos no están etiquetados y se ordenan de acuerdo con similitudes o diferencias
- Aprendizaje de refuerzo: los conjuntos de datos no están etiquetados, pero después de realizar una acción o varias acciones, el sistema de IA recibe comentarios

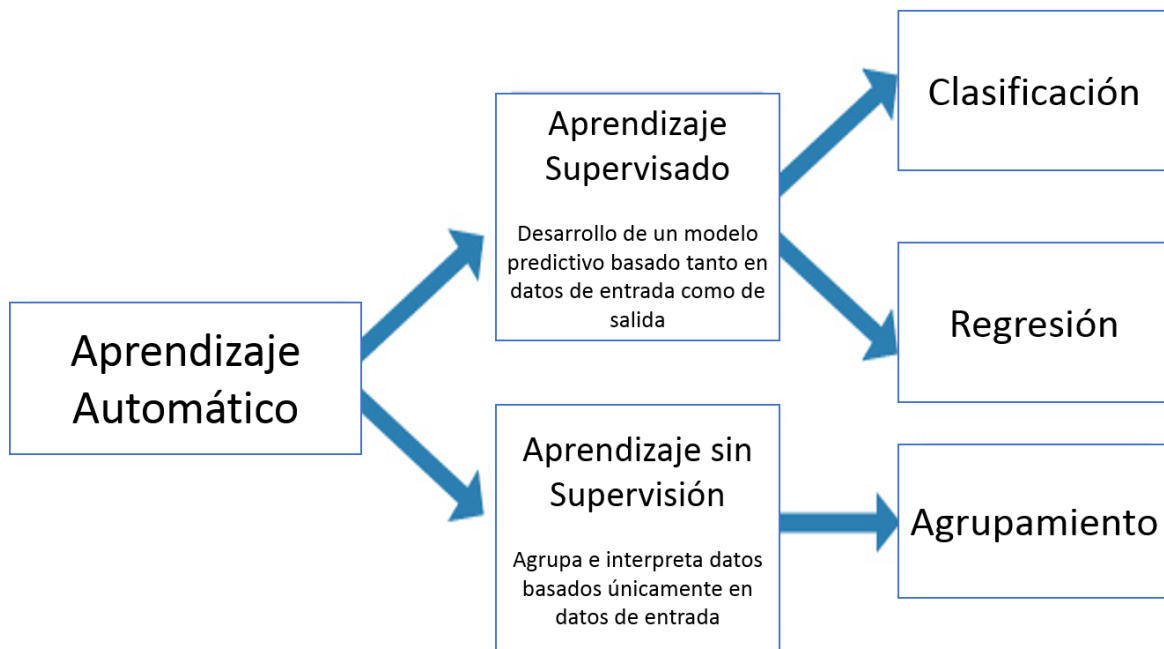


Imagen 6 Principales algoritmos del Aprendizaje Automático. Traducido de [14]

2.3.1 Machine Learning: Aprendizaje Supervisado

El aprendizaje automático, entonces, se trata de hacer que las computadoras modifiquen o adapten sus acciones (ya sea que estas hagan predicciones o controlen un robot) para que estas acciones se vuelvan más precisas, donde la precisión se mide por qué tan bien las acciones elegidas reflejan las correctas. [15] Un ejemplo de este aprendizaje automático es el auto corrector, disponible en la mayoría de los teléfonos móviles actuales, esta es una función que agiliza y ayuda a la redacción y corrección de mensajes de texto, el algoritmo comienza con un diccionario configurado previamente al idioma seleccionado, comienza prediciendo palabras similares a las ingresadas por el usuario y las redacta, el usuario tiene la posibilidad de modificar palabras e incluso añadir nuevas al diccionario, esta base datos se alimenta con las entradas y salidas de palabras utilizadas. El auto corrector mejorará y aprenderá las palabras que se usen

con mayor frecuencia, los resultados de predicción tendrán porcentajes altos y así funcionara con cada palabra existente en su diccionario base; esta es una forma de entrenamiento.

Solo en la última década se ha reconocido la multidisciplinariedad inherente del aprendizaje automático. Fusiona ideas de neurociencia y biología, estadística, matemáticas y física para hacer que las computadoras aprendan. Otra cosa que ha impulsado el cambio en la dirección de la investigación de aprendizaje automático es la minería de datos, que analiza la extracción de información útil de conjuntos de datos masivos (por hombres con computadoras y protectores de bolsillo en lugar de picos y cascos), y que requiere algoritmos eficientes, poniendo más énfasis en la informática. [15]

La complejidad computacional de los métodos de aprendizaje automático también nos interesa, ya que lo que estamos produciendo son algoritmos. Es particularmente importante porque podríamos querer usar algunos de los métodos en conjuntos de datos muy grandes, por lo que los algoritmos que tienen una complejidad polinómica de alto grado en el tamaño del conjunto de datos (o peor) serán un problema. La complejidad a menudo se divide en dos partes: la complejidad del entrenamiento y la complejidad de aplicar el algoritmo entrenado. La capacitación no se realiza con mucha frecuencia y, por lo general, no es un tiempo crítico, por lo que puede llevar más tiempo. Sin embargo, a menudo queremos una decisión sobre un punto de prueba rápidamente, y potencialmente hay muchos puntos de prueba cuando se utiliza un algoritmo, por lo que esto debe tener un bajo costo computacional. [15]

Las aplicaciones en las que los datos de entrenamiento comprenden ejemplos de los vectores de entrada junto con sus vectores objetivo-correspondientes se conocen como problemas de aprendizaje supervisados. Casos como el ejemplo de reconocimiento de dígitos, en el que el objetivo es asignar cada vector de entrada a una de un número finito de categorías discretas, se denominan problemas de clasificación. Si el resultado deseado consta de una o más variables continuas, la tarea se llama regresión. Un ejemplo de un problema de regresión sería la predicción del rendimiento en un proceso de fabricación de productos químicos en el que las entradas consisten en las concentraciones de reactivos, la temperatura y la presión. [16]

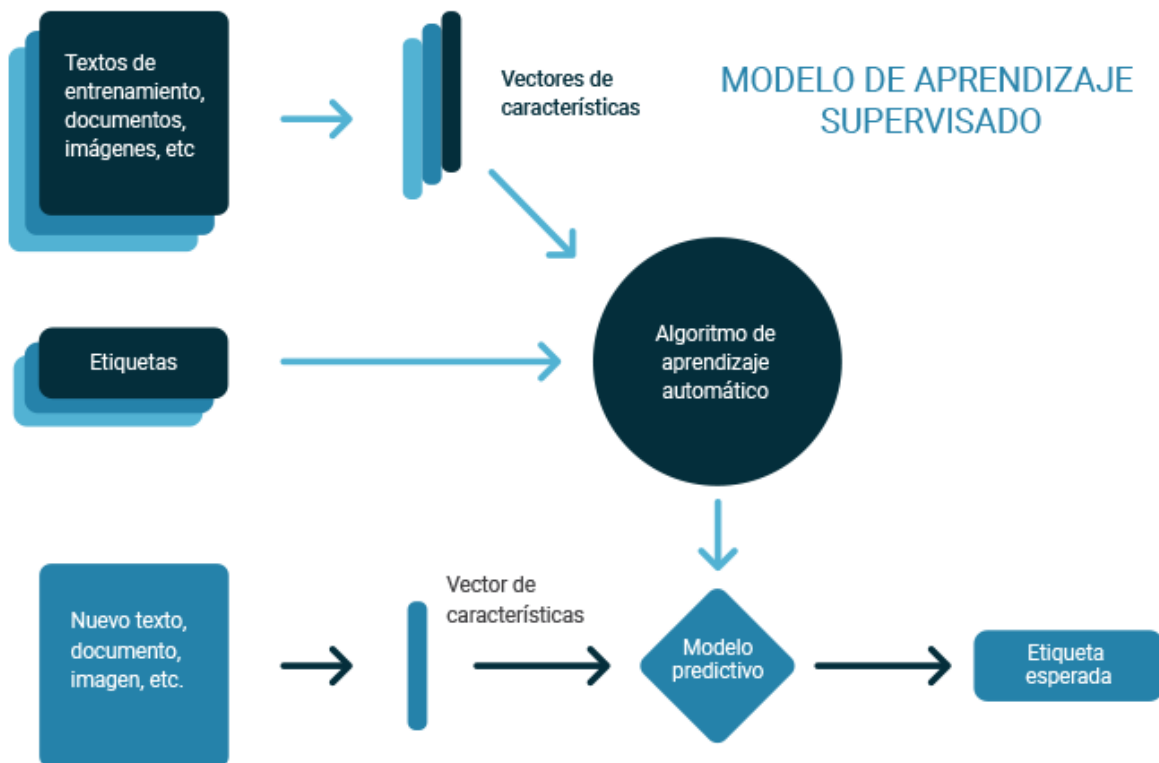


Imagen 7 Diagrama de flujo del Aprendizaje Supervisado. [20]

2.3.2 TensorFlow

“TensorFlow es un sistema de aprendizaje automático que funciona a gran escala y en entornos heterogéneos. TensorFlow utiliza gráficos de flujo de datos para representar el cálculo, el estado compartido y las operaciones que mutan ese estado. Mapea los nodos de un gráfico de flujo de datos a través de muchas máquinas en un clúster, y dentro de una máquina a través de múltiples dispositivos computacionales, incluyendo CPU multinúcleo, GPU de uso general y ASIC de diseño personalizado conocidos como Unidades de Procesamiento de Tensor (TPU). Esta arquitectura le da flexibilidad al desarrollador de la aplicación: mientras que en los diseños anteriores de “servidor de parámetros” la gestión del estado compartido está integrada en el sistema, TensorFlow permite a los desarrolladores experimentar con nuevas optimizaciones y algoritmos

de entrenamiento. TensorFlow soporta una variedad de aplicaciones, con un enfoque en entrenamiento e inferencia en redes neuronales profundas. Varios servicios de Google utilizan TensorFlow en la producción, lo hemos lanzado como un proyecto de código abierto y se ha utilizado ampliamente para la investigación del aprendizaje automático.” [17]

TensorFlow se puede definir como una biblioteca de “*open source*” o código abierto, que fue creada para desarrollar algoritmos y modelos de Aprendizaje Supervisado, con una extensa variedad de tareas que es capaz de realizar esto gracias a la posibilidad de construir y entrenar base datos para entrenar utilizando Redes Neuronales. De esta forma el algoritmo puede descifrar patrones y correlaciones, análogos al aprendizaje y razonamiento usados por los humanos.

En la actualidad, TensorFlow es una herramienta de gran utilidad y que ha sido de apoyo tanto para proyectos universitarios como para avances en la industria tecnológica, como se ha logrado presenciar en ámbitos de búsqueda de información (buscador de Google), el autocompletado en los smartphones, así como en predicciones de imágenes analizadas, entre otros.

2.3.3 Algoritmo de Aprendizaje Supervisado: *DNN (Deep Neural Network)*

Las redes neuronales son un conjunto de algoritmos, modelados libremente a partir del cerebro humano, que están diseñados para reconocer patrones. Interpretan los datos sensoriales a través de una especie de percepción de máquina, etiquetado o agrupación de datos sin procesar. Los patrones que reconocen son numéricos, contenidos en vectores, a los que se deben traducir todos los datos del mundo real, ya sean imágenes, sonido, texto o series de tiempo. [18]

Las redes neuronales ayudan a agrupar y clasificar distintos datos. Se puede pensar en ellas como una capa de agrupamiento y clasificación sobre los datos que almacena y administra. Ayudan a agrupar los datos sin etiquetar de acuerdo con las similitudes entre las entradas de ejemplo, y clasifican los datos cuando tienen un conjunto de datos etiquetados para entrenar. Las redes neuronales también pueden extraer características que se alimentan a otros algoritmos para la agrupación y clasificación; por lo tanto, puede pensar en redes neuronales profundas como componentes de aplicaciones de aprendizaje automático más grandes que involucran algoritmos para aprendizaje de refuerzo, clasificación y regresión. [18]

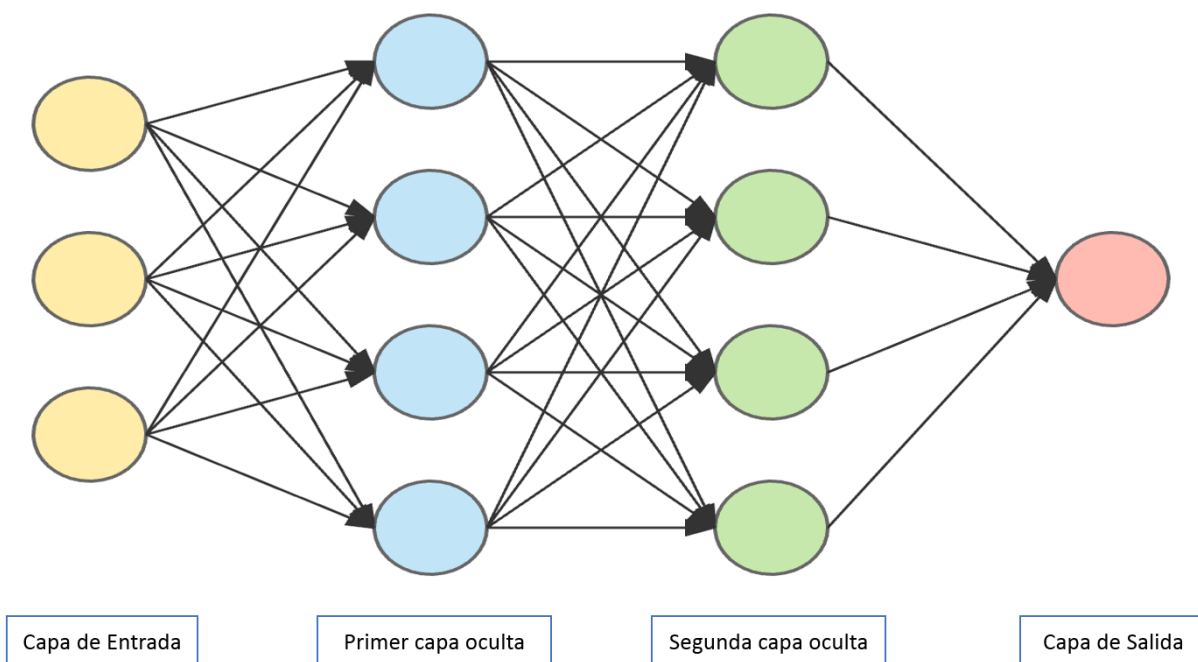


Imagen 8 Ejemplo de un algoritmo de Red Neuronal. Traducido de [18]

Muchos expertos definen las redes neuronales profundas como redes que tienen una capa de entrada, una capa de salida y al menos una capa oculta en el medio. Cada capa realiza tipos específicos de clasificación y ordenación en un proceso que algunos denominan "jerarquía de

características". Uno de los usos clave de estas sofisticadas redes neuronales es tratar con datos no etiquetados o no estructurados. La frase "aprendizaje profundo" también se usa para describir estas redes neuronales profundas, ya que el aprendizaje profundo representa una forma específica de aprendizaje automático donde las tecnologías que utilizan aspectos de inteligencia artificial buscan clasificar y ordenar la información de manera que va más allá de los simples protocolos de entrada / salida. [19]

La mayoría de los algoritmos describen una instancia individual cuya categoría se va a predecir utilizando un vector de características de propiedades individuales medibles de la instancia. Cada propiedad se denomina una característica, también conocida en las estadísticas como una variable explicativa (o variable independiente, aunque las características pueden o no ser estadísticamente independientes). Las características pueden ser binarias (por ejemplo, "macho" o "hembra"); categórica (por ejemplo, "A", "B", "AB" u "O", para el tipo de sangre); ordinal (por ejemplo, "grande", "medio" o "pequeño"); valores enteros (por ejemplo, el número de ocurrencias de una palabra en particular en un correo electrónico); o valor real (por ejemplo, una medida de la presión sanguínea). Si la instancia es una imagen, los valores de la característica podrían corresponder a los píxeles de una imagen; si la instancia es una parte de texto, los valores de característica pueden ser frecuencias de ocurrencia de palabras diferentes. Algunos algoritmos funcionan sólo en términos de datos discretos y requieren que los datos valorados en valores reales o enteros sean discretizados en grupos (por ejemplo, inferior a 5, entre 5 y 10 o superior a 10). [20]

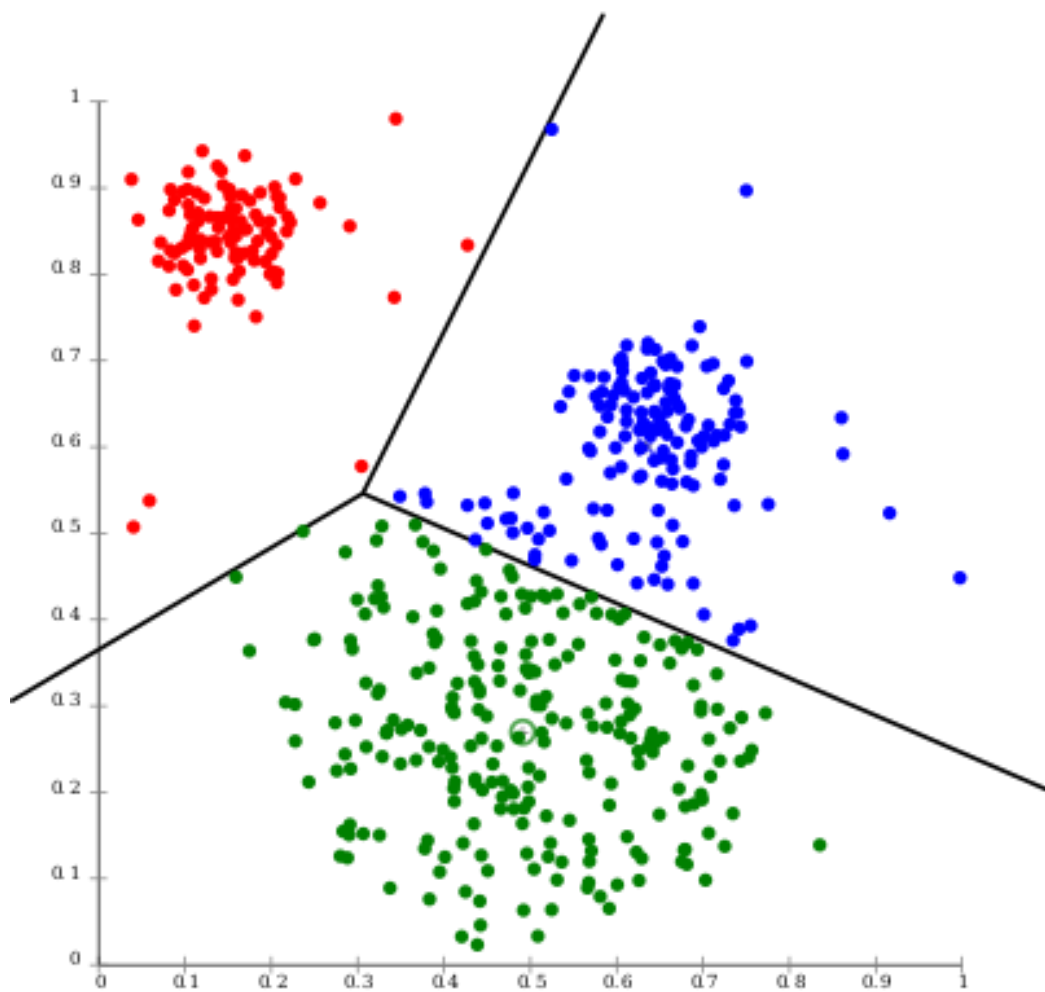


Imagen 9 Ejemplo de Vectores de clasificación. [20]

3. Problemática

El INEGI tiene el compromiso de recabar Información de Interés Nacional, y desde 2013 creó el Módulo de Práctica Deportiva y Ejercicio Físico (MOPRADEF), con el que capta información de la población de 18 y más años de edad. El porcentaje de dicha población es un indicador clave (información que es útil para diseñar y evaluar políticas públicas orientadas, en este caso, al fomento del deporte y ejercicio físico) desde diciembre de 2017. [21] Este Módulo tiene como principal finalidad obtener información sobre la participación de hombres y mujeres en la práctica de algún deporte o ejercicio físico en su tiempo libre, así como algunas características asociadas a las actividades físico-deportivas.

El MOPRADEF revela que 58.2% de la población mexicana de 18 y más años en el agregado urbano de 32 ciudades de 100 mil y más habitantes es inactiva físicamente. Por sexo, 63.3% de la población femenina es inactiva físicamente, en tanto que 52.3% de la población masculina declaró que no realiza ninguna actividad físico-deportiva. [22]

Considerando sexo y grupo de edad, 59.8% de la población masculina de 18 a 24 años declaró sí realizar alguna actividad físico-deportiva. Por su parte, el mayor número de mujeres activas lo conforma el grupo de 35 a 44 años, con 42.8 por ciento. [22]

En la actualidad, hablar sobre el deporte y una vida saludable es algo muy común, las personas buscan distintas formas de realizar actividades físicas, pero sobre todo de llevar un control en su acondicionamiento. Para ello, la industria tecnológica ha creado una variedad notable de aparatos y dispositivos electrónicos capaces de optimizar, ayudar e incluso favorecer el cómo llevar esta vida saludable a un nivel más estable. Desde la creación de aparatos para ejercitarse sin necesidad de salir de casa hasta dispositivos que registran temperatura corporal, ritmo cardíaco, distancias recorridas, etc. Cada uno con tareas específicas a desarrollar.

Un estudio general realizado en 2015 por Startek (empresa de subcontratación de procesos comerciales que está comprometida con el cliente) mostró en una encuesta titulada “*Wearable Technology Survey*”, que la gente acostumbrada a realizar rutinas de ejercicio o distintas actividades físicas, busca dispositivos que se puedan portar con mayor facilidad en partes del cuerpo, mayormente en la muñeca, pues el 90% de ellos no están interesados en tecnología inteligente implementada en prendas de ropa u otras partes del cuerpo. El 64% cuenta con *wearables* tipo relojes inteligentes, mientras que el 43% también respondió que ya cuenta con su propio dispositivo *wearable fitness*. Startek encuestó alrededor de 1,000 consumidores que poseían o planeaban poseer tecnología wearable en ese año, la muestra encuestada fue de hombres y mujeres de entre 18 y 60 años en Estados Unidos, con esta información se obtiene una idea general del enfoque que los wearables y el deporte representan en la actualidad. [23]

3.1 Objetivo General

El objetivo principal de este proyecto es diseñar un dispositivo *wearable* capaz de detectar los diferentes movimientos corporales que se realizan en cada actividad física dentro de una rutina HIIT para después clasificar en una base de datos y a su vez poder identificar la correcta o errónea ejecución de dicho movimiento, esto con la finalidad de utilizar el dispositivo como un entrenador personal que ayude al usuario en su entrenamiento.

La finalidad última del proyecto es contribuir al desarrollo de rutinas HIIT, así como la realización de las actividades físicas de las cuales están constituidas.

Las ventajas de utilizar un *wearable* con estas características son: la comodidad, fácil portabilidad y sobre todo la eficiencia que podrían generar para los usuarios que lo utilicen y se preocupan día a día de su rutina física.

3.2 Justificación

La mayoría de las personas que practican algún deporte o ejercicio físico en el tiempo libre, declararon que lo hacen por salud (62.8%), casi uno de cada cinco dijo practicarlo por diversión (19.4%) y la tercera razón más frecuente fue para verse mejor (15.2%). [22]

El tiempo promedio semanal que la población de 18 y más años dedica a realizar deporte o ejercicio físico con nivel de suficiente es de 5 horas con 21 minutos. En cuanto a horarios, de la población que declaró realizar práctica físico-deportiva, 35.5% lo efectúa en la mañana; 30.3% por la tarde, y 19.9% en la noche. [22]

Para realizar actividad físico-deportiva 66.8% de la población activa físicamente acude a instalaciones públicas, mientras que, el 30.7% lo realiza en instalaciones privadas como gimnasios, clubes, domicilios particulares o instalaciones de su lugar de trabajo o estudio. Las personas de 18 y más años que abandonaron la práctica deportiva o que declararon nunca haberla realizado, revelaron que sus motivos fueron: falta de tiempo, cansancio por el trabajo y problemas de salud. [22]

La tecnología avanza a pasos agigantados y en los últimos años esto se ha visto reflejado en muchos aspectos de la vida cotidiana. El deporte y sobre todo el tema del bienestar y la salud son aspectos de suma importancia para la población. Ahora las personas pueden apoyarse de los avances para llevar una vida más saludable y esto implica tener más opciones para elegir.

Los dispositivos *wearables* aportan información de utilidad: distancias recorridas, tiempo de ejecución de alguna acción física, ritmo cardiaco, entre otros. Sin embargo, se necesita supervisión de algún profesional o especialista en el tema que pueda orientar y apoyar a cada persona con las rutinas que lleva a cabo. El porcentaje mayor de población que realiza actividad física acude a instalaciones públicas, por ende, no cuenta con supervisión de un entrenador que pueda estar presente durante el tiempo de entrenamiento, mientras que las personas que van a

lugares privados, como es el caso de gimnasios o clubes, sí cuentan con esta supervisión, pero no siempre con atención personalizada pues los entrenadores atienden a varias personas al mismo tiempo. Un dispositivo personal como el *HIIT Wearable* podría ser el complemento deportivo que cumpliera una función de entrenador y lograra indicar al usuario si el ejercicio se está ejecutando correctamente o no.

La idea de poder adquirir un dispositivo capaz de obtener resultados que indiquen la correcta ejecución de una actividad también podría ser motivo de interés entre aquellas personas que sólo hacen ejercicio por diversión o verse mejor, pues de esta forma, podrían llevar su gusto por el deporte a un nivel profesional.

3.3 Alcances

En este trabajo se presenta una propuesta de obtención, manejo de datos y entrega de resultados para una optimización en la realización de actividades físicas convencionales que en ocasiones no son hechas adecuadamente, generando resultados deficientes y que incluso pueden llegar a afectar la condición física del usuario.

Durante el proceso de diseño, manufactura y programación del proyecto, se buscó mantener los mismos estándares que los dispositivos *wearables* dentro del mercado actual, es decir, que el *HIIT Wearable* tuviera dimensión y peso dentro del rango del resto. Así como también se buscó utilizar las herramientas que son mayormente utilizadas para su programación, tal es el caso del lenguaje de Python y el código abierto de *TensorFlow*.

Esto en conjunto dará como resultado el modelo final de un dispositivo capaz de detectar actividades físicas con un entrenamiento supervisado que, a futuro, podrá predecir el tipo de ejercicio que una persona esté realizando en tiempo real, en una futura iteración.

4. Diseño Conceptual

El modelo de este proyecto se desarrolló en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. A partir de la problemática y objetivo general, se recaba la información de los requerimientos del dispositivo *wearable* con la finalidad de cumplir con los alcances que se tienen.

Después de realizar un estudio de mercado orientado a las necesidades principales que los usuarios buscan al adquirir un dispositivo *wearable*, la investigación arrojó que la mayoría de estos se enfocaban principalmente en las actividades físicas y deportivas que realizan, priorizando un dispositivo que ayudara a mejorar la experiencia durante la realización de entrenamiento y acondicionamiento físico. Dentro del mismo estudio realizado, se encontró que a la mayoría le agrada más el usar alguna prenda extra en muñecas o añadidos a la ropa, esto a consideración de tener una mayor libertad de movimiento e incluso despreocuparse por recordar que usan un dispositivo *wearable* todo el tiempo (no invasivo).

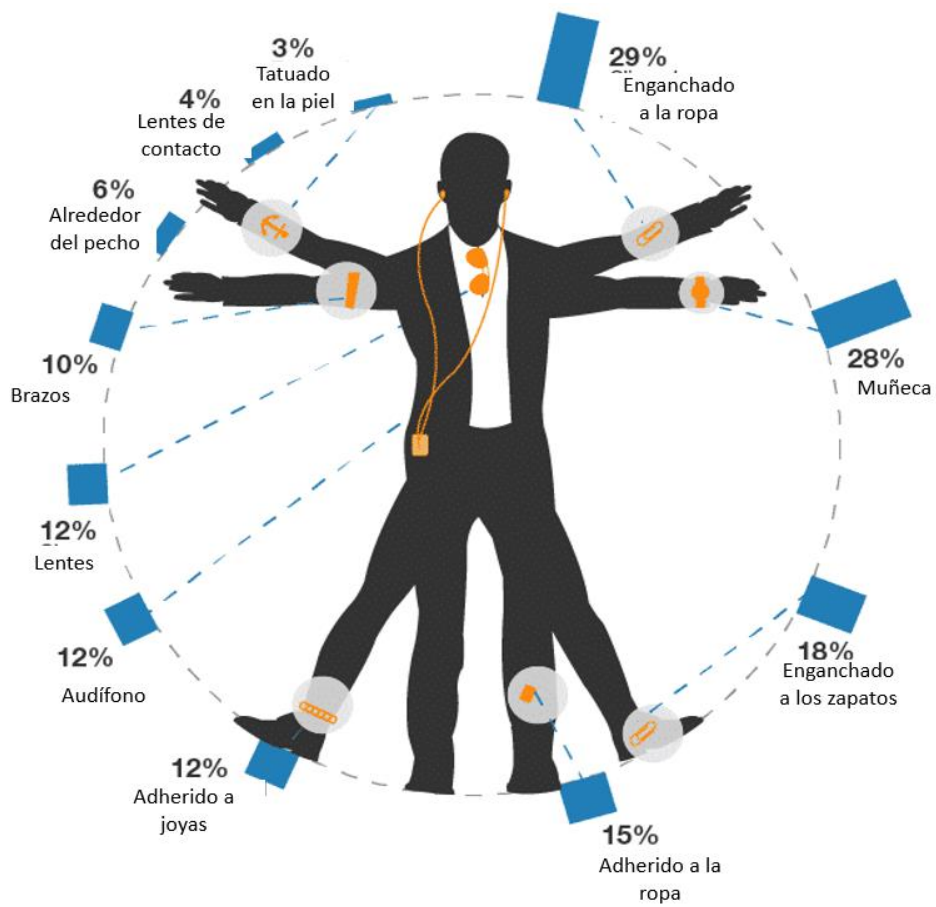


Imagen 10 Principales partes del cuerpo en donde suelen ir colocados los dispositivos wearables. Traducido de [24]

Antes de comenzar con la realización del dispositivo, se hizo una investigación respecto a las tareas que tendría que cumplir respecto a lo ya planteado en el capítulo 3. A continuación, se describe a detalle el proceso de desarrollo que se siguió para obtener el modelo de *HIIT Wearable*.

4.1 Requerimientos del dispositivo

Se entiende por requerimientos a las cualidades que debe poseer un proyecto, o en este caso un dispositivo, con el fin de cumplir por completo con las tareas asignadas y obteniendo los mejores resultados cubriendo las necesidades del propósito de dicho proyecto. El dispositivo se realizó pensando en todos estos requerimientos y poniendo como prioridades características como la comodidad, fácil portabilidad y rápida transmisión de datos que genera.

Haciendo un análisis de la información descrita en la problemática y considerando elementos que se mencionan constantemente en la literatura de la tecnología wearable, se obtuvieron las siguientes características como necesidades destacadas para el dispositivo *wearable*:

Debe ser un dispositivo no invasivo, es decir, que debe permitir al usuario recrear todo tipo de movimientos sin ningún tipo de restricción o molestia.

Debe ser portable de larga duración, debido a que la información transmitida y enviada se realiza de manera inalámbrica por lapsos de tiempo de entrenamiento variados.

Debe detectar cualquier movimiento que realice el usuario, ya que su principal finalidad es detectar el tipo de movimiento que una persona está realizando y a su vez, poder registrar si el movimiento ha sido notorio o no.

Debe ser de fácil uso, es decir, que las indicaciones para manejar y controlar manualmente el dispositivo sean de sencilla comprensión.

Tabla 1 Necesidades y requerimientos

Necesidades	Requerimientos
Debe ser un dispositivo no invasivo.	Contar con dimensiones pequeñas.
Debe ser portable de larga duración.	Tener una batería que tenga un rendimiento favorable y el tiempo de descarga sea prolongado.
Debe detectar cualquier movimiento que realice el usuario.	Los sensores deben ser capaces de registrar cualquier tipo de acción realizada por el usuario.
Debe ser de fácil uso.	Contener la menor cantidad de instrucciones y botones.
Debe conectarse inalámbricamente.	Usar medios de comunicación de datos similares a los dispositivos <i>wearables</i> comerciales.

Para llevar a cabo cada una de las necesidades planteadas se realizaron diferentes búsquedas de información y datos comparativos entre distintos dispositivos wearables del mercado tecnológico actual.

La principal necesidad por considerar, como se mencionó anteriormente en el capítulo 2.2.1, es que debe ser del menor tamaño posible, ya que de otra manera no podría considerarse un *wearable*. Para ello se buscaron características en común que tienen todos los *wearables* del mercado, tales como: tamaño, peso, geometría.

Al ser un dispositivo inalámbrico, no ocupa ningún tipo de alimentación durante su uso más que la batería con la que se mantiene en funcionamiento, y es esta batería la que es de mucha utilidad debido a la duración que proporciona para realizar varias pruebas que fueron necesarias y se explicarán más a detalle en el capítulo 6.

La función primaria del dispositivo es detectar movimientos, por lo que debe poseer sensores que permitan el registro del movimiento del usuario o de lo contrario, su inactividad.

El dispositivo debe ser de fácil uso, es decir, que cualquier persona pueda utilizarlo de manera autónoma. Al ser un modelo funcional, el *HIIT Wearable* contará con pocos botones para su uso y la mayor parte de su manejo será en una computadora, esto debió al procesamiento de los datos que requiere el entrenamiento del programa.

Por último, el dispositivo debe conectarse inalámbricamente, es decir, que no necesite el uso de ningún cable para la transmisión y recepción de datos generados por el dispositivo *wearable* y que serán almacenados por el equipo de cómputo.

4.2 Especificaciones del dispositivo

Las especificaciones se traducen a aquellos valores métricos que describen cuantitativa y cualitativamente los requerimientos del proyecto antes mencionados. Para conocer mejor qué valores son los que se deben comparar con los esperados en el modelo *wearable*, se realizó una investigación entre los componentes más utilizados.

En la Tabla 2 se muestra el rango de valores que rigen al mercado de *smartwatches*, los cuales son el modelo que sigue el desarrollo del dispositivo *wearable*. Se especifica los rangos de dimensión, duración de batería y tipo de sensores que se utilizan en la industria.

Tabla 2 Requerimientos y especificaciones

Requerimientos	Especificaciones
Contar con dimensiones pequeñas.	Las dimensiones de un <i>wearable</i> oscilan entre los 40-50 mm de alto y ancho. Más una altura 20-50 mm aproximadamente.
Tener una batería que tenga un rendimiento favorable y el tiempo de descarga sea prolongado.	La duración de una batería promedio es de 24 horas.
Los sensores deben ser capaces de registrar cualquier tipo de acción realizada por el usuario.	Los sensores utilizados comúnmente son de tipo giroscopio y acelerómetro.
Contener la menor cantidad de instrucciones y botones.	La mayoría de los dispositivos <i>wearable</i> cuenta con pantalla táctil y un par de botones alusivos a un reloj tradicional.
Usar medios de comunicación de datos similares a los dispositivos <i>wearables</i> comerciales.	Los dispositivos <i>wearables</i> establecen comunicación con otros dispositivos mediante el uso de <i>Bluetooth</i> .

Para tener una referencia sobre las dimensiones que cuentan algunos dispositivos en el mercado se realizó una investigación respecto a los parámetros que tienen estos, en donde se encontró que las dimensiones varían dependiendo el modelo, funciones que realiza y peso. En general, ningún dispositivo pasa de los sesenta milímetros de alto, ancho o altura.

Al poseer una placa basada en un microcontrolador, esta debe ser alimentada con energía eléctrica por lo que se requirió de una batería de larga duración, que permitiera realizar varias pruebas sin necesidad de estar cargándola seguido y que, a su vez, demostrará su durabilidad al igual que cualquier aparato electrónico como un celular, Tablet o *smartwatch*.

Como se mencionó anteriormente, la tarea principal del dispositivo *HITT* es registrar datos de movimiento, por lo que se necesitó de sensores que cumplieran con este requerimiento, los dispositivos *wearables* comerciales cuentan con dos sensores para la detección de movimientos corporales: acelerómetro y giroscopio. Estos fueron los utilizados para su funcionamiento.

El fácil manejo de cualquier aparato electrónico es lo que hace que sean utilizados por más y más personas, por esta razón, el modelo *wearable* al igual que el resto de los dispositivos, sólo cuenta con un botón de encendido/apagado, reinicio y un centro de carga para alimentar la batería una vez descargada.

Al ser un modelo que transmite información inalámbrica, requirió de un medio de comunicación capaz de enviar y recibir información sin ocupar algún cableado externo entre dispositivos, la conexión común usada para todos los dispositivos *wearable* comerciales es la conexión vía *Bluetooth*.

Cada especificación descrita hace referencia a la comparativa realizada respecto a algunos dispositivos *wearable* actualmente en el mercado y que cumplen con las principales características de estos, mencionadas en el capítulo 2.2.3.

Tabla 3 Comparativa entre algunos dispositivos wearable.



SAMSUNG GEAR S3 FRONTIER

Tamaño de Pantalla	1.3 Pulgadas
Resolución de Pantalla	360 x 360 píxeles
Dimensiones	4,9 x 1,3 x 4,6 centímetros
Peso	63 gramos (sin correa)



MOTOROLA MOTO 360 2

Tamaño de Pantalla	42/46 milímetros de diámetro
Resolución de Pantalla	360 x 330
Dimensiones	4,2 x 4,2 x 1,1 cm centímetros
Peso	55.6 gramos



SONY SMARTWATCH 3

Tamaño de Pantalla	1.6"
Resolución de Pantalla	320 x 320
Dimensiones	3,6 x 5,1 x 1 centímetros
Peso	38 gramos

4.3 Selección de componentes electrónicos

Para esto se realizó una investigación previa y comparativa de los componentes que se necesitarían para su manufactura.

En dicha investigación se tomaron en cuenta varios puntos destacables; el tamaño, precisión y precio fueron algunos de ellos. También se investigaron trabajos y artículos publicados por empresas y universidades que trabajan en proyectos similares, pero con enfoques y metas específicas, estos sirvieron de igual manera para la toma de decisiones de los sensores más convenientes para utilizar.

Para la selección de los componentes que integran el dispositivo HIIT, se realizó una investigación de los sensores, módulos y microcontroladores comerciales mayormente utilizados dentro de la industria tecnológica, así como los que se utilizan comúnmente en proyectos o trabajos académicos. Estos componentes cubren los requerimientos descritos en el capítulo anterior, además de ser de bajo costo en comparación a los utilizados en los dispositivos *wearable* del mercado actual.

A continuación, se describen algunos de los componentes considerados y las razones por las cuales se eligieron para su utilización.

4.3.1 Sensores

Un sensor es todo aquello que tiene una propiedad sensible a una magnitud del medio, y al variar esta magnitud también varía con cierta intensidad la propiedad, es decir, manifiesta la presencia de dicha magnitud, y también su medida.

El sensor que se necesitaba para cumplir con las tareas antes planteadas es uno denominado IMU (del inglés, *Inertial Measurement Unit*) o Unidad de Medida Inercial. También conocido como giroscopio, este dispositivo mide acelerometría en los 3 ejes (X, Y, Z) y velocidad angular o giro en estos mismo 3 ejes (Giro X, Y, Z). A continuación, se escribe una breve comparación entre los tres IMU más utilizados dentro de los dispositivos *wearable*.

Tabla 4 Comparativa de sensores IMU

Dispositivo	Ejes	Rango	Interfaz	Requerimientos de energía	Características
MPU-6050	3 acelerómetro (X, Y, Z) 3 girómetro (X, Y, Z)	$\pm 250, \pm 500,$ $\pm 1000,$ y $\pm 2000^\circ/\text{sec}$ $\pm 2g, \pm 4g, \pm 8g$ and $\pm 16g$	Digital I2C	2.375V-3.46VG- 3.6 mAA- 500 μ A	- Filtro paso bajo programable. - Detección de orientación. - Interrupciones programables. - Detección de caída libre.
MPU-3050	3 (X, Y, Z)	$\pm 250, \pm 500,$ $\pm 1000,$ y $\pm 2000^\circ/\text{sec}$	Digital I2C	2.1V a 3.6V 6.1 mA	- Interrupciones programable soporta características tales como el reconocimiento de gestos, paneo, detección de cero movimientos, detección de golpe y sacudida.
MPU-6000	3 acelerómetro (X, Y, Z) 3 girómetro (X, Y, Z)	$\pm 250, \pm 500,$ $\pm 1000,$ y $\pm 2000^\circ/\text{sec} \pm 2g,$ $\pm 4g, \pm 8g$ and $\pm 16g$	Digital I2C	2.375V-3.46VG- 3.6 mAA- 500 μ A	- Filtro paso bajo programable. - Detección de orientación. - Interrupciones programables.

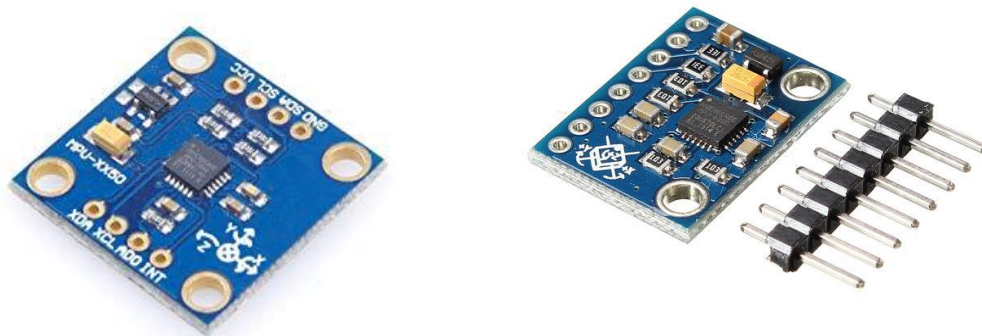


Imagen 11 MPU-3050 y MPU-6000

Una vez que se realizó el análisis de las opciones, se eligió utilizar el **MPU-6050**, las razones fueron que, el componente cuenta con ambos sensores de detección de movimiento en un sólo circuito embebido, lo que reduce el espacio que ocupa el sensor dentro del empaquetado del dispositivo, además posee un mapa de registros que son las direcciones en donde se ubica el registro del acelerómetro, giroscopio, así como la configuración de envío y recepción de datos. A diferencia de los otros sensores comparados, el IMU MPU-6050 es el más comercializado y utilizado tanto en la industria tecnológica como en el ámbito académico, ya que su adquisición es sencilla y su programación requiere conocimientos básicos de programación de C++, ya que la tarjeta de desarrollo de Arduino está basada en dicho lenguaje de programación.



Imagen 12 MPU-6050

4.3.2 Módulo

Los módulos son estos componentes embebidos que sirven para conectar vía inalámbrica dos o más dispositivos entre sí. Su función principal es la de transmitir la información generada de un dispositivo a otro. Algunos de los módulos que se encuentran en el mercado son: módulo *DSD TECH HM 10*, módulo *Esp32 Wifi + Bluetooth*, modulo *F-6188*, módulos *HC-05* y *HC-06*. Para los fines del proyecto, sólo fue necesario hacer una comparación entre los módulos *Bluetooth HC-05* y *HC-06*, esto debido a que ambos módulos están diseñados para trabajar y configurarse mediante la tarjeta de desarrollo *Arduino*, por lo que elegir entre la variedad existente en el mercado no fue necesario.

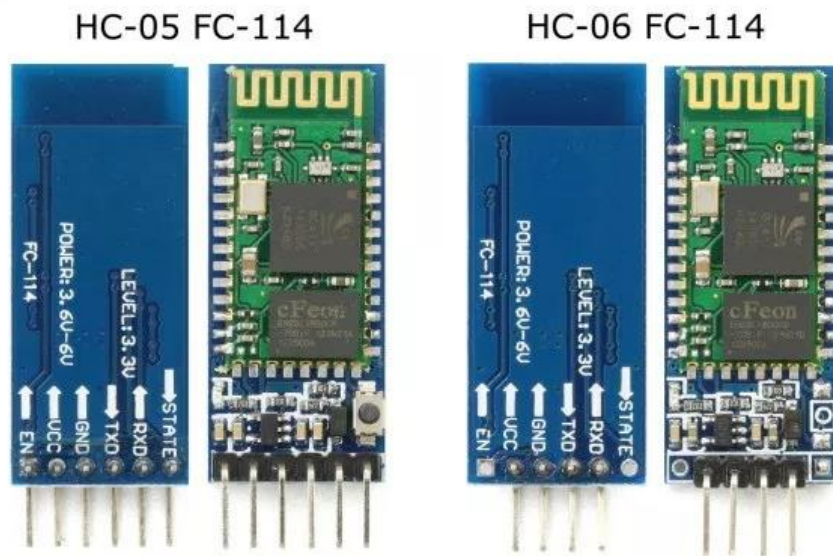


Imagen 13 Módulo Bluetooth HC-05 y HC-06

Ambos módulos cumplen con la tarea de enviar y recibir datos de un dispositivo a otro, la diferencia radica en la configuración que cada uno posee, ya que el HC-05 puede ser configurado

como *Bluetooth Master* o maestro, así como *Bluetooth Slave* o esclavo. Mientras que el HC-06 sólo se puede configurar como *Bluetooth Slave*.

La diferencia es que un *Bluetooth* esclavo solo puede conectarse a un maestro y a nadie más, en cambio un *Bluetooth* maestro, puede conectarse a varios esclavos o permitir que ellos se conecten, recibir y solicitar información de todos ellos, arbitrando las transferencias de información (llegando hasta un máximo de 7 esclavos). El modelo HC-06 dispone de 4 pines, en lugar de los 6 que incluye el modelo HC-05, pero en realidad sólo existe una diferencia significativa entre ambos. [24] El modelo HC-06 solo puede actuar como esclavo y además dispone de un juego reducido de instrucciones a las que atiende, mientras que el modelo HC-05 puede actuar como maestro o como esclavo y acepta un número mayor de órdenes de configuración.



Imagen 14 Módulo Bluetooth HC-06

Tomando en cuenta las características de cada módulo, se optó por elegir el **Bluetooth HC-06**, ya que el modelo *HIIT Wearable* solamente se encarga de recibir órdenes y enviar los datos que la PC demande, de esta forma el dispositivo termina siendo un esclavo y no se desconfigura después de cada uso.

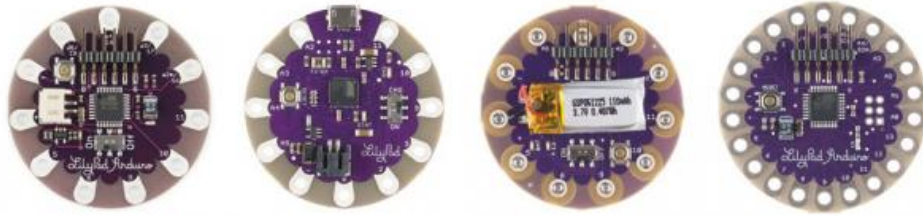
4.3.3 Microcontrolador

El microcontrolador es un circuito integrado de alta escala de integración que incorpora la mayor parte de los elementos que configuran un controlador y contiene componentes fundamentales de un ordenador, aunque de limitadas funcionalidades y que se suele destinar a ejecutar una sola tarea. En su memoria sólo reside un programa que controla el funcionamiento de una tarea determinada, sus líneas de entrada/salida se conectan a los sensores y actuadores del dispositivo a controlar y, debido a su pequeño tamaño, suele ir integrado en el propio dispositivo al que gobierna. [25]

El microcontrolador es el componente más importante dentro de cualquier *wearable*, pues al contener una memoria y un procesador, este se encarga de realizar todas las acciones programadas previamente para ejecutar la transmisión de datos entre dispositivos electrónicos, en este caso entre el *HIIT wearable* y la PC.

LilyPad Arduino es una tarjeta de desarrollo pionera en la industria *wearable*, su popularidad se debe a la facilidad para ser utilizada en prendas de vestir, desde playeras, chamarras, hasta relojes, sombreros, etc. La importancia de esta también se debe a su facilidad en programación ya que esta se lleva a cabo en el software que lleva su nombre, Arduino. La placa está basada en el ATmega328 a 8MHz. Funciona desde 2V hasta 5V.

Al ser una opción multidisciplinaria, existe gran variedad de *Lilypads* que pueden ser utilizadas para realizar distintas tareas, desde controlar luces leds colocadas en un vestido, hasta mandar señales de ubicación y detección de movimiento de una persona. En la imagen 13, se puede visualizar la comparación entre algunas *Lilypads* que se usan en la industria textil, mostrando sus principales características.



We've put together a quick feature comparison chart below. For more detailed technical specs, check out our [Arduino Comparison Guide for LilyPad](#).

Board	Microcontroller	Digital I/O Pins	Analog Input Pins	Programming Interface	Battery Attachment
LilyPad Arduino Simple	ATMega328	9	4	FTDI	JST Connector
LilyPad Arduino USB	ATmega32U4	9	4	USB	JST Connector
LilyPad Arduino SimpleSnap	ATMega328	9	4	FTDI	Built in LiPo
LilyPad Arduino 328 Main Board	ATMega328	14	6	FTDI	Sew Tabs

Imagen 15 Comparativa de microcontroladores utilizados en los dispositivos wearable. [26]

Después de haber realizado dicha investigación se optó por elegir la **LilyPad Arduino USB**, pues sus características en cuanto a número de pines, interfaz de programación y conexión de batería fueron los parámetros considerados para su elección. Para el dispositivo *wearable* se requirieron 4 pines digitales (2 pines para el módulo *Bluetooth* y 2 pines para el sensor IMU) más 2 pines de alimentación (+/-) sumando un total de 6 pines utilizados, por ende, la tarjeta que cumple con tales cantidades es la LilyPad Arduino USB, al contar con 10 pines físicamente disponibles. El software de programación es el mismo para todas, sin embargo, la manera en que se carga el programa a la tarjeta y su forma de alimentarla de energía es diferente, pues como su nombre lo indica, esta se conecta mediante un puerto USB tipo C, mientras que el resto se conecta mediante un puerto adaptador FTDI.

La LilyPad Arduino cuenta con una entrada tipo JST, la cual es un conector eléctrico que sirve para alimentar la tarjeta de desarrollo con una batería. La batería que se recomienda utilizar es una batería Lipo (polímero de litio), que es una batería recargable y que comúnmente se utiliza en dispositivos móviles. Esta batería recargable cuenta con una variedad de modelos, dependiendo de su voltaje y amperaje, siendo proporcional al tamaño de cada una, es decir, entre mayor son sus valores, mayor es su tamaño. Para este proyecto se utilizó una batería Lipo de 3.7 Volts y 400 mAh, ya que sus proporciones resultaron ser las adecuadas para ser incluida en el dispositivo wearable, se había probado anteriormente otra del mismo voltaje, pero menor amperaje (40 mAh). Sin embargo, su duración no cumplía con el requerimiento de descargarse lentamente, ya que el dispositivo sólo podía estar encendido por un par de horas, mientras que la batería con 400 mAh dura aproximadamente 8 horas, satisfaciendo el requerimiento antes mencionado.



Imagen 16 Bateria Lipo de 3.7 v, 400 mAh.

Al ser una tarjeta de desarrollo poco común dentro de su uso en proyectos, se desconocía la forma de programación y ejecución de este, por lo que tomó aproximadamente un mes dominar e interpretar la forma en que se generan y procesan los datos, se utilizaron los conocimientos de técnicas de programación, diseño mecatrónico y circuitos eléctricos vistos durante la carrera.

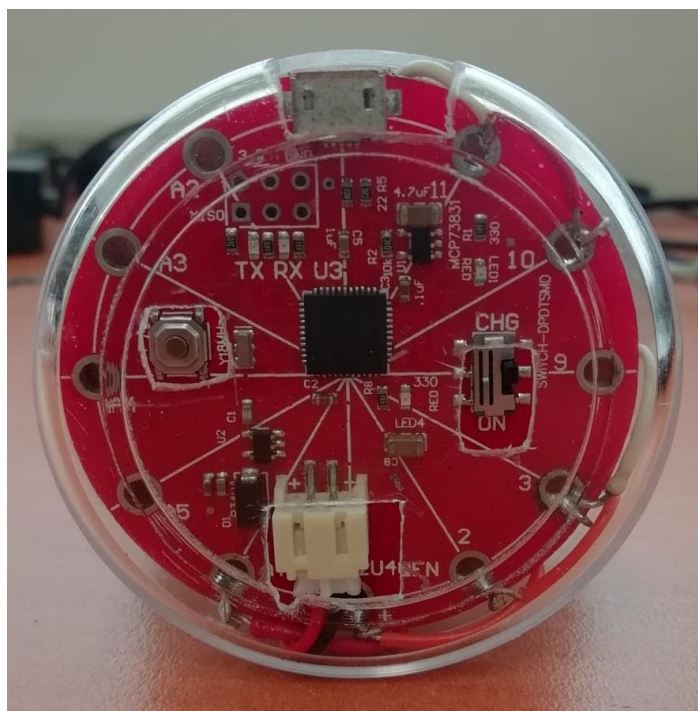


Imagen 17 LilyPad Arduino USB

4.4 Manufactura y ensamblado del dispositivo

Una vez que se eligieron los sensores, módulos, y el microcontrolador a utilizar, se procedió a montar todo en conjunto, de tal forma que el dispositivo quedara lo más compacto posible para así poder tener una mejor colocación sobre cualquier tipo de muñeca y que así este no fuera invasivo para la persona.

Se utilizó una placa PCB (del inglés: *Printed Circuit Board*, o placa de circuito impreso) en donde irían todos los componentes seleccionados, esta placa se diseñó en un software de simulación de circuitos, en donde se definió el espacio que ocuparía cada componente del dispositivo. Se priorizó el tamaño final de ésta, ya que se buscó, cumpliera con el requerimiento de ser un dispositivo no invasivo aunando que fuera cómodo para el usuario.

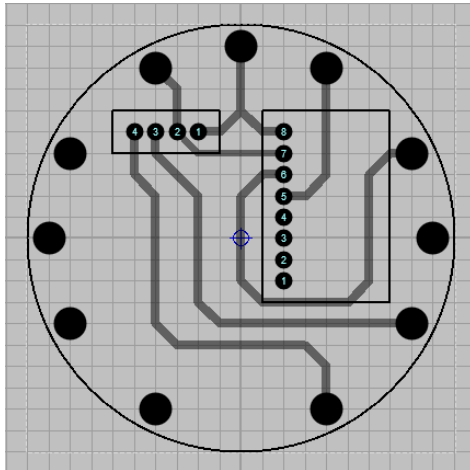


Imagen 18 Diseño en software de la placa PCB

El tamaño se definió con base en la Lilypad Arduino USB, pues éste al ser un circuito ya fabricado y con características dimensionales específicas, se decidió que la placa PCB debía ser impresa con esta dimensión y geometría. Al poseer una forma circular, permite que su posición en la muñeca sea cómoda y alusivo a un reloj convencional, tomando como punto de referencia algunos de los dispositivos *wearable* comerciales.

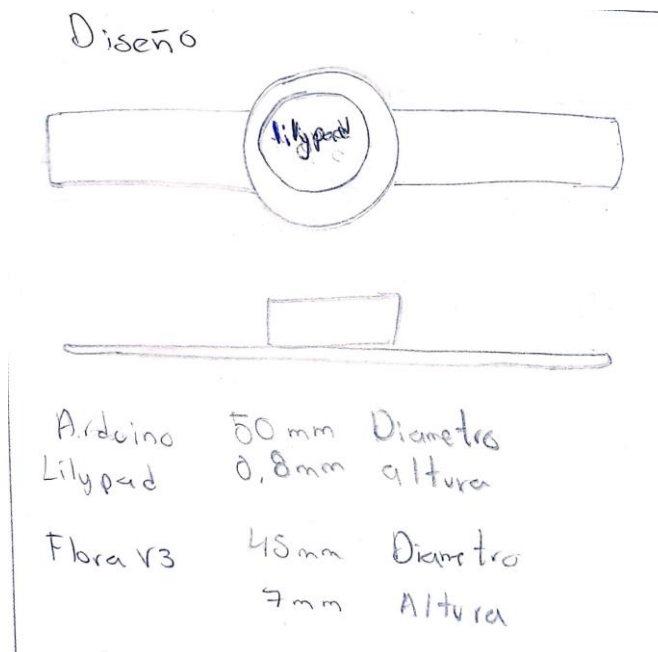


Imagen 19 Primer Boceto del modelo junto con la comparación de dimensiones

Antes de llevar a cabo el ensamblado de todos los componentes, se realizaron pruebas de funcionamiento y configuración para cada uno de ellos. Estas pruebas consistieron en hacer funcionar cada componente de manera individual mediante una tarjeta de desarrollo Arduino UNO, se consultaron guías de conexión y funcionamiento, tales como hojas de datos (*datasheets*), descripciones gráficas (imágenes de la forma de conexión), así como comandos de ejecución que el programa necesitaba para mandar las instrucciones que cada componente debía realizar y enviar desde la tarjeta de desarrollo al receptor de información, en este caso la PC. Cada prueba obtuvo como resultado el correcto funcionamiento de encendido/apagado, transmisión de datos y conexión por cable como vía Bluetooth, para la tarjeta de desarrollo, sensor IMU y módulo *Bluetooth*, respectivamente.

El orden de ensamblado y conexiones se realizó de la siguiente manera: primero se mandó a imprimir la placa, pues ahí se montarían el sensor IMU y módulo Bluetooth. Después se ensamblaron ambos componentes a la placa fijándolos previamente con *'headers'*, esto para evitar un daño o corto circuito en la placa y su superficie conductora. Las conexiones que correspondían a los pines del microcontrolador se unieron con cables al resto de pines de la placa PCB ya que, si se intentaba usar *headers* como en la placa, podría ocasionar un corto circuito mayor y quemar por completo el microcontrolador. Luego de tener ambas partes juntas se procedió a adaptar el contenedor que protege al circuito, este contenedor tipo 'frasco' era originalmente cerrado, por lo que se realizaron varias perforaciones las cuales permiten tener una manipulación manual del microcontrolador en caso de ser necesario un reinicio, encendido/apagado y para alimentarlo de energía. Al final se conectó la batería que alimenta al microcontrolador para colocar todo el circuito dentro y que este quedara encapsulado, se selló con pegamento y se le añadió una correa tipo pulsera como se muestra en la imagen 18, la pulsera se cosió con velcro, de tal forma que puede adaptarse a cualquier tipo de muñeca ajustándose sin causar incomodidad.



Imagen 20 Vista aérea y frontal del modelo terminado

4.4.1 Implementación del *wearable* en el cuerpo

El dispositivo hace alusión a los ya conocidos *smartwatches*, es decir, se trata de un dispositivo muy similar a los relojes convencionales que va colocado en la muñeca del usuario. Se eligió ser colocado a raíz de una investigación de mercado que se realizó (capítulo 4), en donde se encontró que la mayoría de la gente se siente más cómoda usando prendas alrededor de las extremidades superiores que en otras partes del cuerpo, como son: piernas, cabeza o cuello.

La Lilypad Arduino de la forma que está colocada tiene una orientación respecto a los ejes 'X, Y, Z' y giro angular en 'Y' del sensor IMU, por su configuración el modelo *wearable* debe ir colocado en la extremidad superior izquierda del usuario con el centro de carga (entrada micro USB tipo C) de la tarjeta de desarrollo en dirección a los dedos, no existen ningún problema si el modelo es colocado en la extremidad o dirección contraria, lo único que cambiaría al momento de obtener los datos generados sería precisamente los valores en los 3 ejes y Giro en Y invertidos. Sin embargo, para fines de entrenamiento del proyecto, el dispositivo *wearable* debe ir colocado como se describió al inicio.

El modelo *wearable* sólo requiere de accionar el botón de encendido que se encuentra en la parte superior contraria a la correa, luego basta con conectarse mediante la PC previamente vinculada, para asegurar que el dispositivo ha quedado conectado, se debe observar que el led parpadeante del módulo Bluetooth ha dejado de parpadear por completo.



Imagen 21 Demostración del HIIT Wearable en funcionamiento

4.4.2 Metodología de uso del dispositivo

La metodología que se siguió consiste en: antes de colocarse el dispositivo, se debe asegurar que este no haya quedado encendido, en caso de haber sido así, se tendrá que conectar a un tomacorriente para cargar la batería nuevamente; el dispositivo deberá estar encendido antes de ponerse en la muñeca, el dispositivo emite dos luces: una de la LilyPad Arduino y otra del módulo Bluetooth, esta permanece titilante indicando que no ha sido aún vinculado. Una vez hecho esto

se deberá conectar vía Bluetooth con la PC, se debe observar que el led del módulo *Bluetooth* ya no parpadea constantemente indicando que el emparejamiento ha resultado exitoso; terminado el proceso de vinculación, el dispositivo estará ya mandando datos y todo quedará registrado en un archivo de extensión '.log'.

El modelo cuenta con una correa elástica por lo que no tiene problema alguno para ser puesto a cualquier persona y que quede ajustado evitando posibles incomodidades o incluso problemas de sujeción.

4.5 Modelo Funcional

El modelo obtenido surge de la investigación referente a la tecnología *wearable* en los últimos años. Los dispositivos *wearables* que se encuentran en el mercado están enfocados en registrar cuántos pasos ha caminado una persona, las calorías que ha consumido su cuerpo durante el día o cuántos kilómetros ha recorrido en un determinado tiempo.

El dispositivo *wearable* que se desarrolló en este proyecto tiene una tarea específica, como ya se mencionó anteriormente: el registrar los diferentes movimientos que realice el sujeto de pruebas respecto a las actividades físicas que se ejecutan en una rutina HIIT cotidiana.

Una vez que se obtuvo el modelo, mostrado en la Imagen 22, se le realizaron tres pruebas para corroborar el correcto funcionamiento de todo el dispositivo: calibración, tiempo de retraso y comunicación inalámbrica.



Imagen 22 Modelo funcional HIIT Wearable

Estas pruebas se hicieron de manera individual, es decir, se programó el microcontrolador para cada una de ellas. La calibración se realizó para observar la posición del *wearable* en un punto de inicio y los distintos movimientos en cada eje por separado y en conjunto. El tiempo de espera o retraso se realizó para detectar cuanto tardaba en responder el microcontrolador y ejecutar todo el programa compilado para enviar cada dato en un intervalo de tiempo fijo. Mientras que la prueba de comunicación inalámbrica sirvió para comprobar la correcta vinculación entre el módulo del microcontrolador y el módulo *Bluetooth* de la PC, facilitando el emparejamiento de ambos dispositivos cada que se utilizara el modelo *HIIT Wearable*.

4.5.1 Calibración

Las pruebas de calibración se realizaron de la siguiente manera: al tener seis variables y habiendo dicho que para las tareas a realizar solamente se ocuparía de cuatro. Se hizo una calibración por cada una, es decir, los tres ejes y el giro en 'Y' se realizaron por separado.

Primero, para los tres ejes se hizo el siguiente proceso: se configuró el programa de Arduino en donde manda las señales de cada variable, y para cada caso sólo se mandó a llamar una variable a la vez. Cada variable fue probada diferentes veces y lo que se intentó obtener fue que los datos dieran la proximidad del movimiento que se realizaba en cada una. El acelerómetro trabaja en unidades gravitatorias (G), por lo que los datos obtenidos tuvieron que ser transformados a aceleraciones por minuto hasta llegar a centímetros, y con estos valores en dicha dimensión se comprobó que el modelo emitiera bien los datos.

Para el caso del giro en Y fue algo similar, solo que en esta ocasión los datos obtenidos estaban en velocidades angulares ($^{\circ}$), para lo que fue necesario realizar una transformación de unidades a ángulos. También se hizo de manera individual y de igual forma se comprobó que el giroscopio registraba valores correctos.



Imagen 23 Prueba de calibración, Giro en eje Y.

4.5.2 Tiempo de Retraso

El tiempo de retraso es el tiempo que se tarde en enviar un dato de un dispositivo a otro antes de generar y mandar el siguiente. En un principio, se deseaba obtener el mayor número de datos posibles en un segundo, es decir, no existía un tiempo de retraso definido para el programa, sin embargo, esto generó una cantidad significativo de valores erróneos o 'basura' que no serían útiles para el programa de entrenamiento, pues las actividades que se iban a detectar no pasaban de los 5 segundos de forma individual, por ello se decidió agregarle un tiempo de retraso de 100 ms, esto significa que el programa tardaría 100 milisegundos en enviar un dato a otro, lo que resultaría que el programa estaría emitiendo 10 datos por segundo, los cuales son suficientes para obtener un comportamiento visible en el cambio y orientación de los datos.

```
BT1.print(AcX); BT1.print(",");  
BT1.print(AcY);BT1.print(",");  
BT1.print(AcZ);BT1.print(",");  
BT1.println(GyY);  
delay(100);  
  
/* Serial.print(", El Tiempo es de:");  
Time=millis();  
diferencia=Time-TimeAnt;  
Serial.println(diferencia);  
TimeAnt=Time;*/
```

Imagen 24 Parte del código en donde se muestra el tiempo de retraso generado.

4.5.3 Comunicación Inalámbrica

Para la comunicación inalámbrica se configuró el módulo HC-05 Bluetooth de acuerdo con las necesidades que se buscaban en el proyecto, establecer una conexión inalámbrica con otro dispositivo inalámbricamente. Este módulo como ya se describió en el capítulo 4.2.2 es un componente tipo esclavo, es decir, sólo recibe órdenes e instrucciones dadas por la tarjeta de desarrollo LilyPad, por lo que se necesitó configurar y vincular con el ordenador al cual se debía conectar.

Se hicieron pruebas de funcionamiento, pero estas sólo fueron de transmisión de datos, lo relevante radicó en la configuración del nombre y detectabilidad ante otros módulos Bluetooth. El módulo posee una configuración predeterminada desde fábrica, tiene un nombre genérico con el cual se identifica, 'HC-05' en este caso, y una contraseña de vinculación también genérica (0000). Estas dos características fueron las primeras en ser configuradas: el nombre con el que el modelo wearable es detectado por otros dispositivos es "HIIT Wearable" y la contraseña con la que puede realizarse una nueva vinculación es "1234".

Una vez configurado el módulo, se procedió a realizar la conexión a la placa PCB y las primeras pruebas de comunicación se hicieron con el modelo *wearable* conectado a la PC, enviando los datos que generaba el sensor IMU y visualizando el comportamiento mediante el puerto serial del software de Arduino.

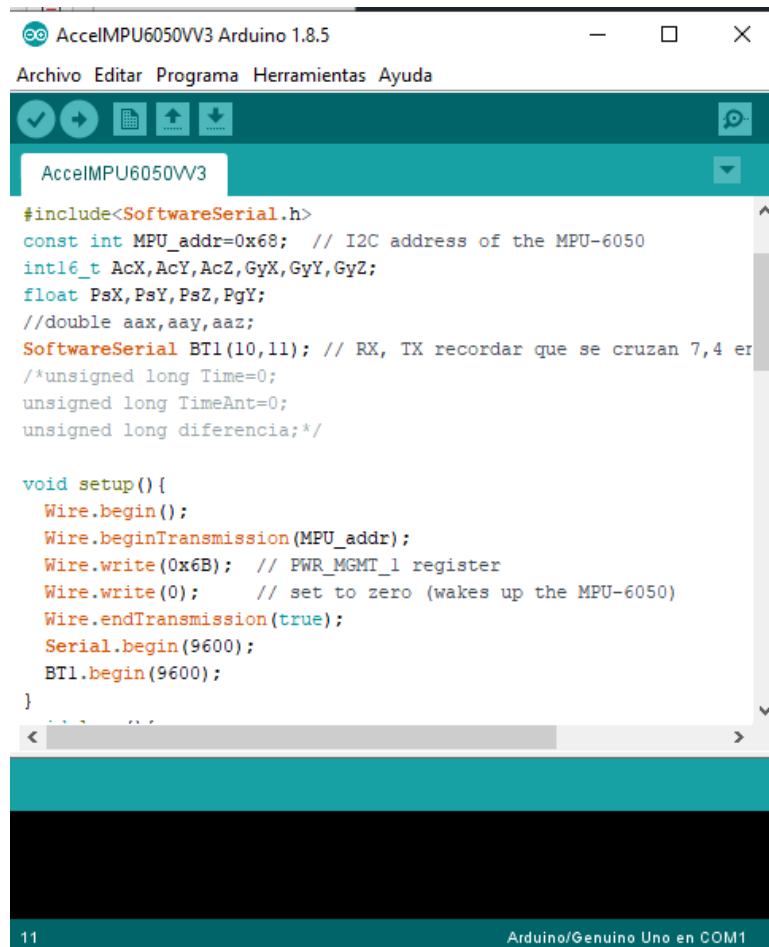
5. Programación del dispositivo *wearable*

Arduino es una plataforma informática física de código abierto basada en una placa de microcontrolador 'ATmega' y un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de procesamiento. Originalmente estaba destinado a artistas y diseñadores para crear prototipos electrónicos. Aunque la creación de prototipos electrónicos tradicionalmente solo se asociaba con la ingeniería y los ingenieros. [26]

Arduino se puede utilizar para desarrollar objetos interactivos, incorporando entradas para controlar las salidas. Los proyectos realizados con Arduino pueden ser independientes o pueden comunicarse con el software que se ejecuta en una computadora. Se pueden encontrar muchos proyectos interesantes que se centran en Arduino. [26]

Hoy en día, el mundo en el que vivimos depende en gran medida de la tecnología. Esto significa que existe la necesidad de una fuerza laboral más calificada técnicamente para construir y mantener la tecnología requerida. Muchas nuevas tecnologías son interactivas, por lo tanto, facilita la creación de entornos en los que se puede aprender desarrollando, recibiendo comentarios y refinando la comprensión y construyendo nuevos conocimientos.

El Lilypad Arduino es una versión portátil del Arduino que ayuda a construir '*e-textile*' o textiles electrónicos. Fue desarrollado y diseñado por Leah Buechley y *SparkFun Electronics*. El diseño de *e-textile* implica el uso de varios módulos que se cosen en la tela con hilo conductor para darle las conexiones eléctricas necesarias. [26]

The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The window title is "AccelMPU6050VV3 Arduino 1.8.5". The menu bar includes "Archivo", "Editar", "Programa", "Herramientas", and "Ayuda". The toolbar contains icons for saving, running, and other functions. The main editor area shows the following code:

```
#include<SoftwareSerial.h>
const int MPU_addr=0x68; // I2C address of the MPU-6050
int16_t AcX,AcY,AcZ,GyX,GyY,GyZ;
float PsX,PsY,PsZ,PgY;
//double aax,aay,aaz;
SoftwareSerial BT1(10,11); // RX, TX recordar que se cruzan 7,4 er
/*unsigned long Time=0;
unsigned long TimeAnt=0;
unsigned long diferencia;*/

void setup(){
  Wire.begin();
  Wire.beginTransmission(MPU_addr);
  Wire.write(0x6B); // PWR_MGMT_1 register
  Wire.write(0); // set to zero (wakes up the MPU-6050)
  Wire.endTransmission(true);
  Serial.begin(9600);
  BT1.begin(9600);
}
```

The status bar at the bottom indicates "11" and "Arduino/Genuino Uno en COM1".

Imagen 25 Software Arduino con parte del código utilizado para el modelo wearable.

En el software de Arduino, se utilizaron dos bibliotecas: Wire y SoftwareSerial.

La primera se encarga de entablar la comunicación tipo I²C (del inglés *Inter-Integrated Circuit*) con la que se rige el sensor IMU MPU-6050, el I²C es un bus de comunicaciones muy utilizado en la industria y sirve para transmitir datos entre microcontroladores y periféricos (dispositivos que se comunican directamente con el microcontrolador, en este caso, la IMU y el módulo *Bluetooth*). La principal característica de I²C es que utiliza dos líneas para transmitir la información: una para los datos y otra para la señal de reloj.

La segunda es una librería que realiza una comunicación en serie, es decir, que envía todos los datos de forma continua y repetitiva. Esta librería es importante ya que contiene todos los comandos que utilizan sensor y módulo para ejecutar las instrucciones específicas para la tarea asignada.

En este programa se realizó la configuración de datos a analizar, ordenando al módulo y sensor qué instrucciones debían ejecutar para obtener las variables que se utilizarían posteriormente en la base de datos. A continuación, se muestra un diagrama de flujo explicando el procedimiento de ejecución.

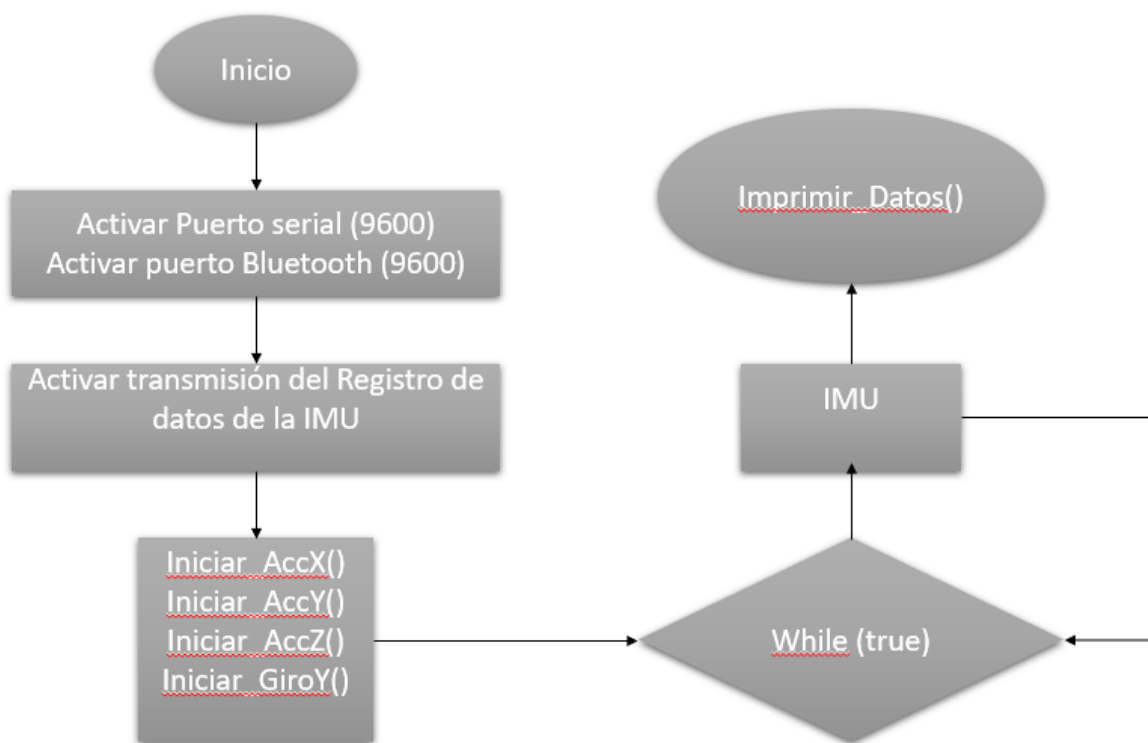


Imagen 26 Diagrama de flujo del procesamiento de datos.

5.1 Software utilizado para la creación de la base de datos

El Aprendizaje Supervisado, como en la literatura se menciona, necesita de una base de datos con la cual ser entrenado, ya que como su nombre lo dice, deber tener datos previamente analizados a partir de los cuales pueda hacer comparaciones y tomar decisiones con respecto a los nuevos datos que se registran a futuro.

Existe una gran variedad de softwares para administrar bases de datos, incluso existen plataformas que proporcionan bases de datos reales para entrenar el algoritmo que se estén desarrollando y se puedan probar para corroborar la certeza del programa, aunando la oportunidad de optimizar y mejorar su porcentaje de precisión comparados con la literatura existente.



Imagen 27 Ejemplo de programas para la administración de bases de datos.

Se sabe que la paquetería de Microsoft lidera el mercado de programas mayormente utilizados para la creación de contenido para distintos campos de cualquier industria empresarial. Entre todas las opciones mostradas en la imagen 27, se visualiza que tres de las cinco propuestas pertenecen a esta paquetería, sin embargo, el software que se eligió para la creación de la base de datos fue Excel, pues esta tradicional herramienta de cómputo cuenta con las características

que se ocupan para ingresar la base de datos en la programación del algoritmo de entrenamiento.

La base de datos generada para este proyecto es propiedad total del autor, es decir, se creó desde un principio con ayuda de varias personas que fueron previamente informadas sobre la finalidad del proyecto y que aportaron varias ideas e información para retroalimentar las generalidades sobre la ejecución de pruebas y obtención de sus datos, respectivamente.

5.2 Recepción y manejo del almacenamiento de datos

Como se mencionó en el capítulo anterior, todos los datos generados fueron procesados en Excel, pero antes de haber sido analizados y ejecutados en dicho software, primero fueron registrados y guardados a través de un software denominado '*PuTTY*'.

PuTTY es un cliente SSH y Telnet con el que podemos conectarnos a servidores remotos iniciando una sesión en ellos que nos permite ejecutar comandos. El ejemplo más claro es cuando empleamos *PuTTY* para ejecutar comandos en un servidor VPS y así poder instalar algún programa o configurar alguna parte del servidor. [27]

Esta aplicación es como todas, tiene sus partes buenas y partes malas, pero si es cierto que mayormente tiene grandes ventajas como las siguientes: [28]

- Es gratuito y de código abierto.
- Disponible para varias plataformas (Windows y Linux).
- Es una aplicación portable.
- Interfaz sencilla y manejable.
- Muy completo y ofrece una gran flexibilidad con multitud de opciones.
- Está en constante desarrollo.

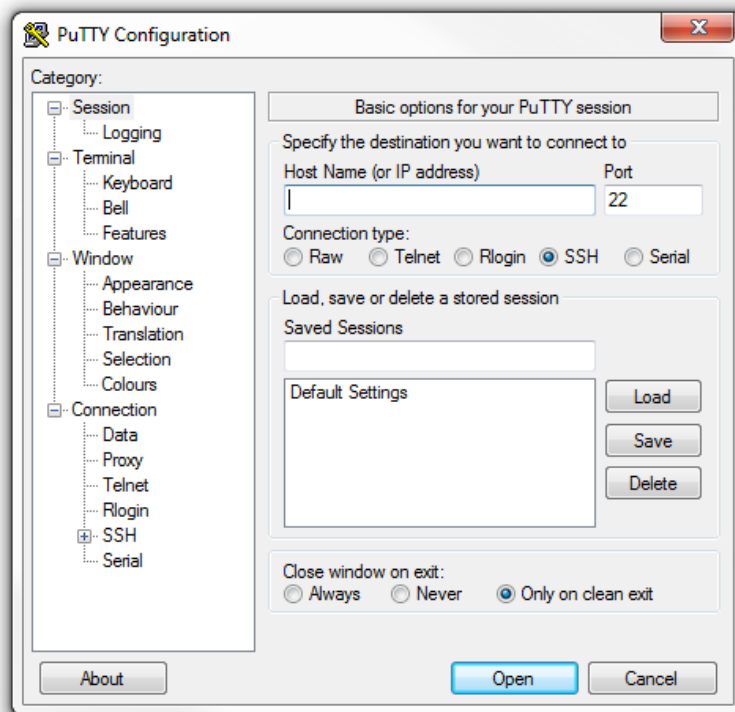


Imagen 28 Vista de Inicio del software PuTTY.

Para poder utilizar correctamente este software se realizaron una serie de pasos previos a su uso:

- Se vinculó el dispositivo *HIIT wearable* con la PC que contiene el programa instalado, esto para hacer más fácil la conexión directa entre dispositivos cada que se realizaba una prueba distinta.
- Se creó una sesión nueva a la Default que aparece cada que se inicia el programa, en esta sesión se guardó bajo el nombre de 'Arduino', haciendo referencia a la conexión del software utilizado para programar el *ponible*. Esta sesión se guarda automáticamente dentro del programa y cada que se inicie está disponible para utilizarse con las configuraciones guardadas.
- Dentro de la sesión 'Arduino' se configuran tres puntos importantes: la línea serial, que es básicamente el puerto de conexión Bluetooth de la PC a la cual se va a conectar el

dispositivo *wearable*; la velocidad del puerto, que está previamente configurada desde el programa hecho en Arduino (9600); por último, el tipo de conexión que en este caso es la serial.

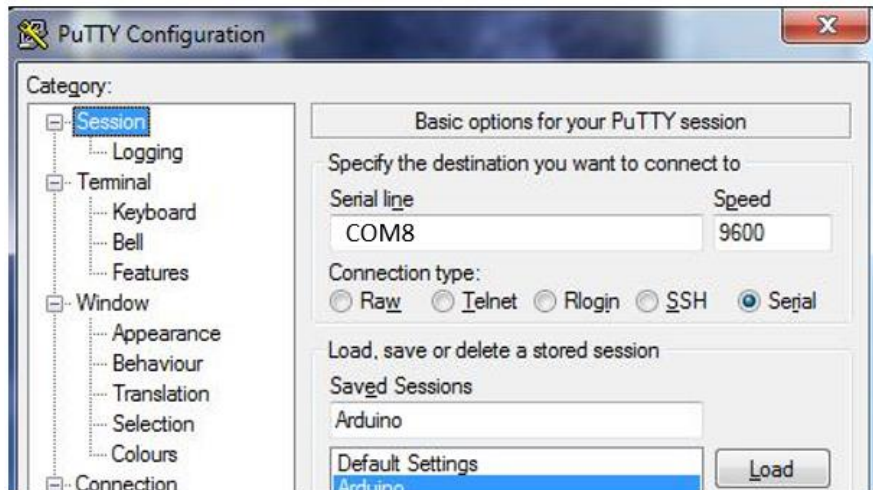


Imagen 29 Inicio de sesión para vincular el modelo HIIT desde la PC.

El software realiza las siguientes funciones: al iniciarlo se encarga de generar un archivo con extensión '.log', se debe modificar el nombre de dicho archivo cada que se genera una nueva entrada, esto para diferenciar las pruebas realizadas entre sí; después se debe cargar la sesión previamente guardada en el software y una vez cargada, se le da inicio al programa. Una vez ejecutado, PuTTY se cierra para vincularse al dispositivo y de esta forma comienza a correr la ejecución.

El software puede mantenerse abierto y recibiendo los datos por un periodo de tiempo prolongado, pero la duración de una prueba en particular no va más allá de los 5 minutos. Una vez que se obtiene la prueba, se debe cerrar manualmente la ventana de ejecución y así se cierra el software completamente y el archivo generado se conserva en la ubicación que se seleccionó al inicio del programa.

Todos los archivos generados se guardaron dentro de la misma carpeta en donde se ordenaron por fecha y hora, aunando el nombre del sujeto de prueba para identificarlos entre sí. Estos archivos al contener una extensión '.log' no podían ser cargados al programa de entrenamiento directamente, ya que la programación, explicada en el capítulo siguiente, utilizada una base de datos con archivos guardados con una extensión '.csv', misma que genera el software de Excel.

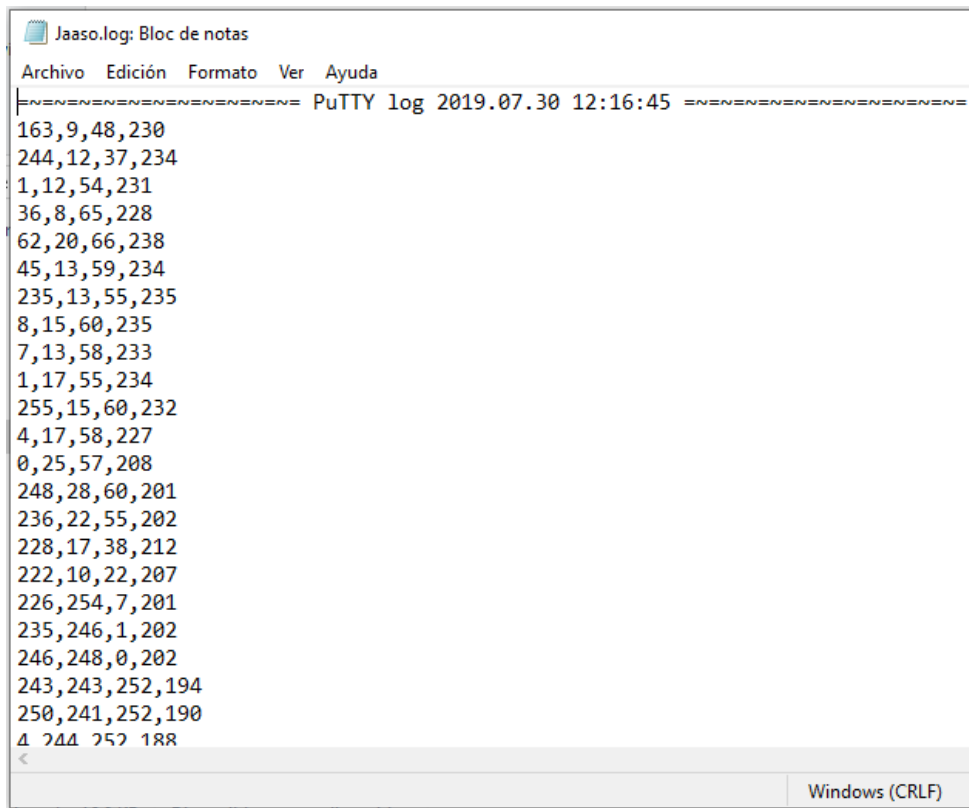


Imagen 30 Archivo generado desde PuTTY, con extensión '.log'

5.3 Base de datos y programación del algoritmo

La base de datos se obtuvo con la generación de varias pruebas individuales hechas por diferentes sujetos de prueba, quienes fueron invitados a formar parte de la investigación y aceptaron de manera voluntaria a participar. Sus datos fueron generados y archivados dentro de una carpeta de preprocesamiento para después configurar el archivo en una extensión '.csv', de esta forma los datos pueden visualizarse en un formato más amigable y también tener la opción de graficar para observar el comportamiento del modelo *wearable*.

El algoritmo que se utilizó, como se describió en el capítulo 2.3.3, es el denominado 'Deep Neural Network'. Este algoritmo, así como el resto que se utilizan dentro del *Machine Learning*, utilizan una base de datos creada a partir de un archivo o conjunto de archivos de que se rigen bajo una misma extensión que se define a partir del tipo de tareas que será evaluada. La mayoría de las aplicaciones que se le han asignado a este tipo de programación son de "clasificación", los clasificadores de imagen son los más comunes y los archivos que usan trabajan bajo la extensión '.png' o '.jpg'.

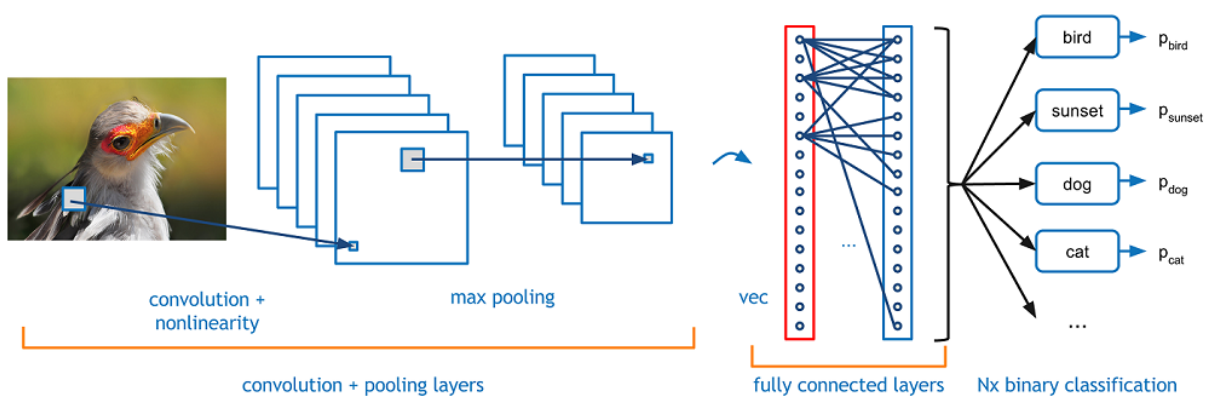


Imagen 31 Ejemplo de un clasificador de imagen para diferencias animales. [29]

En el caso de este proyecto, la tarea asignada también es de tipo clasificatoria, la diferencia radica en la información que se utiliza para entrenar el programa, pues no se hace uso de imágenes referentes a la realización de ejercicios, sino al movimiento que se genera a partir del uso de un dispositivo *wearable*. La extensión de archivo utilizada para el desarrollo del programa es *'csv'*, con él se entrenó el programa de entrenamiento que será descrito en el capítulo siguiente.

The image shows a screenshot of the Microsoft Excel application. The title bar indicates the file is named 'Jaaso.log - Excel'. The ribbon is set to 'Inicio' (Home). The spreadsheet contains data from a CSV file with the following columns: Eje X, Eje Y, Eje Z, and Giro Y. The data is organized into a table with 22 rows and 4 columns.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Eje X	Eje Y	Eje Z	Giro Y					
2	163	9	48	230					
3	244	12	37	234					
4	1	12	54	231					
5	36	8	65	228					
6	62	20	66	238					
7	45	13	59	234					
8	235	13	55	235					
9	8	15	60	235					
10	7	13	58	233					
11	1	17	55	234					
12	255	15	60	232					
13	4	17	58	227					
14	0	25	57	208					
15	248	28	60	201					
16	236	22	55	202					
17	228	17	38	212					
18	222	10	22	207					
19	226	254	7	201					
20	235	246	1	202					
21	246	248	0	202					
22	243	243	252	194					
23	250	241	252	190					

Imagen 32 Ejemplo de archivo procesado con extensión *'csv'*

5.4 Entrenamiento del método de aprendizaje

Este proyecto tiene la mayor importancia en la parte de programación, pues se utiliza un lenguaje muy conocido, pero con un enfoque dentro del campo de la inteligencia artificial. Aunque existe una gran variedad de algoritmos y métodos para programar el Aprendizaje Automatizado, se optó por elegir un lenguaje de programación multidisciplinario y que es sencillo de utilizar, esto para buscar la forma de ejecutar y entender el programa que se describe a continuación.

Al igual que en el capítulo 4.3, se hizo una comparación entre los lenguajes de programación que se usan habitualmente para el entrenamiento del Aprendizaje Supervisado. Esta información fue recabada de una encuesta realizada sobre la tendencia de desarrollo en programación de la industria tecnológica, donde el artículo *“State of the Developer Nation Q1 2017: The latest trends from a survey of 21,200+ developers”* obtiene resultados acerca de los lenguajes utilizados alrededor del mundo por cientos de desarrolladores involucrados en la industria tecnológica, específicamente en el campo de *Machine Learning*.

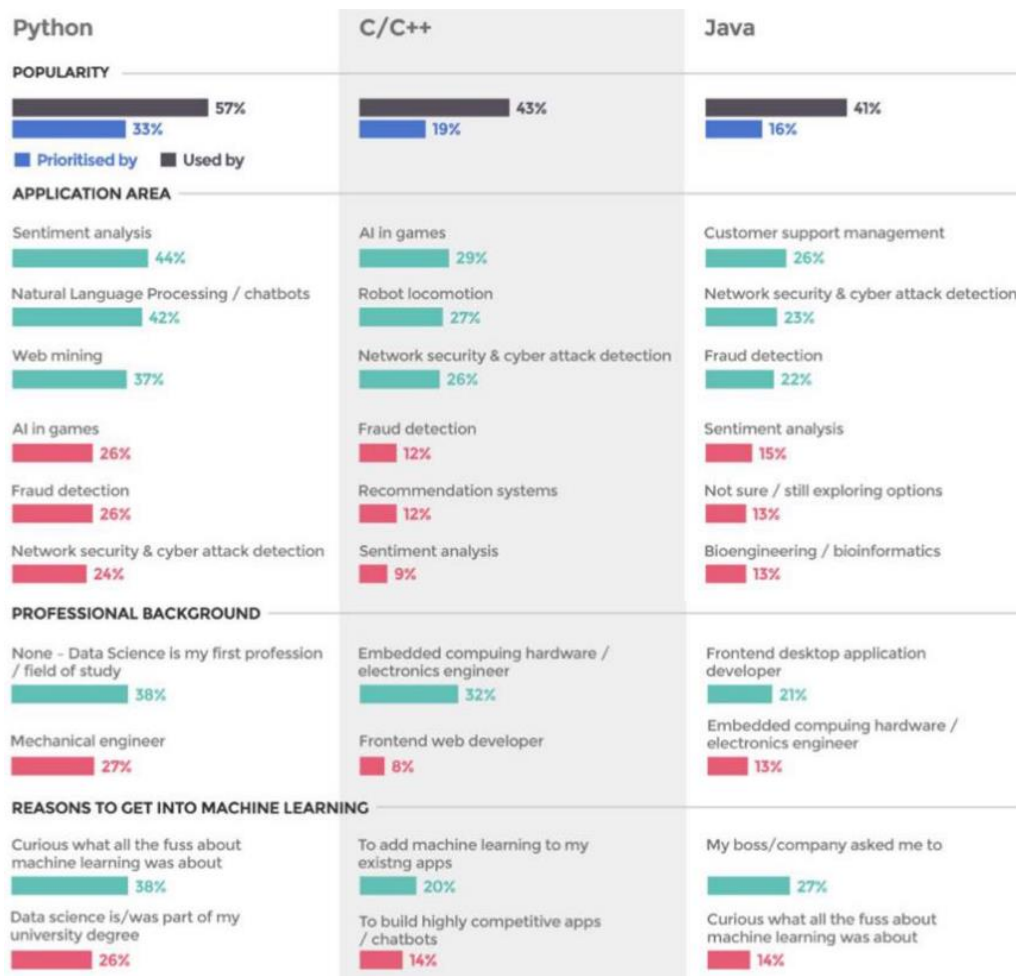


Imagen 33 Comparativa entre los 3 lenguajes más utilizados por desarrolladores a nivel mundial. [30]

Es a partir del análisis de datos mostrados en la Imagen 33, que se decidió utilizar Python como lenguaje para desarrollar el algoritmo de entrenamiento para el modelo *HIIT wearable*. Su popularidad, pero sobre todo su sintaxis fueron las razones por las que se confirmó que era la opción adecuada para entrenar el dispositivo. Dentro del lenguaje de Python, existe una gran variedad de bibliotecas con una lista de comandos que facilitan la programación y procesamiento de diferentes bases de datos.

TensorFlow es una biblioteca muy útil y utilizada hoy en día en cuanto a *Machine Learning* se trata, cuenta con varias bibliotecas que facilitan el manejo de datos y manipulación de múltiples bases de datos sin importar sus dimensiones o características, basta con utilizar archivos con las

extensiones antes mencionadas. La biblioteca que se usa para el entrenamiento del programa se llama 'tflearn', esta biblioteca se caracteriza por trabajar con bases de datos y vectores generados para su entrenamiento, así como comandos que procesan datos según sea conveniente.

```
import pandas as pd
import numpy as np
import tensorflow as tf
import tflearn
import tflearn.datasets.mnist as mnist
```

Imagen 34 Bibliotecas utilizadas en el desarrollo del programa de entrenamiento.

Para explicar de manera detallada el proceso de entrenamiento del *wearable*, se realizó un diagrama de flujo (mostrado a continuación), en donde se explica los pasos que ejecuta el programa y la forma en que éste va entrenándose hasta generar un porcentaje de acierto favorable que se puede regular según el número de iteraciones que se decida tener.

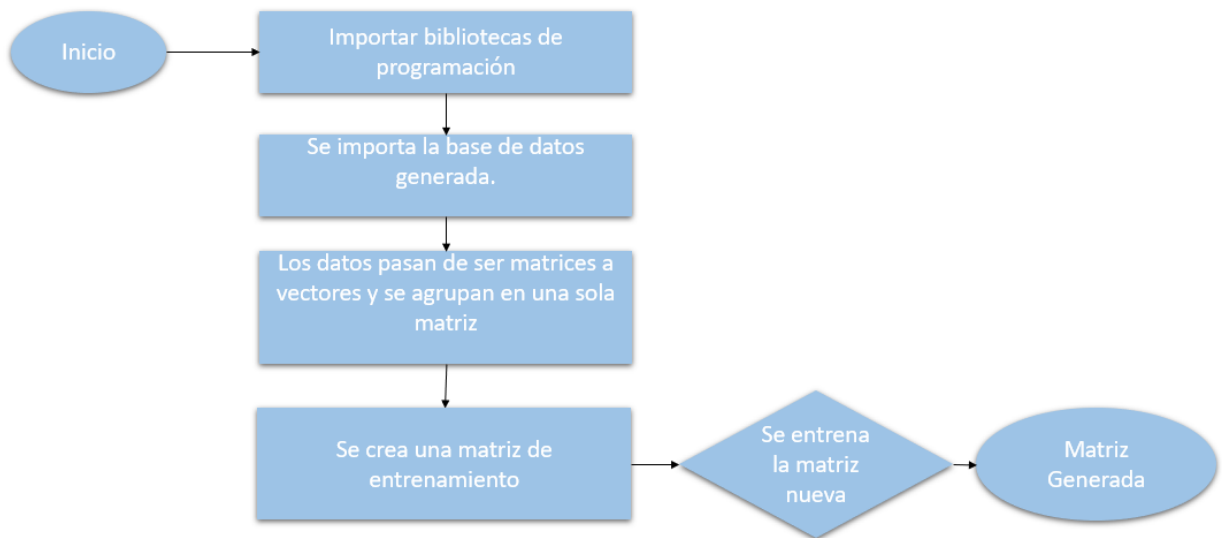


Imagen 35 Diagrama de flujo del proceso de entrenamiento.

El programa comienza con la importación de todas las bibliotecas que se utilizarán para llamar a la base de datos, administrarla y manipularla para generar una sola matriz de entrenamiento. Luego de esto, se toman todos los datos de cada prueba, y al ser matrices generadas se transforman en vectores, esto para volver cada actividad unitaria y así poder crear una similitud en cuanto a dimensión de valores y ejecución. Ya que se obtiene nuestra matriz de entrenamiento, se crea una matriz del mismo tamaño, pero totalmente vacía, esto para que a continuación se comenzara a pasar la información de una matriz a otra, indicando el tipo de actividad correspondiente. Después se especifica el número de variables que se tienen, así como el número de entradas a utilizar. Teniendo toda la matriz completa, se indica el tipo de entrenamiento que se desea generar. Al ejecutarse, el programa puede demorarse cierto tiempo, este depende de la cantidad de iteraciones que se deseen tener, es posible cambiar este valor hasta encontrar el considerado óptimo.

```
tf.reset_default_graph()
net1 = tflearn.input_data([None, inputs],name='net1')
net2 = tflearn.fully_connected(net1, layer1, activation='ReLU',name='net2')
net3 = tflearn.fully_connected(net2, layer2, activation='ReLU',name='net3')
net4 = tflearn.fully_connected(net3, layer3, activation='ReLU',name='net4')
net5 = tflearn.fully_connected(net4, layer4, activation='ReLU',name='net5')
net6 = tflearn.fully_connected(net4, clases, activation='softmax',name='net6')
net7 = tflearn.regression(net6, optimizer='adam', learning_rate=0.0001, loss='categorical_crossentropy',name='net7') #Antes optimiz
model = tflearn.DNN(net7)

model.fit(TrainX, TrainY, validation_set=0.3, show_metric=True, batch_size=600, n_epoch=90)

--
Training Step: 85 | total loss: 0.95004 | time: 1.040s
| Adam | epoch: 085 | loss: 0.95004 - acc: 0.7491 | val_loss: 0.41483 - val_acc: 0.7500 -- iter: 28/28
--
Training Step: 86 | total loss: 0.85684 | time: 1.034s
| Adam | epoch: 086 | loss: 0.85684 - acc: 0.7634 | val_loss: 0.45086 - val_acc: 0.7500 -- iter: 28/28
--
Training Step: 87 | total loss: 0.77343 | time: 1.034s
| Adam | epoch: 087 | loss: 0.77343 - acc: 0.7764 | val_loss: 0.49847 - val_acc: 0.7500 -- iter: 28/28
--
Training Step: 88 | total loss: 1.00701 | time: 1.026s
| Adam | epoch: 088 | loss: 1.00701 - acc: 0.7380 | val_loss: 0.52732 - val_acc: 0.6667 -- iter: 28/28
--
Training Step: 89 | total loss: 0.90991 | time: 1.032s
| Adam | epoch: 089 | loss: 0.90991 - acc: 0.7535 | val_loss: 0.53049 - val_acc: 0.6667 -- iter: 28/28
--
Training Step: 90 | total loss: 0.82307 | time: 1.038s
| Adam | epoch: 090 | loss: 0.82307 - acc: 0.7674 | val_loss: 0.51345 - val_acc: 0.6667 -- iter: 28/28
```

Imagen 36 Parte del programa en ejecución.

6. Pruebas

Las pruebas son muestras de datos respecto a una acción en particular, cuyo fin es comprobar o corroborar que lo antes estudiado es verídico y, por ende, puede demostrarse su validez.

El proyecto del modelo *HIIT Wearable* se conformó por una serie de distintas pruebas, cada una fue para optimizar el dispositivo de tal forma que su registro de datos fuera aceptable para la creación de la base de datos. Las pruebas que se utilizaron para la base de datos fueron generadas con personas con distintas características, desde aquellas que están acostumbradas a realizar diferentes tipos de actividades hasta personas que no realizan ningún ejercicio para mantenerse activas. También hubo otros factores que influyeron en la creación de la base de datos, el tiempo fue el más importante, pues cada persona realiza una misma actividad a distintos lapsos de tiempo, así como en diferente intensidad o constancia.

Para realizar el registro de pruebas que se almacenaron y formaron parte de la base de datos, el autor colocó el dispositivo a cada uno de los sujetos de prueba que voluntariamente asistieron a realizar las actividades que se mencionarán en el capítulo 6.1.1, esto para no tener problema con los datos generados y evitar hacer repetición de la prueba y a su vez que éste retrase el tiempo de todo el proceso.

6.1 Generación de datos con diferentes sujetos de prueba

Para llevar a cabo las pruebas, se ocuparon dos elementos muy importantes: un protocolo el cual se siguió para realizar una a una, y la evidencia, que fue utilizada para comparar y comprobar la ejecución por actividad realizada.



Imagen 37 Diagrama de caja negra del modelo wearable.

El *HIIT Wearable* ocupa de dos elementos de entrada para su funcionamiento, por un lado, necesita estar alimentado por una batería que puede cargarse cada que sea necesario, y por otro la detección de movimientos que genere el sensor IMU cuando está colocado en la muñeca del sujeto de pruebas. Ambas entradas hacen que el modelo *wearable*, capture los datos registrados y a través del módulo de Bluetooth sean enviados al módulo que se ubica en la PC y mediante el programa *PuTTY* se visualicen en la pantalla a un intervalo de tiempo de 1000 ms.

Las actividades generadas fueron tomadas de las diferentes rutinas HIIT que existen en la actualidad, éstas al ser variadas generaban muchos datos que no podían ser completamente registrados por el *wearable* y que podrían llevar un largo procesamiento para ser utilizadas en el programa de entrenamiento.

Dicho lo anterior, para elegir las actividades que iban a ser clasificadas, se tomaron en consideración dos criterios importantes para su elección: la primera es que debían ser actividades que se realizarán por repeticiones, es decir, que se requiriera de un número de acciones y no de tiempo; y que entraran dentro de las actividades más populares de las rutinas HIIT.

De esta forma, fue que se llegó a la conclusión de que serían cuatro las actividades a probar: Sentadillas, Desplantes, Burpees y Lagartijas. Cada una de las actividades cumple con ambos

criterios antes mencionados aunando que la comparación y clasificación entre sí era de gran aporte para el proyecto.

A continuación, se describe en qué consiste cada una de las actividades, así como la importancia de su ejecución en las rutinas HIIT.

Sentadillas

Cuádriceps: Es el músculo principal más implicado en las sentadillas. Tener unos buenos cuádriceps es muy importante para cualquier persona, ya que con él logramos estirar las piernas, elevar nuestro cuerpo y levantar y mover nuestra masa corporal, todas ellas funciones que realizamos a diario. [31]

Glúteos y femorales: Sin estos músculos nuestro torso no se podría mantener erguido. Con la realización de sentadillas podemos reforzar este grupo muscular tan importante en cualquier persona que practique deporte. [32]

Abdominales y parte baja de la espalda (Erector espinal): Tener un torso fuerte es la base en todo deportista. Nos ayuda a mantener una buena postura corporal, así evitando problemas lumbares, ganamos en estabilidad y equilibrio, y nos ayuda a mantener la columna estabilizada durante el entrenamiento. [32]

Gemelos: Son los músculos que probablemente estén menos implicados en la realización de sentadillas, pero son requeridos para evitar que nuestras piernas se desplacen hacia adelante durante la realización del ejercicio. [32]



Imagen 38 Ejemplo de una Sentadilla. [33]

Lagartijas

Pecho: Los músculos principales que se trabajan con las flexiones de brazos, son los del pecho. Estos músculos se conocen como los pectorales mayores y menores y ayudan a impulsar el movimiento de tus hombros y brazos. [34]

Hombros: Tus hombros, llamados también deltoides, también se utilizan al realizar las flexiones. Tus hombros ayudan a mover y rotar tus brazos y tienen un rol principal en los lanzamientos y otros movimientos atléticos. [35]

Tríceps: Tus tríceps se localizan en tu brazo superior y ejercitar estos músculos puede ser la llave para brazos más grandes ya que conforman la mayoría de la masa muscular del brazo superior. Estos músculos ayudan a empujar y lanzar por lo que pueden ser importantes para una gran variedad de actividades. Además de realizar las flexiones de brazos, puedes mejorar la fuerza de tus tríceps a través de los fondos (*dips*) y *press* de banca con manos juntas (*close-grip bench press*). [35]

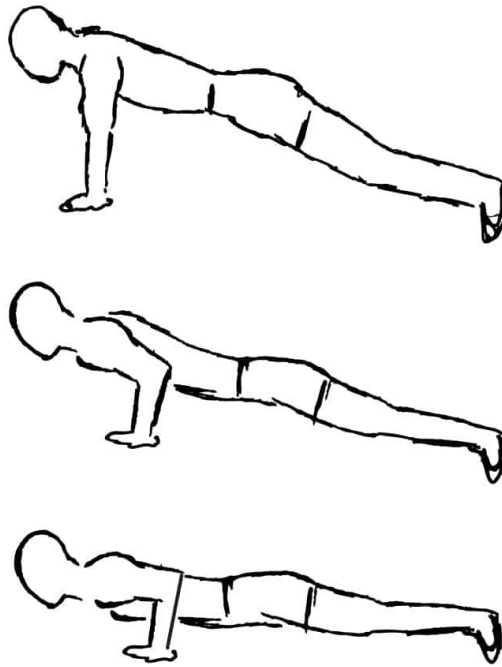


Imagen 39 Ejemplo de una Lagartija. [36]

Desplantes

Los desplantes son ejercicios de resistencia que permiten trabajar los músculos cuádriceps, los glúteos y los músculos que comprenden el bíceps femoral. Es un ejercicio simple, efectivo y complementario de las sentadillas. Son un ejercicio de acondicionamiento que también tiene beneficios cardiovasculares. Los desplantes son una gran opción para incrementar tu nivel de actividad durante el día. No se necesitan aparatos y puedes hacer desplantes en la casa o en el trabajo. [37]

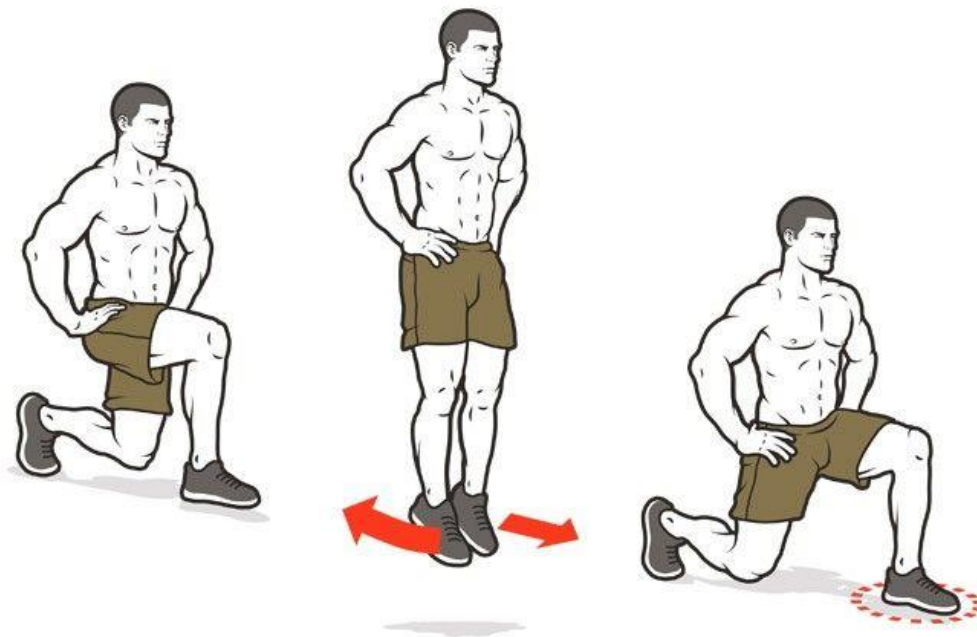


Imagen 40 Ejemplo de un Desplante. [38]

Burpees

Los burpees trabajan todo el cuerpo. Tanto los grupos musculares principales más grandes, como los pectorales, los de la espalda o las extremidades inferiores, como los músculos accesorios más pequeños del torso, los hombros y los brazos se ven muy involucrados. Por lo tanto, se pone atención en múltiples zonas del cuerpo de forma simultánea y directa. [38]

Para hacer burpees el cuerpo tiene que proporcionar muchísima energía a la mayoría del sistema muscular y esto quema cantidad de calorías. Los ejercicios muy intensos, como los burpees, permiten que este efecto dure hasta incluso después de entrenar. La razón por la que esto ocurre es el exceso de consumo de oxígeno post ejercicio (EPOC, por su nombre en inglés). Los burpees aumentan la frecuencia de respiración y estimulan el metabolismo. Cuanto mayor es la diferencia entre la actividad metabólica durante una rutina y en descanso, más le cuesta al cuerpo volver a

su estado normal. Esto quiere decir que el consumo de calorías incrementa incluso varias horas después del entrenamiento y, por lo tanto, esto ayuda a perder grasa de modo sostenible. [39]

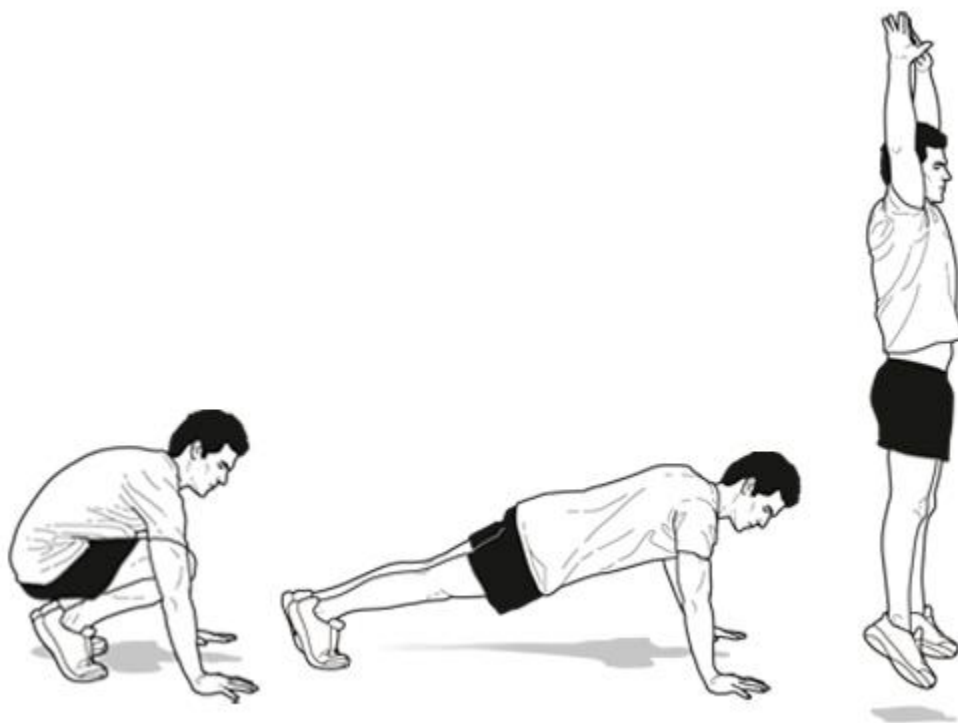


Imagen 41 Ejemplo de un Burpee. [40]

6.1.1 Protocolo de pruebas

El protocolo de pruebas es un documento que describe detalladamente el proceso que debe realizarse para ejecutar o llevar a cabo una acción. Al trabajar con pruebas que se desarrollaron de manera repetitiva el protocolo que se realizó fue el mismo, esto a fin de que los resultados no variaran entre sujetos de prueba y fueran lo más similares posible.

Antes de realizar todo el proceso de registro de datos, se le proporcionaba a cada uno de los usuarios un documento, el cual debían leer antes de iniciar las pruebas, en este documento se explicaban tanto los objetivos de la prueba, así como las instrucciones que debían acatar antes, durante y después de haber realizado las pruebas. El documento que se utilizó como instructivo de apoyo está contenido en el apartado de Anexos, Documento A.

Se creó un protocolo donde se explica a detalle el proceso que se debía seguir cada vez que se efectuaba un nuevo registro de datos, dicho protocolo se puede consultar en el apartado de Anexos, Documento B.

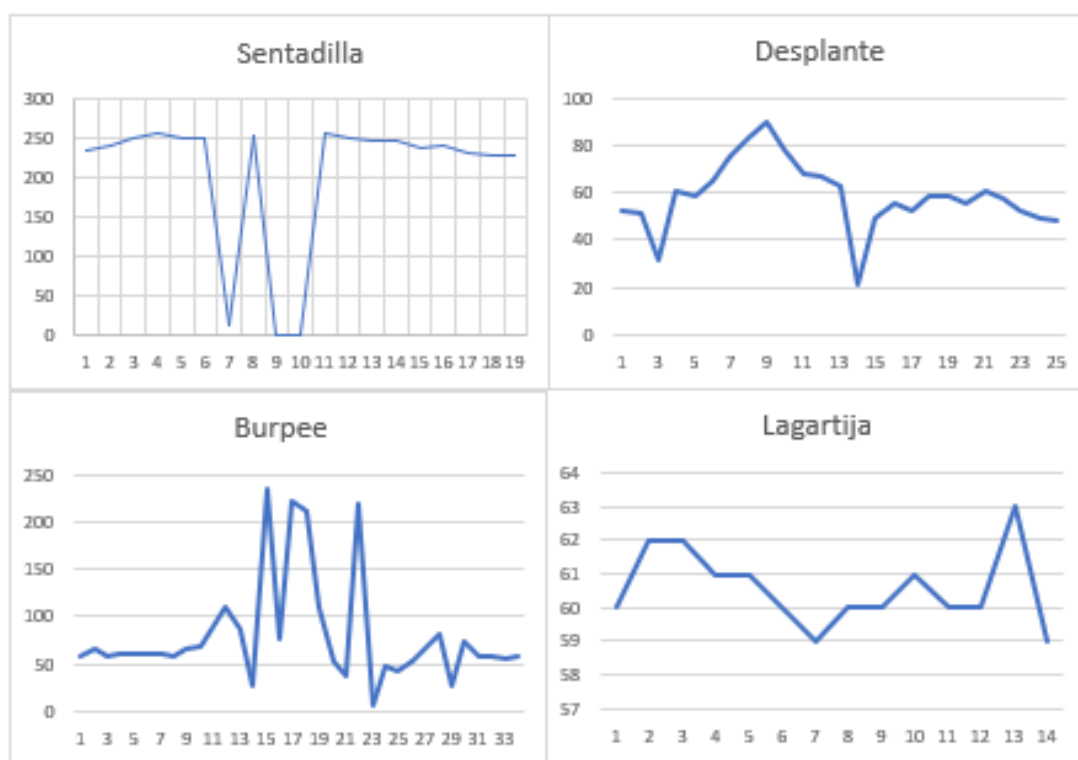
6.1.2 Evidencia

Las evidencias son las pruebas gráficas de un acontecimiento importante que corroboran la verdad o existencia de éste. Para cada prueba se realizó un vídeo en donde se observa al sujeto de prueba realizar cada actividad física descrita anteriormente. Esta evidencia se guardó y utilizó sólo para fines comparativos y corroborativos de la prueba validada y que sirvió de entrenamiento para el programa de aprendizaje supervisado.

De igual forma, todas las pruebas y videos obtenidos en este proyecto fueron autorizados por cada sujeto de pruebas, en dónde se aclara los fines que tendrían y que no serían expuestos a ninguna otra persona que no fuera el autor. El ejemplo del documento que avala la autorización se encuentra en el apartado de Anexos, Documento C.

6.2 Análisis de datos por actividad realizada

Al tener cuatro actividades distintas dentro de la rutina, y para realizar el entrenamiento adecuadamente, se realizó un análisis individual y unitario de cada una de ellas, es decir, se tomaron actividades unitarias para analizar y entrenar el dispositivo *wearable*.



Gráfica 1 Ejemplo de cada actividad unitaria.

De esta forma los datos ingresados en la matriz de entrenamiento eran más parecidos entre las diferentes pruebas y su grado de similitud al ser comparados podría tener mayor certeza. Las cuatro actividades se diferencian por tener un eje que predomina al llevarlas a cabo, esta característica ayudó en parte a que la clasificación no tuviera problemas al momento de ser

entrenada y a su vez, los resultados que se obtenían mostraban errores menores para ser la primera iteración del entrenamiento.

6.3 Validación del algoritmo con pruebas realizadas

La literatura nos recomienda utilizar un 70% del total de pruebas obtenidas para entrenar el dispositivo, pues de esta forma se obtiene un resultado que podría ser de bajo porcentaje, pero tendría la opción de mejorar con ayuda del otro 30% de las pruebas.

La validación del algoritmo se realizó al tener todas las pruebas juntas dentro de la matriz de entrenamiento, el programa se ejecutó y se verificó que el porcentaje de certeza fuera aceptable. En este caso y después de manejar diferentes cantidades de iteraciones, se observó que al iterar 90 veces el algoritmo se obtenían porcentajes arriba del 70%, valor que estaba dentro del considerado dentro de la literatura como válido y que podía aumentar la añadirle el resto de las pruebas generadas.

```
model.fit(TrainX, TrainY, validation_set=0.3, show_metric=True, batch_size=600, n_epoch=90)
--
Training Step: 85 | total loss: 0.95004 | time: 1.040s
| Adam | epoch: 085 | loss: 0.95004 - acc: 0.7491 | val_loss: 0.41483 - val_acc: 0.7500 -- iter: 28/28
--
Training Step: 86 | total loss: 0.85684 | time: 1.034s
| Adam | epoch: 086 | loss: 0.85684 - acc: 0.7634 | val_loss: 0.45086 - val_acc: 0.7500 -- iter: 28/28
--
Training Step: 87 | total loss: 0.77343 | time: 1.034s
| Adam | epoch: 087 | loss: 0.77343 - acc: 0.7764 | val_loss: 0.49847 - val_acc: 0.7500 -- iter: 28/28
--
Training Step: 88 | total loss: 1.00701 | time: 1.026s
| Adam | epoch: 088 | loss: 1.00701 - acc: 0.7380 | val_loss: 0.52732 - val_acc: 0.6667 -- iter: 28/28
--
Training Step: 89 | total loss: 0.90991 | time: 1.032s
| Adam | epoch: 089 | loss: 0.90991 - acc: 0.7535 | val_loss: 0.53049 - val_acc: 0.6667 -- iter: 28/28
--
Training Step: 90 | total loss: 0.82307 | time: 1.038s
| Adam | epoch: 090 | loss: 0.82307 - acc: 0.7674 | val_loss: 0.51345 - val_acc: 0.6667 -- iter: 28/28
--
```

Imagen 42 Muestra del proceso de iteración.

6.4 Datos no utilizados en el entrenamiento

Como se menciona en el capítulo anterior, un 30% de las pruebas obtenidas no fueron utilizadas, sino que fueron instrumento de validación para corroborar que el programa de entrenamiento desarrollado diera como resultado predicciones correctas de cada una de las actividades que se le daban a obtener.

Para realizar la validación de pruebas con las matrices de datos sin utilizar, se realizó una segunda parte del programa de entrenamiento, en dónde utilizando las mismas librerías de *Tensorflow* y el algoritmo de Redes Neuronales, lograra comparar las nuevas entradas de información junto con el resto de los datos ya recibidos. La parte importante aquí es que, al tener datos nuevos, muchos de ellos no tendrían las mismas dimensiones de matriz con las que el resto de los datos fueron entrenados, por lo que se realizó una condición dentro del programa que permitiera formar matrices que pudieran ser comparadas con la matriz entrenada.

Al tener las nuevas entradas de datos, el programa hacía que estos tuvieran la forma matricial requerida para ser comparadas, y una vez que se obtenía dicha dimensión matricial se emparejaba con la de entrenamiento.


```
prueba= pd.read_csv('C:/Users/Pruebas/Downloads/AlanJurado/Tensorflow/model/MatusL10.csv',sep=';',header=0)
Pruebaf =np.array(prueba)
test=Pruebaf.ravel()
prove=test.shape
test.shape
print(test)
```

```
[ 1 253 61 237 3 248 56 218 3 2 58 228 254 3 59 233 4 255
 60 234 252 255 57 225 0 6 57 228 9 4 60 234 255 255 61 240
250 253 63 247 1 245 62 251 252 247 63 253 253 244 62 247 0 248
 63 250 1 249 63 247 0 246 62 244]
```

```
if Sentadilla == bool(1):
    print("Es una Sentadilla")
if Desplante == bool(1):
    print("Es un Desplante")
if Burpee == bool(1):
    print("Es un Burpee")
if Lagartija == bool(1):
    print("Es una Lagartija")
```

Es una Lagartija

Imagen 43 Demostración de una prueba validada.

7. Resultados

Al obtener un programa de entrenamiento, con una base de datos generada a partir de pruebas realizadas por diferentes usuarios y con un modelo *wearable* funcional, se hicieron una serie de pruebas nuevas las cuales fueron validadas en el programa detectando la eficiencia de éste. Estas nuevas pruebas no entran en el total de pruebas que se usaron para entrenar y validar al dispositivo, sino que para su validación final fueron necesarias algunas pruebas más para su comprobación.

Tabla 5 Resultados de validación del programa de entrenamiento

SUJETO 1		Sentadillas		Desplantes		Burpees		Lagartijas
P1	Yes	0,7885	Yes	0,7885	Yes	0,8308	No	X
P2	Yes	0,6948	Yes	0,6948	No	X	Yes	0,6948
P3	No	X	Yes	0,6035	Yes	0,7466	Yes	0,6035
P4	Yes	0,7447	Yes	0,8621	Yes	0,8287	Yes	0,8621
P5	No	X	Yes	0,7359	Yes	0,67218	Yes	0,7359
P6	No	X	Yes	0,8567			Yes	0,8567
P7	Yes	0,7604	Yes	0,7604			Yes	0,7604
P8	No	X	Yes	0,5943			Yes	0,5943
P9	No	X	Yes	0,6975			Yes	0,6975
P10	Yes	0,8507	Yes	0,8507			No	X
SUJETO 2								
P1	Yes	0,8442	Yes	0,7463	No	X	No	X
P2	Yes	0,7129	Yes	0,6054	Yes	0,8308	No	X
P3	Yes	0,8432	Yes	0,7896	Yes	0,7885	Yes	0,8442
P4	Yes	0,8308	Yes	0,6035	Yes	0,6948	Yes	0,8364
P5	Yes	0,816	Yes	0,8621	Yes	0,6035	Yes	0,8021
P6	No	X	Yes	0,87193			Yes	0,7879
P7	No	X	Yes	0,76117			Yes	0,8308
P8	No	X	Yes	0,8442			Yes	0,7463
P9	Yes	0,7129	Yes	0,7129			Yes	0,816
P10	No	X	No	X			Yes	0,8442
SUJETO 3								
P1	Yes	0,6796	No	X	Yes	0,8756	Yes	0,7674
P2	Yes	0,9287	Yes	0,7082	Yes	0,7904	Yes	0,7535
P3	No	X	No	X	No	X	Yes	0,7754
P4	Yes	0,7419	Yes	0,7402	Yes	0,7835	Yes	0,738
P5	Yes	0,6803	No	X	No	X	yes	0,8051
P6	Yes	0,7563	Yes	0,7873			No	X
P7	Yes	0,8161	Yes	0,685			No	X
P8	Yes	0,8748	Yes	0,8008			Yes	0,8162
P9	Yes	0,8833	yes	0,8221			No	X
P10	Yes	0,7556	yes	0,833			Yes	0,8654
		0,785785		0,75454231		0,76776182		0,77539565
							% General =	77,09%
							Prom de pruebas detectadas=	8.0

En la tabla 5, se puede visualizar el análisis de cada sujeto, así como sus 10 pruebas realizadas para su visualización. En la parte final se pueden observar los porcentajes de precisión de cada actividad, mismos que entran dentro de la literatura consultada en donde se explicaba que el porcentaje de precisión y certeza oscilaba entre el 75-85%. El promedio porcentual de todas las actividades juntas da como resultado un porcentaje general del **77.09%**, mientras que el promedio final del total de pruebas detectadas correctamente es de **8.0/10.0**. Estos valores se encuentran dentro del rango de porcentajes de la literatura consultada y validan satisfactoriamente el correcto funcionamiento del programa.

Son varios factores los que pueden verse influidos en estos resultados, desde la ejecución de cada actividad por persona hasta la frecuencia con la que esta suele hacer ejercicio. Se puede notar que el índice de actividades no detectadas es notorio, pero no preocupante, porque como se menciona antes, esto se debe a que el programa de entrenamiento se realizó con una base de datos donde los ejercicios se realizaban de manera constante y muy similar uno de otro.

7.1 Modelo general para el dispositivo *Wearable*



Imagen 44 HIIT Wearable

El dispositivo HIIT *wearable* es un modelo que, como se puede ver la imagen 41, tiene dimensiones pequeñas y no es invasivo para ningún tipo de usuario. Este modelo cumple con las características para considerarse un *wearable*, ya que además de ser pequeño, también cuenta con un procesador y autonomía propia con lo cual puede estar encendido y en funcionamiento por un largo periodo de tiempo. Los requerimientos y especificaciones fueron cubiertos en su totalidad, además de que el modelo puede seguir siendo programable e incluso podría tener otro tipo de enfoque que involucrara movimientos corporales.

Este modelo, es adaptable a cualquier persona que posea ambas extremidades superiores del cuerpo ya que, al haber sido desarrollado para fines deportivos, la persona que porte el *HIIT Wearable* deberá realizar las diferentes actividades físicas con las que fue entrenado. Esto limita a un cierto número de personas de la población que entran dentro del porcentaje mostrado por la MOPRADE.

El empaque con el que el modelo fue sellado es de un material semi frágil, por lo que debe ser tratado con cuidado, este fue elegido por la protección que brinda al circuito completo ante alguna posible caída o accidente que pudiera suscitarse, pero al ser un componente previamente manufacturado no era posible elegir el material con el que se hubiera preferido, fuera diseñado. Las ventajas de este empaque son que, en caso de sufrir un imprevisto o percance, se puede sustituir con un empaque igual, lo único que se necesitaría realizar serían las perforaciones que permiten la manipulación de los botones del microcontrolador, así como el centro de carga para que la batería pueda ser cargada cuando se necesario.

La correa al estar en constante uso por el autor y los sujetos de prueba tiende a ensuciarse, pues al ser de tela blanca, toma un tono gris y llega a poseer mal aspecto. Para ello, basta con retirar la parte superior del empaque y lavar con agua la correa, una vez seca y limpia se puede sellar el empaque completamente.

El modelo es funcional en su totalidad, cumple con las tareas que este proyecto plantea y puede ser propuesto para realizarse mejoras y optimizaciones como posible trabajo a futuro.

8. Conclusión

El proyecto *HIIT Wearable* se enfoca en el apoyo a las necesidades de la población que llevan una vida deportiva y que se preocupan por mantenerse en buena forma, además de ser útil para cualquier persona con o sin conocimientos de deporte pero que desea tener un mejor control del tipo de actividades físicas que realiza.

El desarrollo de un dispositivo tipo *wearable* para la detección de movimientos corporales, es de mucha utilidad y más por estar colocado en la muñeca, ya que cumple con las necesidades de los usuarios que optan por usar prendas o dispositivos que no molesten al realizar cualquier especie de actividad. Los usuarios tienen comodidad y pueden gozar de libertad de movimiento sin preocupaciones, esto favorece de igual forma a la detección del movimiento, esto debido a que no existe restricción alguna viendo reflejado en los datos un menor error de detección.

La programación desarrollada para el microcontrolador fue de vital importancia, pues al tener una configuración designada para ejecutar las instrucciones declaradas, facilitó el envío, transmisión, ejecución y manipulación de todos los datos generados por el usuario. Haber realizado la comprobación de calibración, tiempo de retraso y comunicación inalámbrica, ayudaron a mejorar de manera notable el registro de datos que cada usuario realizaba, esto se vio reflejado en el entrenamiento del algoritmo de *machine learning*, pues al haber utilizado una base de datos con pocos valores de actividades físicas, se logró obtener un programa de entrenamiento válido para predecir actividades físicas realizadas.

La inteligencia artificial es la que tiene la mayor presencia y peso en el desarrollo de este proyecto, pues al utilizar tecnología reciente se está aportando un gran avance al continuo desarrollo y mejora de toda la tecnología *wearable*. Al tener un gran aliado como es el código abierto de *TensorFlow*, se tiene una facilidad de acceso al desarrollo de nuevos programas con fines distintos que de igual forma aportan nuevos datos e información a toda la parte práctica de la inteligencia artificial.

Los resultados arrojados por el programa de entrenamiento con Aprendizaje Supervisado, al ser una primera iteración, no cuenta con la calidad de precisión y certeza más óptima. Sin embargo, los datos y resultados obtenidos sí son válidos y con ellos se pueden concluir varias cosas, tales como: la diferencia entre personas que practican deporte cotidianamente como las que no, las personas que están acostumbradas a hacer mucho ejercicio tiempos récords o las que lo hacen a mayor esfuerzo, etc. Este tema abre la posibilidad de expandir el enfoque que tiene el programa de entrenamiento de tal manera que pudiera tener la capacidad también de detectar el error o la razón porque la no es detectada la actividad, incrementando la base de datos y haciendo que el algoritmo pueda arrojar resultados mejor definidos.

El proyecto, descrito en este documento, fue diseñado para ser una propuesta de tecnología *wearable* que pudiera ser empleada en las rutinas HIIT o actividades deportivas; sin embargo, también podría ser útil para la detección de las actividades físicas que se realizan y servir de indicador para saber si una actividad se está ejecutando correctamente o no.

9. Trabajo a futuro

El modelo funcional mostró ser capaz de realizar las tareas descritas de detección de movimiento, portabilidad y no invasión corporal. Con los resultados que éste genera, se puede manipular y generar distinta información según sea la aplicación que quisiera dársele.

Una mejora para el modelo podría ser el obtener que su estética fuera más llamativa, pues al tener un empaquetado muy genérico, no provoca la atención del usuario que podría portarlo si es que quisiera darse un uso comercial a este. De igual forma el optar por un diseño mejorado podría resultar práctico en cuanto a su manufactura, mantener una geometría circular con dimensiones más pequeñas en cuanto a microcontrolador y placa PCB podrían ser un comienzo.

En cuanto a la parte de programación, como se ha estado justificando, podría optimizarse el programa obteniendo porcentajes de entrenamiento y validación más altos que los obtenidos en esta primera iteración. Lo que podría llevarse a cabo para lograr esto, sería cambiar y generar una nueva base de datos que contuviera un mayor número de pruebas que las actualmente utilizadas, y que dentro de éstas se incluyeran todas las opciones posibles de movimiento que podrían ser considerados actividad física, de esta el algoritmo de entrenamiento estaría mejor capacitado para detectar el tipo de ejercicio que el sujeto de pruebas está haciendo, el tiempo en qué lo realiza y si realmente está haciendo bien el ejercicio o no.

Actualmente, el modelo tuvo un enfoque meramente ingenieril, pero las posibilidades de llevarlo al mercado y convertirlo en un producto comercializable son también considerables, bastaría con agregarle experiencia al usuario, generar una patente y también contar con otras disciplinas que podrían ayudar a tener un producto capaz de competir con las grandes marcas que existen en la industria de la tecnología *wearable*.

Referencias

- [1] Dispositivos Wearables 2014, “¿Que es Wearable? – Los dispositivos vestibles,” 2014. [Online]. Available: <http://www.dispositivoswearables.net/>.
- [2] Unicatónica, “Un sueño una luz,” *Fund. Univ. Católica Lumen Gentium*, no. 18, p. 108, 2008.
- [3] OMS, “Actividad física,” *Organización Mundial de la Salud*, 2018. [Online]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity>.
- [4] OMS, “Actividad física,” *Organización Mundial de la Salud*, 2018. .
- [5] L. Kravitz, “ACSM information on high-intensity interval training,” *Am. Coll. Sport. Med.*, pp. 1–2, 2011.
- [6] “Los millennials, clientes potenciales de los wearables,” Feb. 2015.
- [7] G. Jabbour, H. D. Iancu, P. Mauriège, D. R. Joannis, and L. J. Martin, “High-intensity interval training improves performance in young and older individuals by increasing mechanical efficiency,” *Physiol. Rep.*, vol. 5, no. 7, pp. 1–8, 2017.
- [8] J. C. Institute, “Los Wearables triunfan en la industria del deporte,” p. 1, 2017.
- [9] B. Yong *et al.*, “IoT-based intelligent fitness system,” *J. Parallel Distrib. Comput.*, vol. 118, pp. 14–21, 2018.
- [10] M. Mardonova and Y. Choi, “Review of wearable device technology and its applications to the mining industry,” *Energies*, vol. 11, no. 3, 2018.
- [11] M. Ermes, J. Pärkkä, J. Mäntyjärvi, and I. Korhonen, “Detection of daily activities and sports with wearable sensors in controlled and uncontrolled conditions,” *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.*, vol. 12, no. 1, pp. 20–26, Jan. 2008.
- [12] D. A. A. et al. Mitesh S. Patel, “Wearable devices as facilitators, not drivers, of health behavior change,” *J. Am. Med. Assoc.*, vol. 5, p. 313, 2015.
- [13] Techopedia, “Artificial Intelligence (AI),” *Techopedia Inc.*, 2018. [Online]. Available: <https://www.techopedia.com/definition/190/artificial-intelligence-ai>.
- [14] N. L. Rouse, Margaret, Ed Burns, “AI (Artificial Intelligence),” *TechTarget*, 2018. [Online]. Available: <https://searchenterpriseai.techtarget.com/definition/AI-Artificial-Intelligence>.
- [15] D. Conference, *Electric Machines and Drives Conference*. 1999.
- [16] A. . Fallis, ~~濟無~~No Title No Title, vol. 53, no. 9. 2013.

- [17] M. USENIX Association. *et al.*, "Papers presented at the Workshop on Wireless Traffic Measurements and Modeling : June 5, 2005, Seattle, WA, USA," *Proc. 12th USENIX Conf. Oper. Syst. Des. Implement.*, p. 44, 2005.
- [18] C. Nicholson, "A Beginner's Guide to Neural Networks and Deep Learning," *Skymind*, 2019. [Online]. Available: <https://skymind.ai/wiki/neural-network#define>.
- [19] Techopedia, "Deep Neural Network," *Techopedia Inc.*, 2018. [Online]. Available: <https://www.techopedia.com/definition/32902/deep-neural-network>.
- [20] G. To and M. R. Mahfouz, "Quaternionic attitude estimation for robotic and human motion tracking using sequential monte carlo methods with von mises-fisher and nonuniform densities simulations," *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 60, no. 11, pp. 3046–3059, 2013.
- [21] "COMUNICADO DE PRENSA NÚM. 25/18 26 DE ENERO DE 2018 PÁGINA 1/2 MENOS DE LA MITAD DE LA POBLACIÓN REALIZA EN SU TIEMPO LIBRE LA PRÁCTICA DE ALGÚN DEPORTE O EJERCICIO FÍSICO ☐ El Módulo de Práctica Deportiva y Ejercicio Físico (MOPRADEF) capta información desde 2013 ☐ Porcentaje de la población de 18 y más años de edad activa físicamente. Serie 2013 a 2017," 2013.
- [22] INEGI, "Módulo de Práctica Deportiva y Ejercicio Físico," *Inst. Estad. y Geogr.*, 2014.
- [23] Startek, "Wearable Technology Survey," 2015.
- [24] Prometec, "Módulo Bluetooth HC-06," *Prometec*. [Online]. Available: <https://www.prometec.net/bt-hc06/>.
- [25] Anonimo, "Microcontrolador," *EcuRed*, 2018. [Online]. Available: <https://www.ecured.cu/Microcontrolador>.
- [26] A. A. Galadima, "Arduino as a learning tool," in *Proceedings of the 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation, ICECCO 2014*, 2014.
- [27] ZEOKAT, "¿Qué es PuTTY y para qué sirve?," *VoziDEA*, 2014. [Online]. Available: <https://www.vozidea.com/que-es-putty-y-para-que-sirve>.
- [28] ZEOKAT, "¿Qué es PuTTY y para qué sirve?," *VoziDEA*, 2014. .
- [29] H. Bendemra, "Construye tu primer clasificador de Deep Learning con TensorFlow: Ejemplo de razas de perros," *Medium Corporation*, 2018. [Online]. Available: <https://medium.com/datos-y-ciencia/construye-tu-primer-clasificador-de-deep-learning-con-tensorflow-ejemplo-de-razas-de-perros-ed218bb4df89>.
- [30] Slash Data Co, "Trusted by the leading tech brands and media."
- [31] C. Traviesa, "SENTADILLA: MÚSCULOS IMPLICADOS, BENEFICIOS Y TÉCNICA DE

- EJECUCIÓN," *Travisport*, 2014. [Online]. Available: <https://travisport.wordpress.com/2014/02/11/sentadilla/>.
- [32] C. Traviesa, "SENTADILLA: MÚSCULOS IMPLICADOS, BENEFICIOS Y TÉCNICA DE EJECUCIÓN," *Travisport*, 2014. .
- [33] "Dr. Tucker's Anti-Aging Rehabilitation Exercises." [Online]. Available: <https://drjeffreytucker.com/Fitness/Rehabilitation/anti-aging.asp>. [Accessed: 20-Sep-2019].
- [34] P. Swole, "The Top 5 Best Triceps Exercises," *Project Swole*, 2018. [Online]. Available: <https://www.projectswole.com/weight-training/the-top-5-best-triceps-exercises/>.
- [35] P. Swole, "The Top 5 Best Triceps Exercises," *Project Swole*, 2018. .
- [36] "Increase Difficulty Level of Push-up by Varying Your Grip Width | Dean Yeong." [Online]. Available: <https://deanyeong.com/increase-difficulty-level-of-push-up-by-varying-grip-width/>. [Accessed: 20-Sep-2019].
- [37] E. F. 180, "Desplantes," *Imagen Digital*, 2019. [Online]. Available: <https://www.salud180.com/nutricion-y-ejercicio/desplantes-para-tonificar-tus-piernas-y-gluteos>.
- [38] Freeletics, "Burpees: Porque deberías adorarlos," *Freeletics GmbH*, 2016. [Online]. Available: <https://www.freeletics.com/es/blog/posts/burpees-porque-deberias-adorarlas/>.
- [39] Freeletics, "Burpees: Porque deberías adorarlos," *Freeletics GmbH*, 2016. .
- [40] "Free Burpee Cliparts, Download Free Clip Art, Free Clip Art on Clipart Library." [Online]. Available: <http://clipart-library.com/burpee-cliparts.html>. [Accessed: 20-Sep-2019].
- [41] Laura Estirado, "Spectacles, las gafas de Snapchat que te harán olvidar las Google Glass," *el Periódico*, 2016. [Online]. Available: <https://www.elperiodico.com/es/extra/20160927/spectacles-gafas-snapchat-5417930>.
- [42] Samsung, "Samsung Gear 2 Smartwatch - Charcoal Black," *MobileFun*, 2018. [Online]. Available: <https://www.mobilefun.co.uk/samsung-gear-2-smartwatch-charcoal-black-44236>.

Anexos

Documento A

PRUEBA HIIT: Instrucciones

Antes de comenzar la prueba, el evaluado deberá leer el siguiente documento. En este se describe la información necesaria que deberá saber antes de iniciar.

Este proyecto lleva por nombre “HIIT *Wearable*” y tiene como finalidad crear un dispositivo capaz de predecir el tipo de actividad que un usuario está realizando durante una rutina tipo HIIT (*High Intensity Interval Training*) mediante un entrenamiento previo. Una rutina HIIT, como sus siglas la describen, es una rutina intensiva que se lleva a cabo en un corto periodo de tiempo. Estas rutinas se han popularizado debido a su eficacia en los resultados obtenidos, pero al ser una alternativa nueva, no se ha estudiado con detenimiento. Es por esto que, el objetivo principal de este proyecto es entrenar el HIIT *Wearable* para que pueda obtener datos de movimiento, los cuales serán analizados y procesados en un software que generará predicciones de cada actividad basada en estas pruebas y que a futuro ayudarán a que el dispositivo logre la tarea descrita al inicio.

A continuación, se enlistarán todas las indicaciones que deberá seguir durante su estancia:

- Deberá leer y comprender cada uno de los puntos descritos en este documento.
- El evaluado deberá portar ropa cómoda (de preferencia) para realizar las actividades físicas.
- Deberá estar atento a todas las indicaciones que el evaluador hará y si tiene alguna duda, deberá comentarla de inmediato.
- El evaluador le colocará el dispositivo encendido y en funcionamiento, de ser necesario, indicar si el dispositivo ha quedado muy ajustado o viceversa.
- Una vez colocado el dispositivo, no deberá ser retirado hasta que evaluador lo indique.
- Las actividades físicas que realizará son las siguientes: sentadillas, desplantes, burpees y lagartijas. Si desconoce cómo realizar alguna, el evaluador le mostrará la manera correcta de hacerla.
- Cada actividad se realizará 10 veces, la prueba es continua por lo que el evaluado tendrá 10 segundos de descanso entre cada una.
- Al finalizar la prueba, deberá permanecer en el lugar que se indique hasta recibir indicaciones del evaluador.

¡GRACIAS POR SU PARTICIPACIÓN!

Documento B

Protocolo HIIT Wearable

A continuación, se realizará una descripción detallada del método de operación y ejecución del dispositivo denominado “HIIT wearable” para la realización de pruebas, que se utilizarán como datos de entrenamiento para la creación del método de aprendizaje supervisado que usará este dispositivo para predicciones a futuro.

Dichas pruebas se llevarán a cabo en el área de trabajo destinada para este proyecto, ubicado en el 4to piso del CIA (Centro de Investigaciones Avanzadas) de la Facultad de Ingeniería de la UNAM que cuenta con un espacio de AAxBB m² libre, considerado y seleccionado para que el evaluado tenga la libertad de movimiento suficiente para la realización de cada actividad física que se describirá más adelante.

Agentes.

Los agentes involucrados en este protocolo serán descritos a continuación.

Evaluador:

El evaluador será la persona encargada de llevar todos los procesos para efectuar cada prueba. Será también el que informe y haga constatar el cumplimiento de este protocolo tal como se ha descrito aquí. El evaluador llevará un control tanto del material y equipo a usar, así como de los sujetos de prueba a evaluar en cada ciclo de trabajo. El evaluador deberá tener un conocimiento total del proyecto, así como de los requerimientos solicitados del mismo para poder efectuar su rol, de otra forma no podrá realizarse ningún tipo de muestra, esto para evitar que se suscite algún problema que el evaluador asignado no tenga la capacidad de solucionar.

Evaluado:

El evaluado será la persona que, invitada y voluntariamente, ha aceptado realizar la prueba y efectuará todas las instrucciones descritas en este protocolo para la ejecución de actividades a evaluar. El evaluado considerado como candidato para participar en estas pruebas, deberá cumplir con las siguientes cualidades: deberá contar con ambas extremidades superiores, ya que realizará actividades requiere del trabajo en ambas aunando que el dispositivo wearable será colocado en la muñeca del brazo izquierdo, también deberá ser capaz de realizar movimientos libres sobre su eje tales como brincar, inclinarse y flexionar las rodillas. El evaluado será informado de forma general en qué

consiste la prueba que realizará, es decir, tendrá conocimiento del tipo de trabajo que hará y se le recomendará que, para ello, utilice ropa que le permita hacer actividad física.

Descripción del entorno

El espacio antes mencionado, cuenta con mesas y sillas que podrán ser utilizadas para que tanto el evaluador, evaluado y asistente puedan hacer uso antes, durante y después de cada prueba a realizar.

El equipo de pruebas a utilizar será el siguiente: una computadora portátil que tenga el software instalado, que permita una comunicación remota con el dispositivo wearable y que realiza la lectura de datos sensados, el dispositivo wearable antes mencionado, ambos con sus respectivos alimentadores de energía, y un dispositivo portátil que pueda documentar las pruebas (teléfono celular). La computadora y el dispositivo wearable deberán estar previamente emparejados vía Bluetooth, así como también el software con cliente SSH (conexión remota) deberá estar vinculado al puerto serial previamente asignado.

Procedimiento:

1.- Antes de comenzar con la primera prueba del día, el evaluador deberá tener listo todo el equipo y material que utilizará, es decir, deberá tener todos los dispositivos instalados, encendidos y vinculados.

2.- Previo a comenzar la actividad y una vez que el evaluado ha llegado, el evaluador deberá informar a este último sobre el protocolo de pruebas que deberá seguir durante la toma de datos para cada actividad física. El evaluador iniciará con la siguiente cita textual: “Buenos días/tardes, bienvenido al 4to piso del CIA, mi nombre es (inserte nombre del evaluador en turno) y soy el evaluador del día de hoy. Antes de empezar le proporcionaré la información que necesita saber previo a comenzar su prueba.” Dicho esto, el evaluador le indicará al evaluado donde tomar asiento para dar lectura a los documentos que se le proporcionarán subsecuentemente.

3.- El evaluador le proporcionará al evaluado el documento titulado “Prueba HIIT: Instrucciones”, el cual deberá ser leído en su totalidad por el evaluado para informarlo tanto del proyecto, así como de los pasos que deberá seguir para obtener resultados deseables durante la prueba. Una vez que el evaluado haya terminado de leer el documento deberá entregarlo devuelta al evaluador, el cual hará entrega de otro

documento titulado “Carta de consentimiento” y que el evaluado podrá leer con detenimiento y en caso de tener alguna duda, deberá ser aclarada por el evaluador. Una vez que el evaluado haya terminado y esté de acuerdo, deberá llenar los espacios en blanco y firmarla. Se le deberá entregar al evaluador y éste lo archivará en una carpeta exclusiva para fines confidenciales.

4.- Una vez informado el evaluado, el evaluador procederá a mostrar el dispositivo con la siguiente cita textual: “Este es el dispositivo HIIT wearable, no es invasivo y con él realizarás las actividades que te mostraré a continuación, ahora procederé a colocártelo en la muñeca.” El dispositivo deberá ser colocado en la muñeca del brazo izquierdo, esto debido a que la orientación que tienen los ejes y ángulo involucrados dependen totalmente de la forma en que la IMU (componente que toma las lecturas del movimiento) está colocada, éste ya deberá estar encendido y vinculado como se menciona en el punto 1. En caso de que el dispositivo fuera colocado de una forma distinta sin haberse percatado de lo anterior, se deberán anular los datos que se obtuvieron de esas pruebas.

5.- El evaluador le pedirá al evaluado que se levante y se dirija al punto marcado en el piso, en este punto el evaluado deberá realizar todas las actividades evitando trasladarse para que la cámara pueda grabarlo completamente. El evaluador se posicionará en un punto donde podrá tener un control tanto de la computadora portátil, así como del teléfono móvil con el cual se grabará la evidencia. Para asegurar una buena ejecución de cada actividad, el evaluador le preguntará al evaluado si conoce la forma correcta en que se realizan las siguientes actividades: burpees, sentadillas, lagartijas y desplantes. En caso de que el evaluado desconozca la ejecución correcta de una o todas las actividades mencionadas, el evaluador mostrará la manera correcta en la que debe realizar cada una, esto mediante un vídeo demostrativo. Una vez que el evaluado haya entendido perfectamente lo que deberá hacer, se procederá a iniciar la prueba.

6.-A continuación, el evaluador se dirija a la computadora, en dónde dará inicio al software de comunicación remota. En él, el evaluador generará un archivo con extensión “.log”, el cual guardará la prueba completa bajo el nombre del usuario y la fecha en la que se realizó, esto tendrá que hacerlo siguiendo el formato descrito a continuación: “NOMBREAPELLIDO-DDMM” donde la primera parte es el nombre y apellido del evaluado mientras que la segunda corresponde al día y mes en que se realizó la prueba.

7.- Una vez generado el archivo, el evaluador iniciará la grabación y le pedirá al evaluado comenzar. En cada actividad el evaluado deberá hacer lo siguiente: cuando el evaluador dé la indicación, el evaluado deberá ejecutar la actividad imitando el video demostrativo

que vio con anterioridad, deberá contar mentalmente del 1 al 10 y llegando a dicho número deberá detenerse en su totalidad. Las indicaciones del evaluador serán mediante un “3, 2,1... Ahora” para iniciar, y un “Alto” después de contar 10 veces para terminar. En caso de obtener una mala lectura de datos o ejecución de dicha actividad, es decir, que el dispositivo haya dejado de enviar información y/o que el evaluado se haya detenido antes de terminar la actividad completa, se pedirá al evaluado hacerla de nuevo.

8.- Al terminar una actividad, el evaluado deberá esperar 10 segundos para iniciar la siguiente actividad, el orden de dichas actividades será el antes mencionado (burpees, sentadillas, lagartijas y desplantes). La prueba se hará de manera continua con este lapso para que el dispositivo tenga una diferencia entre datos de prueba y datos de espera.

9.- Una vez completada la prueba, el evaluador deberá pedirle al evaluado que extienda su brazo para así retirarle el dispositivo. Después de esto, el evaluador deberá guardar el archivo generado y corroborar que se ha ubicado en la carpeta destino.

10.- Una vez realizado todo lo anterior, se le agradecerá al evaluado por su participación en el proyecto y se le obsequiará una golosina en agradecimiento.

11.- El evaluador llevará al evaluado hacia la salida y con esta acción se dará por finalizada la prueba.

Documento C



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA E INDUSTRIAL



CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN EDUCATIVA

Yo _____, de _____ años de edad, acepto de manera voluntaria que se me incluya como sujeto de estudio en el proyecto de investigación denominado: **“Desarrollo de un dispositivo tipo *wearable* orientado al entrenamiento HIIT (High Intensity Interval Training) utilizando Aprendizaje Supervisado”**, luego de haber conocido y comprendido en su totalidad, la información sobre dicho proyecto, riesgos si los hubiera y beneficios directos e indirectos de mi participación en el estudio, y en el entendido de que:

- No habrá ninguna sanción para mí en caso de no aceptar la invitación.
- Puedo retirarme del proyecto si lo considero conveniente a mis intereses, aún cuando el investigador responsable no lo solicite, informando mis razones para tal decisión en la Carta de Revocación respectiva si lo considero pertinente; pudiendo si así lo deseo, recuperar toda la información obtenida de mi participación.
- No haré ningún gasto, ni recibiré remuneración alguna por la participación en el estudio.
- Se guardará estricta confidencialidad sobre los datos obtenidos producto de mi participación, con un número de clave que ocultará mi identidad.
- Puedo solicitar, en el transcurso del estudio información actualizada sobre el mismo, al investigador responsable.

Lugar y Fecha: _____

Nombre y firma del participante: _____

Nombre y firma de quien proporcionó la información para fines de consentimiento

TESTIGO 1

TESTIGO 2

Nombre: _____ Nombre: _____ Fecha: _____

Fecha: _____