

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN LA “PIRUETA DERECHA ATRÁS EXTERIOR”
OBTENIDAS MEDIANTE IOT, COMO ASISTENCIA EN TIEMPO REAL PARA ARBITRAJE Y
FUTURA MEJORA ERGONÓMICA EN PLANTILLA DEL PATINADOR PROFESIONAL DE
PATINAJE ARTÍSTICO

Realizado por:

MARÍA ELISA RAMÍREZ GALARZA
CI. 1724769664

Director del Proyecto:

DIEGO FERNANDO BUSTAMANTE VILLAGOMEZ
CI. 1803417680

Como Requisito Para la Obtención del Título de:

MAGISTER EN DISEÑO INDUSTRIAL Y DE PROCESOS

Quito, octubre de 2022

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, María Elisa Ramírez Galarza, ecuatoriana, con Cédula de ciudadanía N° 1724769664, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional, y se basa en las referencias bibliográficas descritas en este documento.

A través de esta declaración, cedo los derechos de propiedad intelectual a la

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y normativa institucional vigente.



MARIA ELISA RAMIREZ GALARZA

C.I.: 1724769664

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.



DIEGO FERNANDO BUSTAMANTE VILLAGOMEZ

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

LOS PROFESORES INFORMANTES:

MARCELO VLADIMIR GARCIA SANCHEZ

DIEGO PATRICIO GONZÁLEZ SACOTO

Después de revisar el trabajo presentado lo han calificado como apto para su defensa oral ante el tribunal examinador.

Ing. Marcelo García

Ing. Diego González

Quito, 21 de Octubre de 2022

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.



MARIA ELISA RAMIREZ GALARZA

C.I.: 1724769664

Tabla de contenido

Índice de Ilustraciones.....	8
Índice de Tablas.....	9
Dedicatoria.....	10
Agradecimientos.....	11
Resumen.....	12
Abstract.....	13
Capítulo I.....	14
Introducción.....	14
Justificación.....	15
Objetivo General.....	15
Objetivos Específicos.....	15
Estado del Arte.....	16
Patinaje Artístico en el Mundo.....	16
Reglamentación Mundial de Patinaje Artístico.....	17
Patinaje Artístico Sobre Hielo.....	18
IoT en la Industria del Deporte.....	19
Selección del Módulo IoT.....	20
Selección del Módulo MPU 9250: Acelerómetro, Giroscopio, Magnetómetro.....	20
Bróker: Ubidots para IoT.....	21
Sensor Resistivo de Fuerza DF9-40.....	22
Capítulo II.....	23

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO	7
Metodología.....	23
Arquitectura de Hardware	24
Elaboración del dispositivo	24
Ubicación del dispositivo en el patín.....	25
Procesamiento de Datos	26
Transmisión de Datos.....	33
Capítulo III.....	35
Resultados.....	35
Capítulo IV	39
Discusión	39
Capítulo V	42
Conclusiones	42
Recomendaciones	43
Bibliografía	44

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

Índice de Ilustraciones

Figura 1	Campeonato Panamericano de Patinaje Artístico Sobre Ruedas 2022	17
Figura 2	Ejecución de la pirueta sit izquierdo: (S)(I)(B)(L).....	18
Figura 3	Curva de Funcionamiento del Sensor.....	22
Figura 4	Distribución Física de Sensores de Fuerza en la Plantilla.....	24
Figura 5	Esquemático de Conexión del Dispositivo de Medición de Fuerzas.....	25
Figura 6	Dispositivo de Medición Colocado en el Patín	26
Figura 7	Linealización de Valores de Voltaje - Masa. Sensor DF9-40.....	28
Figura 8	Linealización de Valores de Voltaje - Presión. Sensor DF9-40	29
Figura 9	Orientación del Sensor en la Aplicación	30
Figura 10	Ángulo de Inclinación MPU 9250 en 3D.....	32
Figura 11	Interfaz Ubidots	33
Figura 12	34
Figura 13	<i>Presentación de Resultados</i>	35
Figura 14	Comparación de Presión Aplicada a los Sensores	36
Figura 15	Datos de Acelerómetro Resultantes	37
Figura 16	Datos de Giroscopio Resultantes	38

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

Índice de Tablas

Tabla 1	Parámetros de calificación de módulos de IoT disponibles en el mercado.....	20
Tabla 2	Parámetros de calificación de bróker de IoT disponibles en el mercado	21
Tabla 3	Acondicionamiento Voltaje - Masa. Sensor DF9-40	27
Tabla 4	Valores de Voltaje - Presión Aplicada	29
Tabla 5	Lectura de Valores Sensor MPU 9250.....	31
Tabla 6	<i>Valores Iniciales MPU 9250</i>	31
Tabla 7	Valores Sensados de Fuerzas Plantares	35
Tabla 8	Resultados de Valores Inerciales de Cinco Mediciones	38

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

Dedicatoria

A mi querida Luciana, mi compañera de vida, mi pequeño motorcito que me ha acompañado en las malas noches y en los buenos días, que me ha soportado y me ha tenido paciencia durante este proceso, mi piojita te la bancaste como los valientes, sinceramente gracias.

A mi madre, que me ha soportado económica, psicológica y moralmente para salir adelante en esta y todas las etapas de mi vida, un cartoncito más para ambas madre mía, este logro también es tuyo.

A mi querida magú, que pensaba que no iba a ser ingeniera cuando no había sido ni bachiller. A un paso de ser master, te dedico este logro y te lo agradezco también.

A mis abuelos que son mi ejemplo de lucha y perseverancia, a ellos que me han enseñado que de todas se sale y que vale la pena sembrar lo que se quiere cosechar en un futuro.

A mis entrenadores de patinaje Pato y Marito, que estoy segura que desde el cielo estarán inflando el pecho al ver que aplico en mi carrera sus enseñanzas.

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

Agradecimientos

A Dios, principalmente por sostenerme en los momentos más difíciles de este proceso, por no dejarme caer y guiarme en el camino del éxito.

A Diego, Michel y Marcelo quienes han guiado el curso de este estudio, han compartido su conocimiento y han aportado su sabiduría para guiarme hasta culminar exitosamente con las metas propuestas al inicio de esta tesis.

A Farah´s Skating Studio, y su coordinadora Farah Navas, por permitirme ser parte de sus experiencias y toda la ayuda brindada en cuanto a lo que el patinaje respecta, mi sincero agradecimiento y admiración por la labor realizada y los valores aportados a este maravilloso deporte.

A la Universidad Internacional SEK y todo el personal docente y administrativo de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, con especial mención a Jaime, Jorge Luis, Luis Andrés, Juan Carlos, Tom y Jesús, quienes fueron los guías para llegar a culminar este peldaño adicional en mi formación académica.

A mis compañeros de trabajo, desde mi jefe quien ha tenido la paciencia y disposición de apoyarme en cada paso de esta aventura, hasta mis compañeros que me acompañaron con sus ánimos para seguir, sus hombros para llorar y dormir y sus palabras de aliento cuando todo se veía gris, al buen café y los desayunos de tertulia que me alentaron a llegar hasta esta instancia, de corazón llavesitos, muchas gracias.

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

Resumen

La asistencia en el arbitraje en la industria del deporte ha tenido un crecimiento significativo a toda escala, con la finalidad de realizar calificaciones menos perceptivas y más objetivas de las diferentes disciplinas.

El patinaje artístico por su parte se caracteriza por ser calificado por su estética perceptible al ojo del juez a pesar de la complejidad que conlleva la ejecución de sus elementos.

En el presente estudio se identificó tanto los movimientos inerciales del pie como las fuerzas plantares características en la ejecución de la pirueta exterior atrás derecha. Se determinaron patrones típicos de movimiento y además los valores reales indicativos de fallo, que funcionan como base para el arbitraje del deporte al ser puntos críticos de penalización en la calificación, estos valores fueron obtenidos mediante el Internet de las Cosas o Internet of Things (IoT) en la ejecución real de la pirueta.

Se demostró también que el patinador ejerce valores de presión plantar críticos al momento de realizar la pirueta en estudio en la zona de la cabeza del quinto metatarsiano, durante un tiempo aproximado de entre veinte y treinta segundos comparados con los valores de presión media en caminata, en donde el tiempo de presión no supera los tres segundos.

Palabras Clave: IOT, patinaje artístico, pirueta, internet de las Cosas

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

Abstract

Referee assistance in the sport's industry has had a significant growth at all scales, with the aim of making qualifying, less perceptive and more objective involving many different disciplines at all scales of competition.

Particularly, artistic roller skating, continued to be qualified by eyes perception of judges, sometimes over evaluating aesthetics aspects over the complexity involved in the execution of its elements such as jumps, figures or pirouettes like the one we are analyzing in this study.

Inertial movements of the foot and typical plantar forces that the player applied in the execution of the right back exterior pirouette were identified in this study. There were determined typical movement patterns in the execution of the basic pirouette that made failure easily noticed with IoT, so the referee could make the decision in real time based on that of how much points it deserved to be penalized.

It was also shown that critical plantar pressure values of the skater in the insoles during the performance of the pirouette under study in the area of the fifth metatarsal head, was counted for an approximate time of between twenty and thirty seconds compared to the average pressure values in walking, wherein the pressure time does not exceed three seconds.

Keyword: IOT, internet of things, figure skating, pirouette

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

Capítulo I

Introducción

El patinaje artístico sobre ruedas consiste en un deporte en el cual se realizan giros, saltos, piruetas y la combinación de ellos, elementos estéticos y técnicos que conllevan un largo tiempo de entrenamiento para ser ejecutados a la perfección. Sin embargo, el arbitraje de este deporte depende de la percepción de un juez sobre los elementos que observa para su calificación. En términos de entrenamiento, la asistencia visual mediante la grabación y video en cámara lenta, han permitido tanto a patinadores como entrenadores mejorar las técnicas de entrenamiento en los deportistas, sin embargo, aún este sistema depende de la imparcialidad y agudeza visual de quien lo revisa. (Kumar et al., 2021)

Años atrás, se consideraba factible el uso de tecnología asistida únicamente en la industria deportiva que más dinero genera: el fútbol, sin embargo, en la actualidad y con los avances en la tecnología electrónica y la reducción de los costos de la misma se ha generado un interés mayor en el desarrollo de diferentes soluciones para determinar patrones requeridos en la ejecución de los elementos característicos de los diferentes deportes como el patinaje artístico, por ejemplo (Hosseini Varde'i & Izzo, 2018). Bajo esta premisa, se busca desarrollar un dispositivo adaptable al patín, de bajo costo que sea capaz de obtener en tiempo real los datos de aceleración, revoluciones completas y fuerza ejercida por el pie durante la ejecución de la pirueta derecha atrás exterior, en el punto crítico donde se aplica la presión para el giro en una de las piruetas que es la base de diversas otras de mayor complejidad, (Kumar et al., 2021). Además, el uso de plantillas en los zapatos de los deportistas independientemente del nivel en el que se encuentren es una solución ergonómica que busca prevenir o corregir lesiones ocasionadas por la fisonomía del pie de quien practica un deporte (Mendes et al., 2020). En tal virtud, el desarrollo de este estudio busca analizar uno de los puntos críticos de presión para el futuro diseño de la plantilla que mejor se ajuste a las necesidades del patinador.

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

Justificación

Este estudio busca aprovechar el IoT en la industria deportiva que no ha sido explotada como es el caso del patinaje artístico sobre ruedas, para monitorear y presentar datos reales que puedan mostrar la complejidad que conlleva la práctica de un deporte y las horas invertidas en el mismo, buscando un patrón de repetibilidad para los futuros deportistas en formación. Existen deportes como tenis, fútbol, tiro olímpico, natación, esgrima, entre otros, en los cuales se han implementado sistemas de medición electrónica que hacen de la evaluación de estos a nivel profesional, mejorando así la objetividad e imparcialidad en la calificación de la ejecución de las diferentes disciplinas con el fin de ser más justos y atractivos para la audiencia en general. (Torres, 2020)

Por otro lado, la medición de fuerzas plantares, basadas en la combinación de sensores flexibles de fuerza, acelerómetros y giroscopios, han desarrollado oportunidades de estudio en cuanto al monitoreo de la ergonomía del pie, prevención de lesiones tipo ulceraciones que pueden llegar a complicarse y causar un malestar mayor en deportistas cuyo tiempo de entrenamiento supera las seis horas al día en el ámbito de los corredores principalmente. (Ramirez-Bautista et al., 2017)

Objetivo General

Determinar las fuerzas aplicadas por los patinadores en la ejecución de una pirueta derecha atrás exterior mediante el diseño de un dispositivo de bajo costo basado en IoT para la obtención de datos de fuerzas inerciales y de presión plantar del pie durante el giro para asistencia en arbitraje del deporte y futuro diseño de plantillas ergonómicas para el patinador.

Objetivos Específicos

- Obtener los datos de fuerzas plantares del pie que se ejercen sobre la plantilla del patín.

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

- Obtener los datos de aceleración y fuerzas G en la ejecución de la pirueta derecha atrás exterior.
- Procesar los datos obtenidos en el software IDE de Arduino y transformarlos en valores de presión plantar en psi, fuerzas G y velocidad angular.
- Transmitir en tiempo real los datos procesados mediante el protocolo de comunicación MQTT, y que estos sean comprensibles para el receptor final para su análisis.
- Analizar las posibles zonas de mejora en la plantilla del patinador profesional en entrenamiento, para mejorar su ergonomía y prevenir laceraciones por puntos de presión.

Estado del Arte

Patinaje Artístico en el Mundo

El patinaje artístico en comunidad actual ha despertado el reto de volverlo deporte Olímpico y no solo ser calificado en base a la percepción del juez y lo bonito que pueda llegar a parecer, países como España, Italia, Brasil, Argentina, Chile, Japón, entre otros, son potencias en el deporte que buscan popularizarlo. Actualmente no se registran publicaciones similares en el ámbito, sin embargo, se ha despertado un número considerable de investigaciones referentes a la antropometría de los y las patinadoras así como también estudios de las fuerzas que se ejercen en los elementos del patín en la ejecución de los saltos y probabilidad de falla del chasis de los patines, con el fin de mejorar tanto su ergonomía así como también sus propiedades físicas y así reducir el peso y facilitar la ejecución de los elementos del deporte. (García-Ceberino et al., 2022)

En Ecuador, se encuentran escuelas de patinaje artístico conformadas en su mayoría por ex patinadoras que ahora se encuentran formando a los nuevos talentos en el deporte, tal es el caso de Farah Skating Club, cuya colaboración y aporte en el desempeño de este estudio ha

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

servido de base para documentar por primera vez de una manera tecnológica el desempeño de los y las jóvenes que entrenan el deporte inclusive a partir de los tres años de edad y se encuentran repartidas en las diversas provincias de nuestro territorio, lo que da lugar a que internamente los y las patinadoras se preparen para asistir a los diferentes campeonatos selectivos nacionales, campeonatos interclubes, como se observa en la Figura 1, intercolegiales, interprovinciales y preparatorios para competencias internacionales como son los juegos panamericanos o el mundial de la disciplina.

Figura 1

Campeonato Panamericano de Patinaje Artístico Sobre Ruedas 2022



Nota: Campeonato Panamericano desarrollado en Cancún, Quintana Roo México, donde se encuentra la delegación de Ecuador representada por las deportistas de la escuela FARAH Skating Studio, 2022

Reglamentación Mundial de Patinaje Artístico

Debido a la dificultad para tener una medición exacta de las características técnicas del deporte, el ente regulador mundial de patinaje artístico establece los diferentes parámetros de calificación y certificación de los jueces a nivel mundial para poder evaluar a los patinadores en

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

competencia, sin embargo, el mérito técnico aún se encuentra sujeto a la percepción del ojo de los jueces. Estos califican en base a bonificaciones o penalizaciones que determinan el puntaje final de la pirueta y depende de la postura corporal; puede ser Upright (U), Sit (S), Camel (C), Heel (H), Broken (Br) e Inverted (In); el filo y dirección de giro que pueden ser interior (I) o exterior (O) ; hacia adelante (F) o hacia atrás (B) y finalmente el pie con el que se ejecuta la pirueta que puede ser izquierdo (L) o derecho (R). (Kumar et al., 2021)

Figura 2

Ejecución de la pirueta sit izquierdo: (S)(I)(B)(L)



Nota: Deportista Farah Navas en competencia, mientras ejecuta una pirueta sit izquierda en competencia intercolegial de patinaje artístico. FARAH Skating Studio, 2022

La correcta ejecución de la pirueta y el factor determinante de la dirección y filo de la misma depende en un cien por ciento de la presión que se ejerza con el pie sobre el patín y en qué lugar de la bota se aplica para obtenerla, de manera que sabiendo dónde y que fuerza se aplicó en una pirueta derecha atrás exterior, se podrán determinar las penalizaciones y / o bonificaciones que deben adjudicarse al patinador sin depender de la apreciación personal del juez y de una manera exacta en tiempo real. (Fernández & Escobedo, 2018)

Patinaje Artístico Sobre Hielo

La modalidad de patinaje artístico sobre hielo tiene un mayor desarrollo y estudio relacionado con la ciencia detrás de la ejecución de sus elementos. Se ha desarrollado un

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

dispositivo electrónico de medición inercial (IMU) adaptable al tobillo que en tiempo real mide las fuerzas de giro de las piruetas de un patinador con el fin de asistir de manera técnica en el arbitraje de las competencias de este deporte, con resultados favorables extensibles hasta los entrenamientos debido al uso de algoritmos de aprendizaje automático que garantizan la repetibilidad y la posibilidad de instruir a un deportista novato en base a experiencias reales para mejorar sus falencias. (Kumar et al., 2021)

IoT en la Industria del Deporte

El internet de las cosas IoT en la actualidad, se encuentra en constante desarrollo, esto se debe principalmente al fácil acceso de la población a sensores y monitores estéticamente agradables que pueden ser acoplados a la vestimenta cotidiana de los usuarios y procesados a través de conexión directa con dispositivos de uso diario como una computadora o un teléfono celular. La industria deportiva, se encuentra en la búsqueda constante de mejorar la experiencia del usuario con los productos para la práctica de las diversas disciplinas, puesto que también se relaciona al deporte inteligente, con la salud y prevención de enfermedades. (Zhan, 2021)

En el caso puntual del running, la medición y monitoreo de las fuerzas plantares ejercidas sobre la plantilla del zapato se encuentran estudiadas dando como resultado la asociación de la pisada y la fisonomía plantar del usuario con posibles lesiones de columna baja asociadas (Mann et al., 2016), dejando como precedente la necesidad de estudiar a profundidad dichas fuerzas para obtener un diseño ergonómico de la plantilla que favorezca al corredor.

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

Selección del Módulo IoT

Para la selección del módulo de transmisión de datos, se han tomado en cuenta los diferentes parámetros determinantes de acuerdo a la situación local actual y estos se describen en la tabla 1, donde el mejor puntuado fue el NodeMCU ESP32.

Tabla 1

Parámetros de calificación de módulos de IoT disponibles en el mercado

	Calificación Máxima	Módulos Disponibles		
		ESP32	ESP86	Arduino
Costo	5	4	5	4
Interferencia en la señal	5	3	4	4
Compatibilidad con Arduino IDE	5	5	5	5
Disponibilidad en el mercado local	5	5	4	4
Robustez	5	5	4	5
Módulo Wiifi integrado	5	5	0	0
Peso	5	3	5	4
Total	35	30	27	26

Nota: Se evalúan los principales parámetros según la disponibilidad y necesidades propias de la aplicación, de los módulos de IoT disponibles en el mercado local, siendo el mejor puntuado para la aplicación el módulo ESP32. Fuente: Elaboración Propia 2022.

El módulo ESP32 consiste en un Sistema en Chip (SoC) con WiFi y Bluetooth, utilizado principalmente en aplicaciones de IoT de bajo costo, compatible con el software Arduino IDE para su programación que permite el procesamiento de datos y su transmisión mediante protocolo de comunicación MQTT en tiempo real de los datos obtenidos mediante sensores cuyas entradas pueden ser tanto análogas como digitales. (Babiuch et al., 2019)

Selección del Módulo MPU 9250: Acelerómetro, Giroscopio, Magnetómetro

Considerando al desarrollo tecnológico de bajo costo como primera prioridad en este documento de investigación, se busca determinar la inclinación del patín, las fuerzas G aplicadas y la aceleración del patín utilizando un módulo MPU 9250, el mismo que utiliza una alimentación de 9.3 micro Amperios. Este módulo integra a dos elementos: un giroscopio de 3

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

ejes y un acelerómetro de 3 ejes contenido en un módulo MPU 6500 y un compás de 3 dimensiones, propio del módulo AK 8963. El protocolo de comunicación que utiliza este módulo es el I2C y es compatible con un chip de proceso, que en este caso será el Módulo NodeMCU ESP32 (Komarizadehasl et al., 2020).

Para este estudio puntual, se ha seleccionado el módulo MPU 9250, debido a la disponibilidad local y las circunstancias del mercado, sin embargo, tanto la programación como las aplicaciones de este son las mismas que el MPU 6050.

Bróker: Ubidots para IoT

Existen diversas plataformas de transmisión, observación y procesamiento de datos obtenidos mediante IoT, conocidos como bróker para la selección de la mejor opción de estas se realiza el análisis de entre las tres opciones que han sido manejadas y seleccionadas de acuerdo a la disponibilidad del mercado actual. En la tabla 2, se encuentran los criterios de evaluación de donde se determina que la mejor opción para esta aplicación es Ubidots.

Tabla 2

Parámetros de calificación de bróker de IoT disponibles en el mercado

	Calificación Máxima	Módulos Disponibles		
		Ubidots	Adafruit	Atvise
Capacidad de Exportar Datos	5	4	4	5
Conexión con Telegram	5	5	0	0
Interfaz amigable	5	5	5	3
Conexión por Correo Electrónico	5	5	5	5
Exportar Histórico de Datos	5	4	2	2
Versión Gratuita Completa	5	4	3	3
Total	35	32	24	23

Nota: Se evalúan los principales parámetros según la disponibilidad y al ser un prototipo de pruebas, se prioriza que la versión gratuita del bróker permita el acceso y exportación de un histórico de datos a hojas de cálculo para su procesamiento. Fuente: Elaboración Propia 2022.

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

Ubidots se trata de una aplicación para creación de dashboards basadas en la experiencia del usuario, que puede ser controlado por canvas HTML para recibir y enviar señales en tiempo real desde y hacia sensores conectados entre sí aprovechando la tecnología IoT, que utiliza una calculadora estadística para transformar simples datos obtenidos por el sensor en data descriptiva y amigable con el receptor final. (Thirrunavukkarasu et al., 2021)

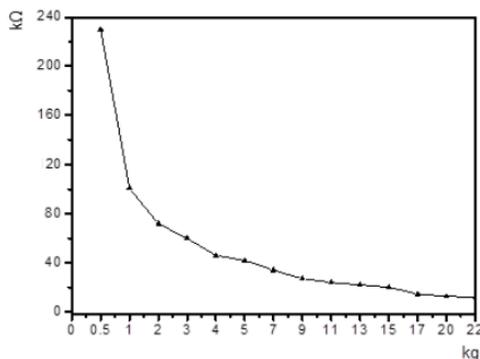
Sensor Resistivo de Fuerza DF9-40

El sensor de fuerza utilizado para el desarrollo de este experimento consiste en un elemento de delgado, conformado por una película de materiales nanométricos que cambian su resistencia de acuerdo con la presión que se les aplican. El rango de fuerza a la que trabajan oscila entre 0 a 20kg a un voltaje de 3.3 VDC.

La curva de comportamiento del sensor resistivo indicada en la figura 3, representa la variación de la presión aplicada al sensor de fuerza (Silva-Troya, 2021) claramente se interpreta que a mayor presión ejercida sobre el sensor, menor será la resistencia que entregue el sensor al dispositivo de medición, pudiendo de esta manera establecer los valores de presión ejercida en la plantilla mediante una ecuación de división de voltaje.

Figura 3

Curva de Funcionamiento del Sensor



Nota: El sensor alcanza una medición puntual de hasta 20 kg de fuerza según su ubicación

Fuente: DataSheet sensor DF9-40@20kg, 2022

Capítulo II

Metodología

La metodología utilizada en la presente investigación es cuantitativa, los datos fueron extraídos mediante el uso de un dispositivo de medición inercial (IMU) de modelo MPU 9250, combinado con un sensor resistivo de fuerza (DF9-40) es factible identificar la cinemática de la ejecución de una de las piruetas básicas del deporte y las fuerzas aplicadas sobre el patín durante la misma. A su vez la data recolectada se trasmite en tiempo real mediante el protocolo de comunicación MQTT, a una interfaz (Dashboard Ubidots), que permite observar de manera amigable que es lo que físicamente está sucediendo.

Al determinar un rango característico de fuerzas aplicadas en el punto de presión crítico del pie sobre el patín, en el momento de la ejecución de la pirueta: derecha atrás exterior se establece la necesidad de un estudio futuro para mejorar ergonómicamente el diseño de la plantilla del patinador.

El dispositivo capaz de realizar la medición está diseñado para priorizar su bajo costo, que sea compacto y no interfiera ni en la ergonomía del patinador, así como tampoco en la aerodinámica del patín y de peso ligero. La programación del dispositivo se la realiza a través del Arduino® IDE.

La data característica se obtiene mediante la medición de pirueta ejecutada por una patinadora adulta de la categoría principiante y se la compara con los rangos establecidos previamente en el estudio realizado a la misma pirueta, pero en la disciplina de patinaje sobre hielo por (Kumar et al., 2021)

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

La fuerza ejercida por el pie del patinador, en el punto crítico para realizar el movimiento, se compara con la data obtenida de los estudios previos, de diseño de zapatos de corredores para establecer la factibilidad de estudiar más a fondo una mejora en la plantilla del patín haciendo referencia a los puntos de presión del pie del patinador para mejorar su confort y obtener los beneficios ergonómicos que esto conlleva.

Arquitectura de Hardware

Elaboración del dispositivo

Los tres sensores de medición de fuerza DF9-40 a ser aplicados en la plantilla del patín en este estudio, de 22kg de capacidad máxima, se disponen en el punto crítico de presión de la ejecución de la pirueta derecha a ser analizada, para la selección de dichos sensores se utiliza como referencia el estudio de la distribución de fuerzas en el pie al caminar, elaborado en la Universidad Técnica del Norte (Pilamunga-Cepeda, 2022).

Figura 4

Distribución Física de Sensores de Fuerza en la Plantilla



Nota: Estudios previos en cuanto a presión plantar indican que el apoyo de la cabeza del quinto metatarsiano, es un punto de presión crítica del pie, razón por la que se ubican los sensores en ese punto para análisis de fuerzas. Fuente: Elaboración Propia, 2022

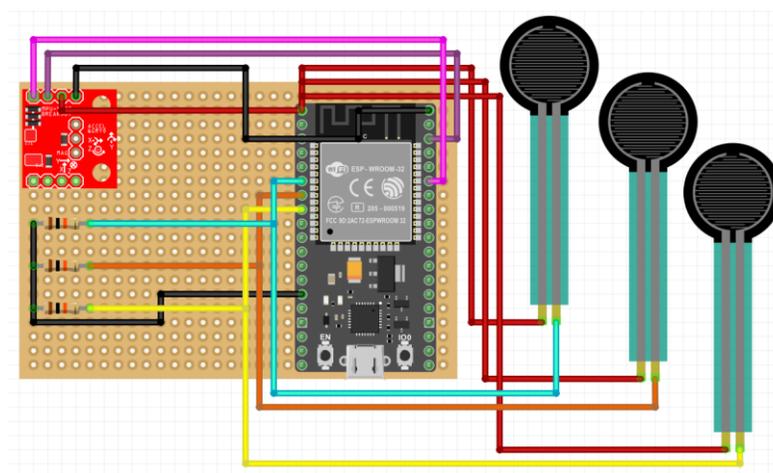
Los DF9-40, mediante una configuración de divisor de tensión con una resistencia de 10K Ω , se conectan en los pines analógicos 35, 32 y 33 del módulo ESP32 de 38 pines. El IMU, por su parte se conecta a los pines digitales 21(SDA) y 22(SCL) del módulo ESP32 para

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

transmitir los datos del acelerómetro, giroscopio y magnetómetro a ser procesados durante la pirueta, el dispositivo está previsto ser alimentado por una batería tipo lipo de 3.7V, mientras se ejecuta la medición de dichos valores. La conexión usada en el diseño del sensor se la puede observar en la figura 5.

Figura 5

Esquemático de Conexión del Dispositivo de Medición de Fuerzas



Nota: El esquemático adjunto muestra la conexión real entre el módulo IoT, el módulo IMU y los sensores de fuerza en configuración de divisor de voltaje para el diseño del dispositivo. Fuente: Elaboración propia, 2022. Software: Fritzing

Ubicación del dispositivo en el patín

Uno de los objetivos principales de diseño del dispositivo en este estudio es no alterar la aerodinámica del patín, así como tampoco el confort del patinador mientras ejecuta la pirueta, es por esta razón que se ha dispuesto ubicarlo en el exterior del patín adaptado a un accesorio cobertor de la bota que presenta un bolsillo en el cual se sostendrá en la posición configurada al momento de la programación. Es muy común observar al patinador usando como un accesorio que no afecta a la aerodinámica o peso del patín, como se observa en la figura 6, al cubre patín que es un elemento estético y de protección fabricado generalmente en tela,

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

típicamente utilizado en la protección contra raspaduras de la bota por fricción con el piso, mientras se ejecutan las diferentes piruetas y saltos.

Figura 6

Dispositivo de Medición Colocado en el Patín



Nota: El cubre patín tal como es mostrado, no involucra penalizaciones o alteraciones en la naturaleza del ejercicio y puede ser decorado a gusto del usuario. Fuente: Elaboración Propia, 2022

Procesamiento de Datos

Sensor de Fuerza

Para procesar los datos se ha programado al sensor como una resistencia variable aplicada a un divisor de tensión cuya fórmula matemática corresponde a:

$$V_{sensor} = \frac{3.3V * R_2}{(R_1 + R_2)}$$

Donde:

- R_1 = Resistencia Variable del Sensor
- R_2 = Resistencia de $10K\Omega$
- $3.3V$ = Voltaje de Alimentación al Sensor

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

Entendiendo que los valores de resistencia, de acuerdo a la ficha técnica del sensor, varían entre 20K Ω y 240K Ω , el voltaje de salida deberá fluctuar entre: 1.1V y 0.132V, respectivamente.

La transformación de los voltajes recibidos por el sensor se los realizará de acuerdo a la Figura 6, que representa la curva de acondicionamiento del circuito del fabricante del sensor, de la cual obtenemos los datos según lo mostrado en la Tabla 3.

Tabla 3

Acondicionamiento Voltaje - Masa. Sensor DF9-40

VOLTAJE (mV)	MASA (KG)
880.00	1.15
920.00	1.26
1020.00	1.39
1070.00	1.43
1130.00	1.51
1410.00	1.73
1510.00	1.91
1810.00	2.16
2210.00	3.01
2800.00	8.96
3300.00	20.00

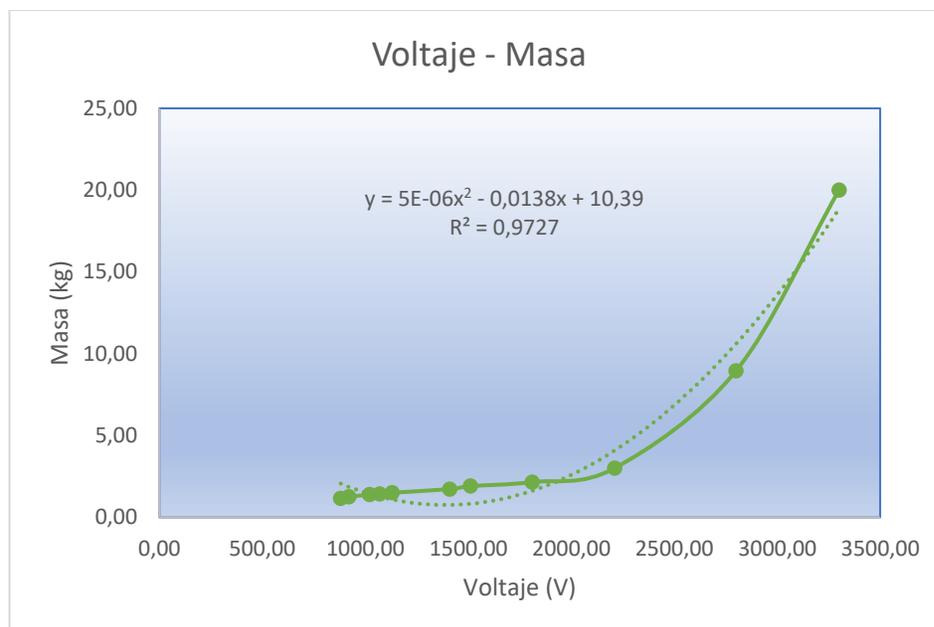
Nota: El voltaje obtenido es directamente proporcional a la masa aplicada sobre el sensor.

Fuente: Elaboración Propia, 2022

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

Figura 7

Linealización de Valores de Voltaje - Masa. Sensor DF9-40



Nota: Los datos obtenidos se resumen en la ecuación de linealización con un valor de R^2 cercano a uno, lo que indica una buena predicción de datos ajustados a la ecuación mostrada.

Fuente: Elaboración Propia, 2022

Para analizar la presión aplicada en la plantilla del patín debemos considerar dos factores: la gravedad en el lugar de análisis, Quito-Ecuador: $9,78 \frac{m}{s^2}$, y el área de los sensores utilizados que en este caso es: $44,18 \text{ mm}^2$.

Se calcula la fuerza aplicada por el pie mediante la ecuación de la segunda ley de Newton y se la transforma a presión basados en el principio de Pascal, cuyas ecuaciones se describen a continuación:

$$F = m * g [N]$$

$$P = \frac{F}{A} [KPa]$$

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

Y en consecuencia se obtienen los valores de voltaje de entrada representados en presión en la Tabla 4, para efectos de estudio, se incluyen además los valores de presión en unidades del sistema anglosajón.

Tabla 4

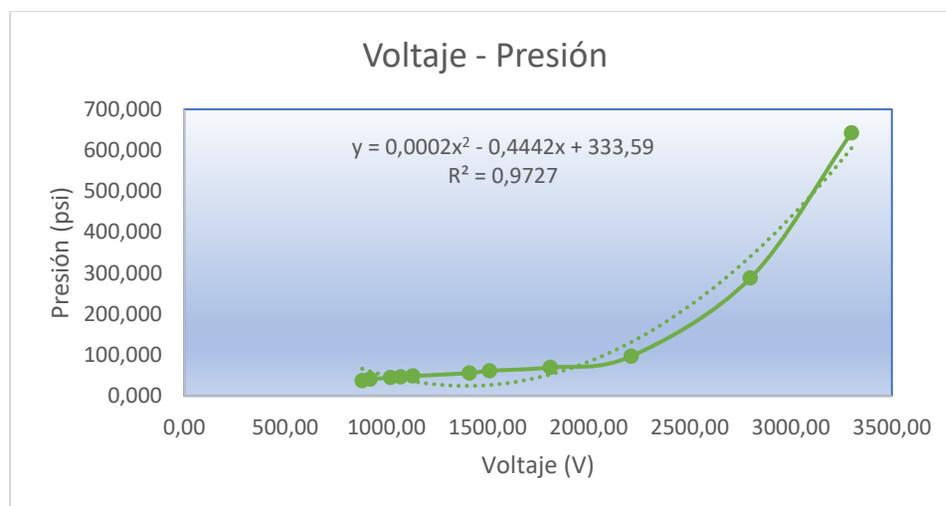
Valores de Voltaje - Presión Aplicada

VOLTAJE (mV)	Presión (KPa)	Presión (psi)
880.00	254.572	36.923
920.00	278.923	40.454
1020.00	307.700	44.628
1070.00	316.555	45.913
1130.00	334.264	48.481
1410.00	382.965	55.544
1510.00	422.811	61.324
1810.00	478.153	69.350
2210.00	666.315	96.641
2800.00	1983.450	287.676
3300.00	4427.343	642.133

Fuente: Elaboración Propia, 2022

Figura 8

Linealización de Valores de Voltaje - Presión. Sensor DF9-40



DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

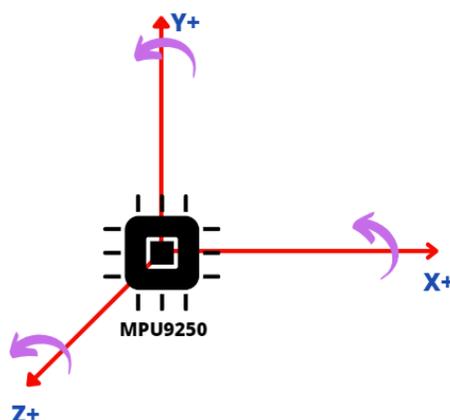
Nota: Los datos obtenidos se resumen en la ecuación de linealización con un valor de R^2 cercano a uno, lo que indica una buena predicción de datos ajustados a la ecuación mostrada.

Fuente: Elaboración Propia, 2022

MPU 9250

Figura 9

Orientación del Sensor en la Aplicación



Nota: La posición del sensor y por ende sus valores iniciales son la base del diseño y determinación de la posición del IMU, por tanto, es importante conocer su posición inicial para entender el funcionamiento del módulo en análisis. Fuente: Elaboración propia, 2022

El monitoreo del IMU consiste en determinar la posición del pie durante la ejecución de la pirueta para lo cual, el primer paso consiste en la calibración del sensor tomado en cuenta los valores iniciales leídos al inicio de la ejecución de la pirueta y la capacidad de lectura del sensor. Los valores a esperarse mostrados por el sensor se encuentran descritos en la tabla 5 del presente documento.

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

Tabla 5**Lectura de Valores Sensor MPU 9250**

Variable	Valor Mín.	Valor Central	Valor Máx.
Lectura MPU 9250	-32768	0	32768
Aceleración	-2g	0g	2g
Velocidad Angular	-250 °/s	0 °/s	250 °/s

Nota: Los valores iniciales de lectura en condiciones iniciales deben ser iguales o cercanos en +-5% a los mostrados en esta tabla para garantizar la calibración del sensor. Fuente: Data Sheet MPU 9250. Elaboración propia, 2022

Para la calibración del sensor, se determinan los valores típicos de aceleración en fuerzas g de cada eje y los valores de velocidad angular inicial en los 3 ejes en la posición de análisis dentro de este estudio, como se muestran en la tabla 6.

Tabla 6**Valores Iniciales MPU 9250**

	X	Y	Z
ACELEROMETRO	0	-1	0
GIROSCOPIO	1	0	1

Nota: Los valores iniciales de lectura en condiciones de operación deben ser iguales o cercanos en +-5% a los mostrados en esta tabla para garantizar la calibración del sensor.

Fuente: Elaboración propia, valores de programación de Arduino, 2022

Podemos corroborar la correcta calibración del sensor gracias a que, los valores de aceleración en fuerzas G representan 0 en z y x cuando el sensor no se encuentra en movimiento y -1 en y, que representa el valor de 1G, en el sentido de y negativo que representa la aceleración de la gravedad.

Los rangos de funcionamiento del sensor, de la Tabla 5, en conjunto con las leyes de la física transforman a los valores leídos a valores interpretables por el usuario.

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

Acelerómetro:

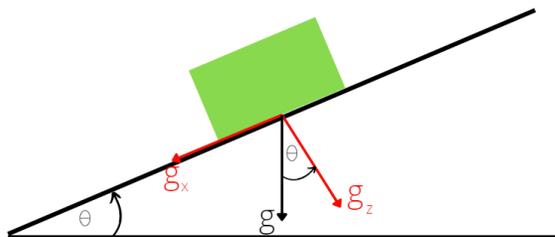
$$a_{eje} = Valor_{leído} * \frac{g}{16384}$$

Giroscopio:

$$g_{eje} = Valor_{leído} * \frac{250}{32768}$$

Figura 10

Ángulo de Inclinación MPU 9250 en 3D



Nota: El ángulo mostrado en la figura es el indicador de posición del patín durante la ejecución de la pirueta. Fuente: Elaboración Propia, 2022

Aplicando las leyes de la trigonometría y los valores obtenidos por aceleración, se determinan los ángulos de inclinación del sensor en un espacio de tres dimensiones que se reflejan en:

$$\theta_x = \left(\frac{a_x}{\sqrt{a_y^2 + a_z^2}} \right)$$

$$\theta_y = \left(\frac{a_y}{\sqrt{a_x^2 + a_z^2}} \right)$$

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

Para el cálculo del ángulo de rotación del sensor sobre su propio eje en cambio se utilizan las variables de posición anterior, así como también la velocidad angular perpendicular al plano de rotación:

$$\theta_x = \theta_{x0} + \omega_x \Delta t ; \theta_y = \theta_{y0} + \omega_y \Delta t$$

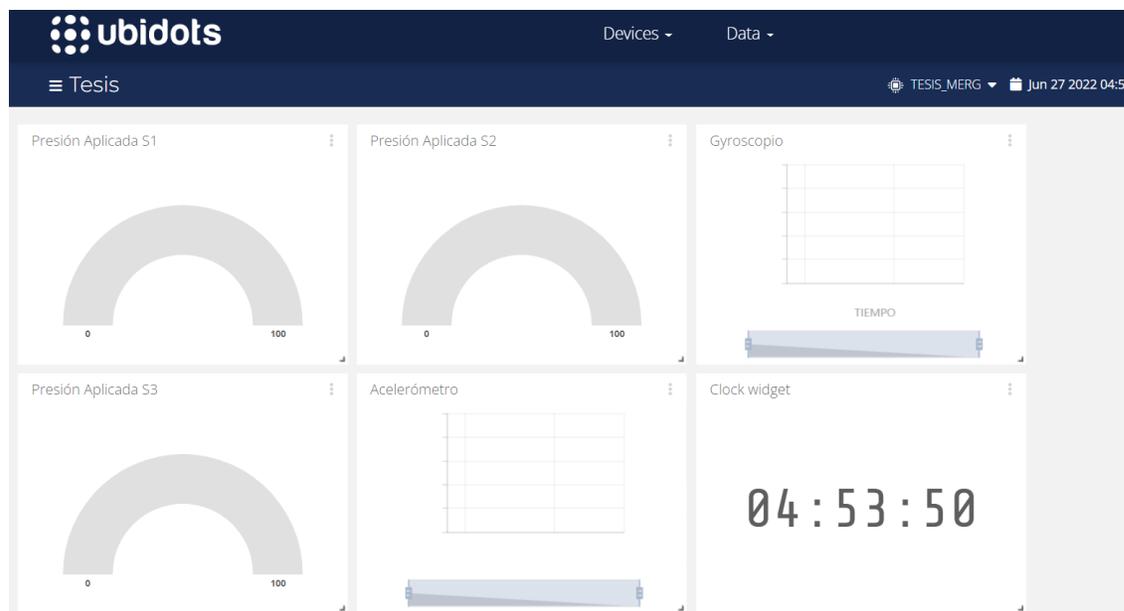
Los datos en programación se calculan cada cien milisegundos y se muestran en una gráfica en tiempo real en la interfaz de Ubidots.

Transmisión de Datos

La señal censada se transmite a través de Wifi a la plataforma Ubidots, la cual muestra en tiempo real la presión que se ejerce a lo largo de la ejecución de la pirueta de manera legible y amigable, como se observa en la figura 11, así como también la caracterización de las medidas cinemáticas inerciales obtenidas en tiempo real.

Figura 11

Interfaz Ubidots



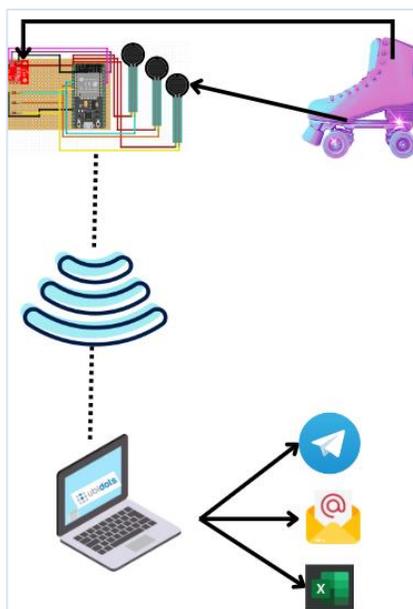
Nota: Diseño preliminar de la interfaz final a ser mostrada. Fuente: Elaboración Propia, 2022

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

Adicionalmente, el bróker seleccionado para la transmisión de datos permite el envío de información a través de plataformas como correo electrónico, Telegram o la extracción de estos a una hoja de cálculo para su almacenamiento o comparación posterior.

Figura 12

Arquitectura de hardware



Nota: Los sensores IMU y de presión se ubican físicamente en el patín, los datos obtenidos por el sensor se procesan en el dispositivo de medición de fuerzas y se transmiten por Wifi hasta la plataforma de Ubidots en donde pueden ser observados, extraídos o enviados según las diferentes opciones que se ofrecen. Fuente: Elaboración Propia.

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

Capítulo III

Resultados

Figura 13

Presentación de Resultados

Fuente: Ubidots Dashboard, 2022

Se observa el rango de fuerzas aplicadas en cada sensor durante la ejecución de pirueta.

La curva característica de la presión varía de acuerdo con la línea de tiempo en la que se desempeña el giro, siendo el punto más crítico de presión el punto de inicio para vencer la fricción que se ejerce entre las ruedas y la pista para terminar con valores de presión menores al terminarla, en la tabla 7 se observa este comportamiento:

Tabla 7

Valores Sensados de Fuerzas Plantares

Línea de tiempo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sensor 1 (psi)	310.00	318.76	317.69	317.23	315.43	312.94	312.56	308.76	305.78	299.97
Sensor 2 (psi)	230.70	310.00	287.00	290.50	278.45	267.34	266.79	261.90	229.07	220.81
Sensor 3 (psi)	295.00	358.52	341.23	350.12	334.56	330.91	312.00	321.67	307.65	290.12

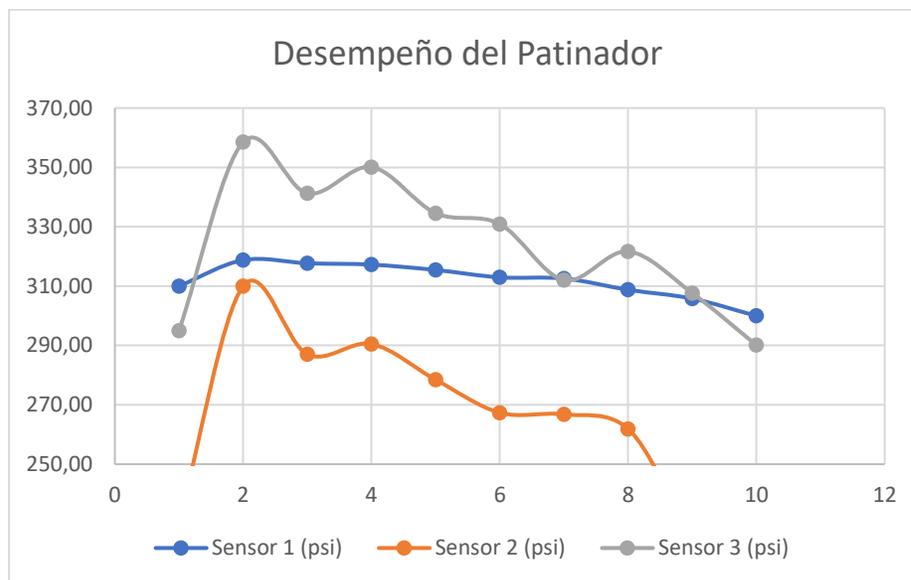
Fuente: Elaboración Propia, 2022

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

La data obtenida durante la ejecución de la pirueta en sus diferentes mediciones se la puede observar en la Figura 16. Se determina a la curva con mayores valores de presión en el sensor 3 que se encuentra bajo el cuarto dedo del pie derecho en la parte más externa de la plantilla, sin embargo, no dejan de ser considerables los valores de los sensores adyacentes, siendo el ubicado justo debajo del dedo el de menor presión. Otro dato relevante que se pudo observar es que existe una presión relativamente constante en el sensor número 2 tanto a la entrada y ejecución como a la salida de la pirueta.

Figura 14

Comparación de Presión Aplicada a los Sensores



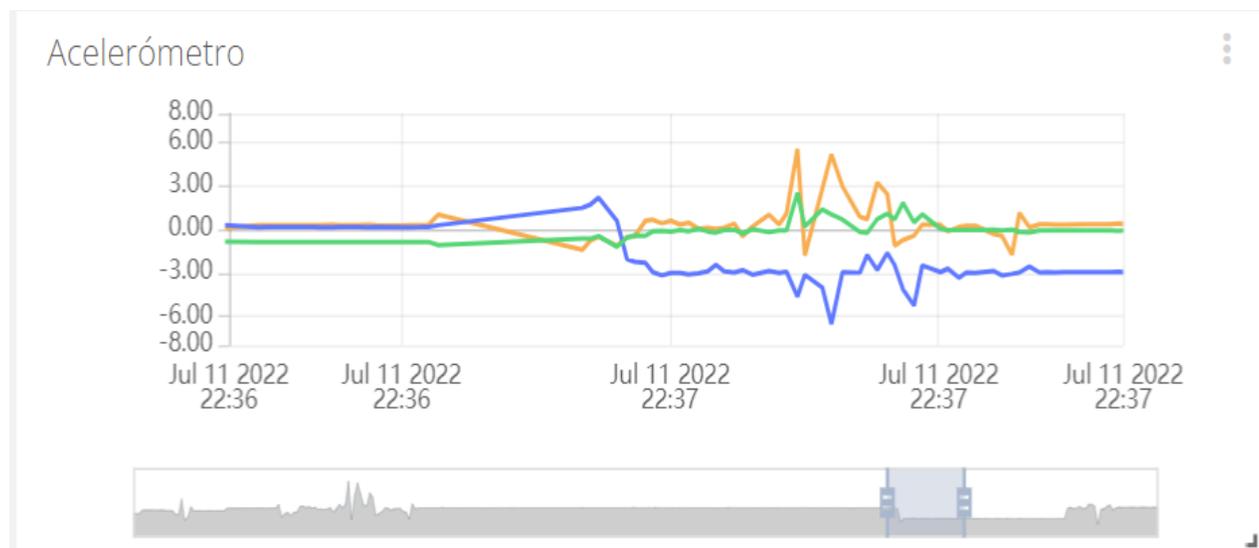
Fuente: Elaboración propia, 2022

Los datos de movimientos inerciales en el sensor MPU 9250 representan a la variación de la aceleración y velocidades angulares del dispositivo colocado en la bota del patinador muestran el comportamiento característico de las fuerzas durante la ejecución de la pirueta.

Es importante recalcar que los valores que se obtienen son cíclicos con picos y valles tanto en el caso de la aceleración como de la velocidad angular en el eje y, ay y gy

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

respectivamente, representan un giro completo de la bota cada uno, de esta manera se puede representar el comportamiento y cantidad de giros realizados por el patinador en la pirueta.

Figura 15**Datos de Acelerómetro Resultantes**

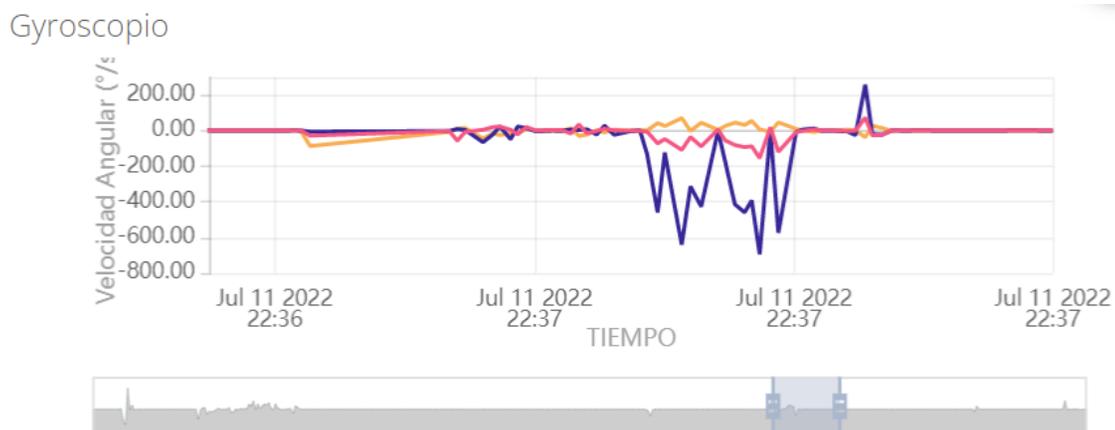
Fuente: Ubidots Dashboard, 2022

Los valores del sensor en el eje de las y son los que gobiernan el movimiento ya que son los que están afectados por la gravedad directamente. La data fuera de los rangos negativos tanto en aceleración como en velocidad angular indican un cambio en la posición natural de la pirueta es decir que se generó un cambio de presión en la misma o se levantó el pie del piso en su defecto.

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

Figura 16

Datos de Giroscopio Resultantes



Los valores inerciales, promedio de las mediciones realizadas y característicos de la pirueta derecha atrás exterior en fuerzas inerciales obtenidos se muestran en la tabla 8. En base a la trigonometría mostrada en la figura 15 del presente estudio, se muestran los ángulos de posición del pie durante la ejecución de la pirueta.

Tabla 8

Resultados de Valores Inerciales de Cinco Mediciones

	1			2			3			4			5		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
ACELEROMETRO	1.01	-2.89	-0.2	5.55	-4.65	2.51	-1.81	-3.14	0.19	5.18	-6.54	1.03	0.87	-3	-0.18
GIROSCOPIO	3.78	0.31	-2.26	42.24	-459.17	-72.27	25.15	-123.78	-47.67	70.62	-640.56	-108.4	-2.38	-313.54	-36.13
ANGULOS DE ROTACIÓN	-19.22	-70.39		-46.41	-37.36		29.92	-59.9		-38.04	-51.08		-16.14	-73.5	

Fuente: Elaboración propia, 2022

Capítulo IV

Discusión

Los datos entregados al bróker corresponden a los valores de fuerzas inerciales obtenidos cada 10 milisegundos por el dispositivo de medición, estos datos se transformaron en valores de aceleración calculados en fuerzas G y velocidad angular en grados sobre segundos, cabe recalcar que estos datos son de primera mano (RAW) y están sujetos a ruido posiblemente generado por el movimiento y la vibración característica del patín durante la ejecución de las rutinas.

El módulo MPU9250 está en la capacidad de transmitir la geo posición del patín a lo largo del tiempo de ejecución de la pirueta, a manera de brújula determinando exactamente la posición del patín respecto a las fuerzas de atracción que ejerce la Tierra, por tal motivo, la selección de este IMU hace que sea posible una mejora en el diseño del dispositivo y la posterior obtención de los requerimientos que surgieron a lo largo del desarrollo de este estudio.

A través de los valores característicos que entrega el IMU y considerando la naturaleza del ejercicio y la posición referencial del sensor, se determinó que el dispositivo es capaz de mostrar que se realiza una correcta ejecución de la pirueta cuando se presentan valores negativos del eje y en el giroscopio, esto quiere decir que la velocidad angular que se presenta se está ejecutando con el patín pegado al piso. Cualquier valor positivo en este indicador de medición muestra un salto dentro de la pirueta que se puede traducir por los jueces como un valor penalizable para el patinador. Este hallazgo es un indicador de que la arquitectura, selección y diseño del dispositivo es correcta, de bajo costo y cumple con los objetivos iniciales planteados.

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

La comparación de los patrones inerciales obtenidos en ruedas versus la misma ejecución de la pirueta en hielo refleja una variación significativa tanto en aceleración angular como en fuerzas G ejercidas por el pie, esto se debe principalmente a la distribución de las fuerzas sobre la cuchilla contrastada con los cuatro puntos de apoyo que se presentan en las ruedas del patín, así como también a la diferencia en la fricción hielo/piso. Además, existe una diferencia de medición entre la colocación del sensor sobre el tobillo del patinador (Kumar et al., 2021) versus su ubicación sobre el patín como en este estudio ya que el movimiento de la bota podría resultar imperceptible ante el sensor ubicado directamente en el tobillo por la naturaleza de la articulación.

El uso del módulo NODEMCU ESP32 entregó resultados confiables en concordancia con los parámetros de selección del mismo, sin embargo, para resistir la exigencia física del módulo durante la ejecución del deporte y considerando que en competencia podría estar sujeto a golpes y vibración excesiva por la naturaleza misma de las rutinas, se debe considerar el implementar un aislante de golpes para el dispositivo, viéndose afectado el peso de la bota y la posible necesidad de aumentar una antena adicional para transmitir y mejorar las señales enviadas.

Los valores de presión obtenidos mediante los sensores, si bien es cierto no representan una variación significativa, siempre deben mantenerse oscilantes e indicar valores numéricos ya que por la posición donde se encuentran ubicados, siempre presentan una presión propia del peso del patinador ejercida sobre el pie.

Se obtienen valores de presión oscilantes entre los 280 y 350 psi equivalentes a entre 670 y 2000 KPa durante la ejecución de la pirueta. El tiempo de ejecución de la pirueta en promedio es de 15 a 25 segundos, lo que quiere decir que las presiones plantares críticas se ejercen durante tiempos prolongados en la zona del ante pie si se comparan con los 2 a 3 segundos de apoyo al caminar o correr y la conclusión obtenida en estudios similares de que

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

valores superiores a los 600KPa causan lesiones tipo ampollas, úlceras y/o molestias como dolor e incomodidad en los humanos de prueba (Weerasinghe et al., 2017), se determina que el patinaje artístico necesariamente debe considerar el diseño a detalle las plantillas para evitar lesiones en los deportistas.

Todos los valores de presión obtenidos en este estudio están sujetos a cambio en magnitud dependiente del peso del patinador analizado, sin embargo, para la calibración de los sensores fueron utilizados valores de fuerza estándar que entregan la curva de presión ejercida sobre el patín a lo largo de la ejecución de la pirueta.

La ubicación de los sensores permite determinar un punto de presión constante en la ejecución de la pirueta y los sensores de la capacidad seleccionada a bajo costo como se había determinado en un inicio entrega la pauta al diseñador para entender al dispositivo como un prototipo inicial factible para determinar los parámetros planteados al inicio de este documento.

Capítulo V

Conclusiones

Se diseñó un dispositivo de bajo costo para la obtención de datos de sensores de presión e IMU, capaz de transmitir mediante IoT dichos valores al software IDE de Arduino para ser procesados y transformados en valores de presión y aceleraciones fáciles de interpretar al usuario final.

Se logró determinar patrones característicos de movimiento en la pirueta derecha atrás exterior que sirven de guía para el arbitraje y calificación del patinador a diferente escala de profesionalismo.

Se identificó ambigüedades en la ejecución del elemento pirueta derecha atrás exterior tanto de aceleración (fuerzas G) como velocidad angular cuando los ejes y y x respectivamente indican valores positivos. La característica de este salto en la data se debe principalmente al apoyo y levantamiento del pie durante la rutina de giro, este dato podrá asistir a los jueces en la toma de decisiones para la penalización y calificación objetiva del deportista en competencia.

Se observó valores promedio de presión crítica en la zona del quinto metatarsiano durante toda la ejecución de la pirueta justificando así el posterior estudio de diseño de una plantilla para el patinador de manera que se reduzca al mínimo la posibilidad de incomodidad y/o lesión del patinador en todos sus niveles, tanto en entrenamiento como en competencia.

Se concluye que una correcta ejecución de la pirueta derecha mantiene valores constantes de presión en la zona del metatarsiano durante toda la pirueta.

Se concluye que este estudio da la pauta para la identificación de la posición en tiempo real del patín. Una investigación complementaria podría claramente identificar a naturaleza de

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

la pirueta que se está realizando, sea esta: exterior, interior, broken, atrás o adelante según la preparación y excelencia del ejecutor.

Recomendaciones

Se recomienda continuar el estudio de las presiones plantares en el patinador durante la ejecución de los elementos artísticos a fin de mejorar la ergonomía del pie, evitar posibles lesiones y cansancio en tiempos de entrenamiento y competencia para mejorar el performance del deportista.

Se recomienda adicionalmente, estudiar a fondo el uso de los sensores IMU para caracterizar al patinador desde sus inicios a fin de obtener valores reales y determinantes de las piruetas que este ejecuta.

Un patinador en cada nivel de formación tendrá sus propios valores característicos de fuerzas durante la ejecución de los elementos artísticos del deporte, sin embargo, las variaciones mantendrán sus características a diferentes escalas de experiencia, una recomendación importante consiste en caracterizar cada elemento respecto a los diferentes niveles de ejecución de los mismos para tener datos comparables entre sí y elaborar una base de datos de asistencia arbitral para competencias del deporte a todo nivel.

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

Bibliografía

- Babiuch, M., Foltýnek, P., & Smutný, P. (2019). Using the ESP32 Microcontroller for Data Processing. *2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC)*, 1–6.
<https://doi.org/10.1109/CarpathianCC.2019.8765944>
- Fernández, C. A., & Escobedo, B. P. (2018). *Estudio antropométrico del Patinaje Artístico sobre ruedas en la modalidad de libre en niñas canarias de 5-15 años.*
- García-Ceberino, J. M., Feu, S., Gamero, M. G., & Villafaina, S. (2022). Creativity in Recreational Figure Roller-Skating: A Pilot Study on the Psychological Benefits in School-Age Girls. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(18), 11407.
- Hosseini Varde'i, C., & Izzo, R. E. (2018). *Quality study of some technical elements in artistic roller skating with use of new generation technologies Sport research with advanced technology View project Validation of new technology device for Sport scientific evaluation: K-50 with Sensor Fusion firmware View project.* <https://www.researchgate.net/publication/323773368>
- Komarizadehasl, S., Mobaraki, B., Lozano-Galant, J. A., & Turmo, J. (2020). Evaluation of low-cost angular measuring sensors. *Proceedings of the International Conference of Recent Trends in Geotechnical and Geo-Environmental Engineering and Education, RTCEE/RTGEE, Brisbane, Australia*, 23–25.
- Kumar, K. v, Abraham, A., & Elias, S. (2021). Quantitative Analysis of Athlete Performance in Artistic Skating using IMU, and Machine Learning Algorithms. *Design Engineering (Toronto), 2021*, 11236–11252.
- Mann, R., Malisoux, L., Urhausen, A., Meijer, K., & Theisen, D. (2016). Plantar pressure measurements and running-related injury: A systematic review of methods and possible

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

associations. In *Gait and Posture* (Vol. 47, pp. 1–9). Elsevier B.V.

<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.03.016>

Mendes, A. A. M. T., Silva, H. J. de A., Costa, A. R. A., Pinheiro, Y. T., Lins, C. A. de A., & de Souza, M. C. (2020). Main types of insoles described in the literature and their applicability for musculoskeletal disorders of the lower limbs: A systematic review of clinical studies. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 24(4), 29–36.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2020.06.001>

Pilamunga-Cepeda, C. W. (2022). *Interfaz de recolección de datos mediante bluetooth de presiones plantares en la caminata*. Universidad Tecnica del Norte.

Ramirez-Bautista, J. A., Huerta-Ruelas, J. A., Chaparro-Cárdenas, S. L., & Hernández-Zavala, A. (2017). A Review in Detection and Monitoring Gait Disorders Using In-Shoe Plantar Measurement Systems. In *IEEE Reviews in Biomedical Engineering* (Vol. 10, pp. 299–309). Institute of Electrical and Electronics Engineers. <https://doi.org/10.1109/RBME.2017.2747402>

Silva-Troya, D. A. (2021). *Caracterizar la vida útil de sensores de presión utilizados en plantillas baropodométricas*. [UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE].

<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11602>

Thirrunavukkarasu, R. R., Kumar, S. M., Praveen, P., Devi, T. M., Pradeep, S., & Prabu, S. G. (2021). Customization In Home Automation Using IoT. *2021 7th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)*, 1, 1062–1067.

<https://doi.org/10.1109/ICACCS51430.2021.9441979>

Torres, J. M. F. (2020). EL VAR: implantación, análisis y repercusión, en el fútbol profesional, amateur, y base/cantera. *Revista Aranzadi de Derecho de Deporte y Entretenimiento*, 67, 8.

DETERMINACIÓN DE FUERZAS EN PATINAJE ARTÍSTICO

Weerasinghe, T. W., Goonetilleke, R. S., & Reischl, U. (2017). Pressure thresholds and stiffness on the plantar surface of the human foot. *Ergonomics*, *60*(7), 985–996.

<https://doi.org/10.1080/00140139.2016.1229042>

Zhan, K. (2021). Sports and health big data system based on 5G network and Internet of Things system. *Microprocessors and Microsystems*, *80*, 103363.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103363>