

Diciembre 2021  
Facultad de Ingeniería - UNMDP

# **SMART-SHIELD**

Escudo Inteligente

**Alumno: Martín Igartúa**

Directora: Melisa Kuzman

Co-Director: Juan Manuel López



RINFI se desarrolla en forma conjunta entre el INTEMA y la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-  
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Diciembre 2021  
Facultad de Ingeniería - UNMDP

# **SMART-SHIELD**

Escudo Inteligente

**Alumno: Martín Igartúa**

Directora: Melisa Kuzman

Co-Director: Juan Manuel López

# Prólogo

“Lo que no se define, no se puede medir;

lo que no se mide, no se puede mejorar;

lo que no se mejora, se degrada siempre”.

“Medir es saber”.

Lord Kelvin (1824-1907)

# Agradecimientos

En principio, poner en el más alto de los valores a la universidad pública de nuestro país y la facultad de ingeniería de nuestra ciudad, continuemos construyendo puentes hacia el conocimiento.

A Melisa y Juan, ayer compañeros de clase, hoy directores de este proyecto y por siempre amigos para disfrutar la vida.

A mi viejo Martín, por su incansable ingenio y ganas de emprender, por darme herramientas para la vida y sobre todo por su amor incondicional.

A mi tío Marcelo, por sus consejos, por esas charlas interminables para cambiar el mundo y por achicar distancias para estar muy cerca.

A mi instructor Víctor, por enseñarme a defenderme dentro y fuera del Dojan, por su ejemplo y por transmitirme la esencia del Taekwon-Do.

A Rocío, Julia, Andrés, Guido, Joaquín, Santiago, Germán y Federico; por recompensarme con su valiosa amistad.

A mi compañera de la vida, Meli. Que con mucho amor, cedió incontables horas de nuestro tiempo para que la realización de este proyecto sea posible.

# Indice

<b>Prólogo</b>	<b>ii</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>iii</b>
<b>1 Planteo del Problema</b>	<b>1</b>
1.1 Justificación . . . . .	3
1.2 Objetivos . . . . .	8
1.3 Organización del Proyecto . . . . .	9
<b>2 Tecnología Existente</b>	<b>10</b>
2.1 Indicador de Poder . . . . .	10
2.2 Mercado Actual . . . . .	10
2.2.1 Punch Lab . . . . .	11
2.2.2 Hykso: Punch Trackers . . . . .	12
2.2.3 Punch Sensor . . . . .	13
2.2.4 Boxer . . . . .	14
2.2.5 Power Kube . . . . .	15
<b>3 Diseño</b>	<b>16</b>
3.1 Prototipo . . . . .	16
3.2 Transductores de Fuerza . . . . .	17
3.2.1 Sensor FSR FlexiForce . . . . .	19
3.2.2 Integración Mecánica . . . . .	21
3.3 Firmware . . . . .	24
3.4 Código Android . . . . .	27
3.5 Plaqueta de Circuito Impreso . . . . .	28

<b>4</b>	<b>Tecnología</b>	<b>32</b>
4.1	Circuito Acondicionador . . . . .	32
4.1.1	Amplificación . . . . .	33
4.1.2	Filtrado . . . . .	34
4.1.3	Convertidor de Tensión . . . . .	36
4.1.4	Regulador de Tensión . . . . .	36
4.2	Adquisición y Procesamiento . . . . .	38
4.3	Comunicación . . . . .	39
4.4	Alimentación . . . . .	40
4.5	Sensor de Temperatura . . . . .	40
<b>5</b>	<b>Experimentos</b>	<b>42</b>
5.1	Depuración Inalámbrica . . . . .	42
5.2	Ensayos Destructivos . . . . .	44
5.2.1	Esfuerzo Mécanico . . . . .	44
5.2.2	Péndulo de Charpy . . . . .	48
5.2.3	Aspectos Principales . . . . .	50
5.2.4	Empírica . . . . .	51
5.3	Calibración . . . . .	57
5.4	Variación de Temperatura . . . . .	59
5.5	Pruebas de Campo . . . . .	61
<b>6</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>63</b>
6.1	Resultados . . . . .	63
6.2	Propuestas de Mejora . . . . .	69
<b>7</b>	<b>Apéndice</b>	<b>70</b>
7.1	Principio Piezoeléctrico Vs. Extensométrico . . . . .	70
7.2	FlexiForce A401 . . . . .	72
7.3	Gral. Choi Hong Hi . . . . .	73
7.4	Harold "Doc" Eugene Edgerton . . . . .	74
7.5	Marc S. Miller . . . . .	75
7.6	Ley de Conservación de la Energía . . . . .	75
7.7	Cantidad de Movimiento . . . . .	76
7.8	Prototipo: Proceso de Elaboración . . . . .	76

7.9	Péndulo de Charpy: Construcción . . . . .	78
7.10	Smart-Shield: Detalles . . . . .	81
7.10.1	Logo . . . . .	81
7.10.2	Patente . . . . .	81
7.10.3	Plano Interior . . . . .	82
7.10.4	Plano Exterior . . . . .	83
7.10.5	Listado de Componentes . . . . .	84
7.10.6	Publicaciones . . . . .	85
7.11	Análisis FODA . . . . .	86
7.11.1	FODA Tecnología Existente . . . . .	88

# Capítulo 1

## Planteo del Problema

En la actualidad, la tecnología se encuentra prácticamente en todos los ámbitos de la vida humana, mejorando diversos campos, tales como: la medicina, la producción de alimentos, los deportes, las aplicaciones de entretenimiento, entre otras. Enfocándonos en el campo de los deportes, incontables mejoras se han logrado gracias al uso de la misma. Un claro ejemplo es la nanotecnología aplicada en el tenis con la inclusión de nanomateriales como partículas de sílice o nanotubos de carbono en las raquetas para aumentar su resistencia y rigidez. O también, podemos mencionar el uso de Big Data para la preparación de la estrategia previa a los partidos de fútbol, ya que este uso inteligente de los datos provee estadística suficiente para medir y potenciar el rendimiento de los deportistas. Algunos ejemplos de las variables medidas son: cantidad de toques de la pelota del contrincante, estado de la superficie del césped o la distancia recorrida por los miembros del equipo.

En este proyecto final de la carrera de Ingeniería Electrónica se aplican los conocimientos adquiridos a lo largo de la formación académica para lograr dos objetivos con un mismo sistema: contribuir al deporte y generar una nueva forma de entretenimiento. Para ello se construye un dispositivo electrónico capaz de medir fuerza de impacto y tiempo de reacción.

La contribución deportiva, se dirige a las artes marciales y la idea surge de la observación de las oportunidades de mejora continua del Taekwon-Do a través de la innovación tecnológica aplicada. El Taekwon-Do es un arte marcial moderna originaria de Corea desarrollada por el Gral. Choi Hong Hi (ver

apéndice 7.3) entre los años 1945 y 1955. Siendo el 11 de abril de este último año, cuando el gobierno de Corea declara al Taekwon-Do como arte marcial oficial de dicho país. El desarrollo del Gral. Choi fue tan ambicioso que no solo fue exitoso al esparcir y popularizar el Taekwon-Do a nivel mundial, sino que fue capaz de teorizar y crear una enciclopedia de 15 tomos con un alto grado de detalle[1]. Esta producción abarca temas filosóficos, históricos, científicos y técnicos que constituyen junto a la práctica supervisada de un maestro idóneo las bases del arte. Dentro de dicha enciclopedia, en su Tomo I podemos encontrar conceptos que sirven de disparadores para este proyecto, tales como:

1. Ciclo de Composición del Taekwon-Do: aunque aquí es presentado en un orden, Choi aclara que “es difícil distinguir el inicio del ciclo de su final. De hecho, como la deidad, no hay principio ni fin. Un practicante descubrirá que tendrá que volver una y otra vez a los movimientos fundamentales iniciales para perfeccionar sus técnicas avanzadas de combate y defensa personal” [2]. Esta compuesto por:
  - (a) Movimientos Fundamentales.
  - (b) Formas.
  - (c) Ejercicios frente a frente.
  - (d) Entrenamiento con accesorios.
  - (e) Defensa personal o Lucha Libre.
  
2. Teoría del Poder: desarrollada por el Gral. Choi, constituye según el autor el primero de los secretos de entrenamiento del Taekwon-do[3]. Se explica a través de:
  - (a) Fuerza de reacción.
  - (b) Concentración.
  - (c) Control Respiratorio.
  - (d) Masa.
  - (e) Velocidad.

(f) Tiempo de Reacción\*.

\*En la enciclopedia es enunciado como velocidad y tiempo de reflejo, aunque la explicación de este ítem se corresponde con el tiempo de reacción.

Con el desarrollo del proyecto se pretende contribuir al punto (d) del ciclo de composición en particular, como así también al desarrollo de la teoría del poder en general. Aportando una herramienta para la comprobación empírica del movimiento característico del Taekwon-Do. En esta disciplina en particular y en las artes marciales en general, las roturas de tablas representan la única forma de comprobación empírica como una referencia mensurable del poder de una técnica. A medida que dicha técnica se perfecciona, el espesor que se es capaz de atravesar es mayor y por tanto, mayor es su poder. Es decir, para medir la eficacia de los golpes en las artes marciales se practican roturas sobre tablas de madera desde sus orígenes milenarios. En otras palabras, no se han llevado a cabo innovaciones tecnológicas en la forma de medir la intensidad del impacto para comprobar la eficacia de los movimientos. El presente proyecto consiste en el diseño y construcción de un dispositivo con la capacidad de medir la fuerza de un golpe y el tiempo de reacción del atleta. Con este fin, se desarrolla un sistema completo que incluye un escudo para recibir los impactos junto con la electrónica y el software para el procesamiento de los datos.

Como objetivo secundario, pero no menos importante, es la componente lúdica del proyecto. El sistema puede ser utilizado para el entretenimiento de grupos de personas sin la necesidad de conocimiento en artes marciales para realizar competencias buscando hallar quien genera el mayor impacto, creando así también un dispositivo social para el ocio y la diversión.

## 1.1 Justificación

Las roturas de tablas son inherentes a la actividad marcial y están presentes para promover a nuevas graduaciones como así también existen en las competencias nacionales e internacionales. Son utilizadas para verificar la eficacia de la técnica y pueden superar los 10 centímetros de espesor sobre maderas de pino cuadradas de 30 centímetros de lado para los grados

mas avanzados. Se pueden apreciar en la figura 1.1 distintas roturas características, con diferentes herramientas de ataque representativos de la actividad. Como se ha mencionado previamente, estas roturas manifiestan la única forma de comprobación empírica con una referencia mensurable. Para justificar la creación de este sistema que se denomina Smart-Shield (SS), se realizan diversos ensayos destructivos sobre tablas de madera lo que permite obtener una figura de mérito que sirve de parámetro respecto a la fuerza del impacto necesario para romper dichas tablas. De esta manera, se obtiene experimentalmente el umbral de rotura que el practicante debe alcanzar para atravesar el obstáculo sin el riesgo a lesionarse en la situación de la rotura tradicional.



Fig. 1.1: Gral. Choi ejecutando roturas con algunos de sus alumnos.

El tiempo de reacción es el segundo parámetro de interés en este proyecto, siendo el mismo el período que pasa entre el estímulo de un órgano sensorial y el inicio de una reacción. Se habla de tiempo de reacción simple cuando se usa un único estímulo y se mide la duración entre la aparición de dicho evento y la respuesta del atleta. Es necesario diferenciar los conceptos de reflejo y reacción, que muchas veces son utilizados como sinónimos, pero definen a procesos muy diferentes. Un resumen de dichas diferencias pueden ser observados en la figura 1.2. Los primeros, son involuntarios y se usan para proteger el cuerpo, siendo estos más rápidos que una reacción. Los reflejos son por lo general un ciclo de realimentación negativa y actúan para ayudar a devolver al cuerpo su estabilidad normal de funcionamiento. Un claro ejemplo de este fenómeno, es el reflejo rotuliano (también llamado arco

reflejo)[4]. Se debe tener en cuenta que para los reflejos, el cerebro no es protagonista. Ahora bien, en una situación de enfrentamiento, cuando una persona ataca a otra, no se actúa por reflejo para defender o esquivar, sino que se reacciona. Esta reacción al estímulo ataque es mucho más compleja que un reflejo. Cuando el oponente ataca, el contrincante debe dar cuenta de esta intención, es decir, hay información visual que debe ser procesada y decisiones que deben ser tomadas con respecto a un curso de acción adecuado. Entonces, el cerebro necesita enviar muchas señales a los distintos músculos involucrados. Los pies deben moverse, los músculos del abdomen deben contraerse, las manos deben adoptar la posición adecuada, es decir, un conjunto de numerosos procesos motrices y neuronales. Por esta razón, el circuito de las señales involucradas en la reacción es más prolongado que el circuito del reflejo antes descrito y por lo tanto en comparación siempre será más lento[5].

Se han llevado a cabo diversos estudios en donde los resultados arrojan un tiempo de reacción promedio de 413ms para personas no entrenadas, 375ms para practicantes de artes marciales y 220ms para deportistas de alto rendimiento de Taekwon-Do[6]. A su vez, es importante señalar que el Gral. Choi en el mes de abril del año 1973 con la colaboración de los profesores Harold Edgerton y Mark Miller (ver apéndices 7.4 y 7.5 ) realizaron un análisis estroboscópico en los laboratorios del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) para medir el tiempo de ejecución de varias técnicas de ataque. El Ing. Edgerton fue un pionero en este tipo de análisis, y en las figura 1.3 podemos observar algunos de los resultados obtenidos. Para la primer patada en forma de abanico la duración fue de 117 ms, para la segunda patada lateral fue de 100 ms y para la tercer técnica de golpe de puño fueron 3 ms[7].

Se puede observar en la figura 1.4 una comparación del tiempo de ejecución de un ataque vs. el tiempo de reacción, es evidente que siempre la duración en ejecutar una técnica de ataque es menor al tiempo que demora la reacción. A su vez, esta condición es independiente del grado de entrenamiento que la persona posee. El lector deberá entender entonces que con estos valores, nunca se podrá defender de un ataque a menos que se anticipe a los movimientos o sea un blanco móvil para el oponente (fintas, amagues,



Fig. 1.2: Circuito Reflejo Vs. Circuito Reacción



Fig. 1.3: Análisis estroboscópico de ataques

desplazamientos, entre otros). Por su puesto esto no quita, que el tiempo de reacción se puede entrenar y mejorar como en el caso expuesto en la figura 1.4, siendo el SS un excelente accesorio de entrenamiento para su desarrollo.

La palabra lúdico es un adjetivo que califica todo lo que se relaciona con el juego, derivado en su etimología del latín “ludus” que se traduce como

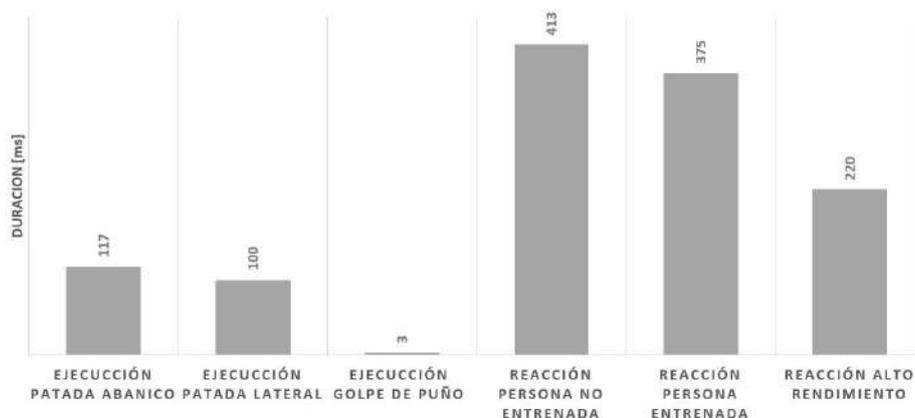


Fig. 1.4: Tiempos de Ejecución Vs. Tiempos de Reacción

juego, diversión o broma. Los griegos hablaron del “homo ludens” o persona que practica el juego, como algo que hace a su esencia. Es erróneo pensar que solo los niños necesitan de la diversión para estar sanos, puesto que los adultos también deben usar sus momentos de ocio para realizar actividades lúdicas en vista de que por ejemplo ayuda a reducir el estrés. Se podría decir entonces que, el juego es una actividad placentera donde la humanidad se libera de tensiones y de las reglas impuestas por la cultura[8].

En la actualidad, las formas de entretenimiento ligadas a la tecnología han tenido un crecimiento exponencial. Existen múltiples plataformas sociales o juegos en red, que en numerosas ocasiones generan un desapego a la actividad física y fomentan el sedentarismo. Con este proyecto se busca que el SS sea una fuente de entretenimiento alternativa, que fusione la actividad corporal con la tecnología, sirviendo quizás como disparador para el comienzo de alguna disciplina. Es decir, que él que ya practica artes marciales lo pueda utilizar para su perfeccionamiento técnico como ya se expuso, o en cambio, el que no practica encuentre una motivación para hacerlo.

Otro aspecto importante a mencionar es que el acceso a este tipo de dispositivos es muy limitado o inexistente, con una mayor probabilidad de encontrarlos en centros comerciales o parques de diversiones. En estos casos, las dimensiones de los dispositivos son considerables como se expondrá en el Capítulo Tecnología Existente del presente documento. El SS, en cambio, es móvil, liviano y de tamaño reducido, haciendo que sea potencialmente

adaptable como entretenimiento en forma masiva. En la figura 1.5 se puede observar el sistema SS y una de sus formas de aplicación.



Fig. 1.5: Sistema Smart-Shield

## 1.2 Objetivos

El objetivo del presente proyecto es desarrollar un sistema móvil capaz de medir en forma instantánea y precisa la magnitud de la fuerza de un golpe y el tiempo que se demora en ejecutarlo frente a un estímulo auditivo.

De forma resumida, el sistema Smart-Shield se divide en tres etapas:

1. Sensado
2. Adquisición y Procesamiento
3. Comunicación

Los resultados de las mediciones se envían de manera inalámbrica mediante la tecnología Bluetooth a dispositivos portátiles que funcionan con el sistema operativo Android. Además del hardware necesario para el SS, se desarrolla el software para visualizar y registrar los datos. En la figura 1.6 se observa un diagrama del sistema.

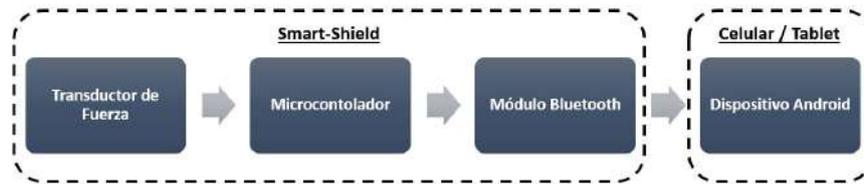


Fig. 1.6: Diagrama en Bloques del sistema Smart-Shield

### 1.3 Organización del Proyecto

En este apartado se describe brevemente lo que el lector encontrará en los distintos capítulos del presente documento.

Previo al desarrollo del prototipo, se inicia un estudio de los dispositivos existentes en el mercado actual. Este estudio incluye descripción, costos y disponibilidad de cada uno de ellos. Luego se presenta el prototipo, se justifica la elección del traductor de fuerza utilizado, se describe el algoritmo programado para la aplicación y se muestra la técnica utilizada para el diseño de la plaqueta de circuito impresa. Continuando con la lectura, se detalla el circuito acondicionador junto con la justificación de cada circuito eléctrico implementado para lograr el sistema Smart-Shield. Previo a las conclusiones se detallan la empírica para probar el funcionamiento del desarrollo: depuración inalámbrica, ensayos destructivos, calibración y pruebas de campo. Finalmente se muestran las conclusiones con un análisis FODA del prototipo construido y sus oportunidades de mejora.

Adicionalmente cuenta con un apéndice en donde se encuentra información complementaria para ciertas tecnologías, conceptos ampliados, formas de construcción, procedimientos de montaje, planos y detalles del sistema.

# Capítulo 2

## Tecnología Existente

En este capítulo se detallan los antecedentes tecnológicos recolectados en la investigación previa al comienzo del desarrollo de este proyecto.

### 2.1 Indicador de Poder

El primer libro escrito del Taekwon-Do por Choi fue impreso en el año 1959 en idioma coreano y ya para el año 1983 fue capaz de elaborar una enciclopedia de 15 tomos con mas de 300 páginas cada uno con el mayor grado detalle de su creación. A través de su maestría, el autor detecta la necesidad de un instrumento de medición que independice la variabilidad de las maderas, debido a que en su experiencia un mismo alumno no era capaz de romper la misma cantidad de tablas de acuerdo al país donde se practicaban las demostraciones, ya que la procedencia de estas no era constante. Es en esta publicación del año 1983 donde la investigación realizada para este proyecto encuentra el primer antecedente tecnológico denominado Indicador de Poder, el mismo se puede observar en la figura 2.1[9].

### 2.2 Mercado Actual

A continuación se dará una breve descripción de los dispositivos con funcionalidades y/o características similares a este proyecto que se encuentran en el mercado actual. A su vez, en el Apéndice se encuentra el análisis FODA

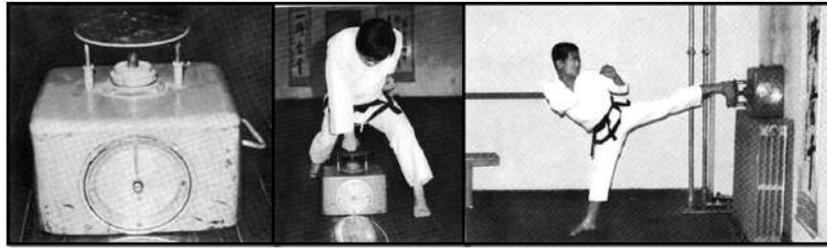


Fig. 2.1: Indicador de Poder (En coreano, Wiryok Yi).

de cada uno de ellos (ver 7.11).

### 2.2.1 Punch Lab



Fig. 2.2: Punch Lab

Punch Lab[10] es una aplicación disponible en PlayStore de Android y AppStore de Apple. Para utilizar esta tecnología es necesario contar con un teléfono inteligente, este se introduce en una cartuchera y esta se sujeta a la bolsa de entrenamiento. Utilizando el acelerómetro presente en los celulares realiza una medición relativa de la intensidad de los golpes y cantidad de golpes arrojadas en un periodo de tiempo. Cuenta con rutinas de entrenamiento, genera estadísticas, posee una interfaz fluida y visualmente muy lograda. Precio: USD50 anuales.



Fig. 2.3: HYKSO: Punch Trackers

### 2.2.2 Hykso: Punch Trackers

Hykso:Punch Trackers[11] esta formado por dos dispositivos móviles y autónomos que mediante tecnología inalámbrica Bluetooth envían información a un dispositivo móvil Andoid o IOS. Estos se alojan en el vendaje de las manos por debajo de los guantes de entrenamiento y son resistentes a la humedad. Disponen de una métrica patentada para medir el esfuerzo de salida del movimiento (esto no es lo mismo que la energía transferida a la bolsa). Es representado por un número que comienza en 0 al comienzo de cada ronda y cada golpe que se lanza aumenta el valor hasta que termina la ronda, donde se ve la puntuación de intensidad. También registra la velocidad más alta y calcula la velocidad promedio por ronda. Todos los cálculos sobre el movimiento se realizan en el sistema embebido que cuenta con un microcontrolador con tiempos de procesamiento menores a 100 ms y con la capacidad de evaluar 6 grados de movimiento. Gracias a extensas simulaciones de golpes y movimientos de profesionales de distintas disciplinas de combate, es posible identificar el tipo de golpe lanzado y por lo tanto generar una estadística que permite contabilizar el tipo de golpe arrojado. Posee

ademas una memoria embebida que permite almacenar los datos en caso de encontrarse fuera de rango del dispositivo aparejado, un vez dentro del rango, los datos son enviados para instrumentarse virtualmente en al app. Precio: USD500

### 2.2.3 Punch Sensor



Fig. 2.4: Punch Sensor

Punch Sensor[12] consta de un transductor de fuerza digital integrado en una almohadilla para golpear sobre una superficie acolchada de 38 cm x 50 cm como se puede observar en la figura 2.4. Posee un software que se ejecuta en una PC o tableta con Windows. El sistema cuenta con una velocidad de captura de 1000 muestras por segundo pudiendo detectar la fuerza máxima y el número de puñetazos en una duración determinada. Los usuarios pueden guardar los resultados de una sesión y compararlos con los datos de sesiones guardadas anteriormente para ver el progreso y comparar la efectividad de diferentes técnicas. El sensor está montado entre dos placas de aluminio, la placa superior está cubierta por una espuma espesa que sirve como almohadilla mientras que en la placa inferior se sujeta en una pared utilizando orificios pasantes provistos en sus cuatro vértices. Precio: USD2.800



Fig. 2.5: Boxer

### 2.2.4 Boxer

Boxer[13] está orientado al ocio y es el dispositivo más difundido en el imaginario colectivo cuando se le habla de medir el impacto de un golpe. Tiene una altura de 2.25m, un ancho de 0.75m, una profundidad de 1.3m y pesa 120kg como se muestra en la figura 2.5. El jugador presiona un botón que baja la pera de boxeo, luego realiza un golpe en dicha pera y a través de la aceleración que le imprime logra un puntaje. Posee una pantalla con LEDs de colores llamativos y parlantes con sonidos de ambiente de boxeo. Está diseñado para cualquier persona que le gustan los retos y la competencia. Es utilizado en centros deportivos y de ocio tales como: gimnasios, parques de atracciones, pub's y bares. Se puede colocar a la intemperie, por lo que funciona perfectamente en todo tipo de eventos al aire libre. Su diseño permite competición simultánea de hasta 4 jugadores. Precio: €2.400

### 2.2.5 Power Kube



Fig. 2.6: Power Kube GO

Powerkube[14] consta de un cubo acolchonado que aloja el transductor de fuerza, los resultados de las mediciones son enviadas a una tableta dedicada en donde se realiza el procesamiento de datos y se muestran los resultados de fuerza y tiempo de reacción. Los componentes del sistema pueden observarse en la figura 2.6. El tiempo de reacción es medido desde el comienzo de una señal auditiva y visual en pantalla hasta que es alcanzado la máxima intensidad del golpe. Tanto la información enviada como la energización del sistema son de forma alámbrica. Para presentar los resultados definen una “energía compresiva”, que según el fabricante tiene la capacidad de medir simultáneamente tanto la potencia como la energía, dando lugar a una unidad de medida propia llamada franklin (f) en honor a su inventor, Kevin Franklin. Precio: £1.749

# Capítulo 3

## Diseño

En este capítulo se presentan y desarrollan las distintas etapas del diseño junto a la descripción del método para lograr su implementación.

### 3.1 Prototipo

El armazón exterior del Smart-Shield (SS) es utilizado para recibir los impactos y a su vez permite alojar todo el sistema embebido, esto incluye: el transductor de fuerza, la plaqueta de circuito impreso y la batería. El detalle de los materiales empleados y los pasos seguidos para lograr esta pieza están en el Apéndice del presente trabajo (ver 7.8).

Para describir el contenido del interior del SS se observa el esquema de la figura 3.1. Se comienza desde el frente, donde se reciben los impactos, pudiendo identificar 3 secciones conformadas principalmente por espuma de poliéster con 20Kg/m<sup>3</sup> de densidad. La primer división es un prisma de 30x30x5[cm] íntegramente del material descrito y esta diseñado para prevenir lesiones en la herramienta de impacto. En la segunda división, con dimensiones 30x30x10[cm], se utilizan dos tablas rectangulares de polipropileno reforzadas cuyas medidas son 22x28x0.5[cm]. La primera desde el frente del SS es llamada tabla anterior y la segunda se denomina tabla posterior. Estas dos, están vinculadas en sus vértices por tornillos con tuercas y separadas entre si por tacos de goma cilíndricos macizos de 2.5x2.5[cm]. En el centro de la tabla posterior se coloca el transductor de fuerza que se adhiere en

el interior perfectamente liso, enfrente a dicho sensor se coloca un quinto taco en la tabla anterior con una pequeña separación (GAP) al sensor, es decir, el taco central no tiene contacto con el sensor en ausencia de impactos (la integración mecánica es explicada con mayor detalle en el Capítulo 3.2.2). A su vez, en el volumen libre entre las tablas anterior y posterior se utiliza la misma espuma como relleno para que actúe como recuperación del GAP luego de los impactos. Esta estructura está empotrada en el frente del segundo prisma de espuma de poliéster. Las manijas de PVC exteriores, están conectadas entre si a través de una correa que es perpendicular a la dirección del impacto y que a su vez es solidario con la tabla posterior. Esta disposición es para disminuir la penetración del impacto en la tercera división que contiene el sistema embebido y la batería. De esta manera, los impactos recibidos en el frente están amortiguados en la parte posterior del escudo por las distintas capas de espuma de poliéster de alta densidad como así también por las fuerzas de reacción ejercidas sobre las correas transversales durante los embistes.

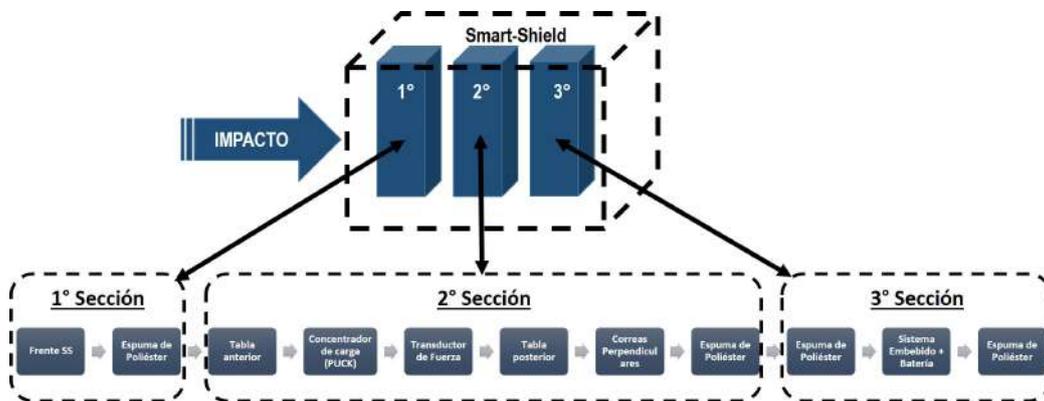


Fig. 3.1: Esquema Interior Smart-Shield.

## 3.2 Transductores de Fuerza

Los sensores piezoeléctricos (también conocidas como resistencias sensibles a la fuerza FSR), las celdas de carga y las galgas extensiométricas se

presentan en la figura 3.2. Estas son tres de las tecnologías de detección más utilizadas para medir intensidad de fuerza. Se basan en el hecho de que determinados materiales cambian sus propiedades eléctricas con la aplicación de fuerza mecánica.

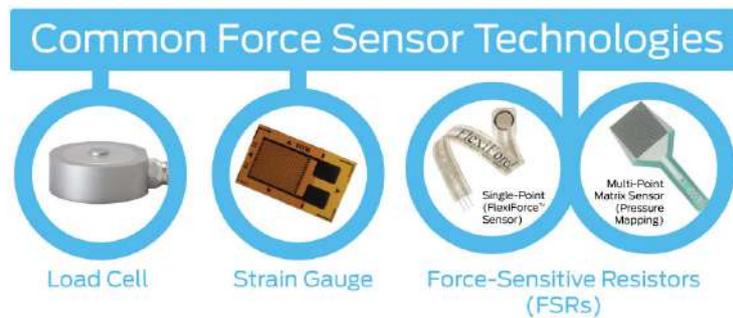


Fig. 3.2: Celda de carga, galga extensiométrica y FSR.

Mientras que los sensores piezoeléctricos generan cargas eléctricas como resultado de la deformación elástica, en el caso de los extensométricos se produce un cambio en la resistencia eléctrica. Ambas técnicas de medición se complementan entre sí y, dependiendo de cada aplicación se opta por un extensométrico o un sensor piezoeléctrico. En principio, es posible cubrir alrededor del 80% de todos los requisitos metrológicos tanto con sensores piezoeléctricos como con extensométricos.

Una celda de carga se fabrica mediante el uso de un material elástico, es decir, con un patrón de deflexión muy repetible al que se unen varias galgas extensométricas. La integración mecánica para este tipo de sensores representa una dificultad adicional para dispositivos móviles debido a su sensibilidad a las vibraciones y requerimientos de fijación.

Tanto las galgas como las celdas de carga, se rigen por el mismo principio extensométrico antes descrito. En los FSR, en cambio, la deformación es extremadamente pequeña ya que el efecto de carga es causado por cambios dentro de la estructura atómica. Esto permite la realización de estructuras extremadamente rígidas con altas frecuencias naturales.

El tiempo de respuesta de una celda de carga es generalmente del orden de los milisegundos, pero esto no toma en consideración la masa del cuerpo

unido a la celda de carga. Dependiendo de lo que esté conectado a la celda de carga, el tiempo de respuesta podría ser mucho más lento de lo esperado. Además, luego de una medición, requiere cierto tiempo para regresar a su punto de reposo antes de realizar el siguiente sensado. Si se realiza una nueva medición antes de que se regrese a su tara cero, la medición no será precisa y el error podría superar la tolerancia. Los FSR son especialmente adecuados para procesos cuasiestáticos y dinámicos, ya que tiene gran capacidad de detección de cambios de carga, ideal para capturar eventos de medición muy rápidos o de alta frecuencia. Para el caso del FF el tiempo de respuesta es de 5  $\mu$ S siendo mas que suficiente para el trabajo con las cargas dinámicas a analizar, que se caracterizan por tener una fuerza considerable en un intervalo temporal muy reducido[17][18].

De esta manera, la tecnología FSR es la que se adecua de mejor manera con el diseño del proyecto, siendo las dos características más relevantes la facilidad de su integración mecánica y el bajo tiempo de respuesta. En el Apéndice del presente documento se brinda al lector un detalle mayor de las diferencias entre los transductores citados[15][16].

### 3.2.1 Sensor FSR FlexiForce

Los FSR están confeccionados en material semiconductor contenido entre dos piezas de poliéster delgado y flexible. Una de las ventajas que tiene la tecnología FSR sobre las celdas de carga y las galgas extensiométricas son sus factores de forma ultradelgados y mínimamente invasivos que se pueden personalizar para cubrir una región de detección de impacto mayor. En cuanto su comportamiento eléctrico, son elementos pasivos que actúan como una resistencia sensible a la fuerza que podemos resumir de la siguiente manera:

1. Cuando está descargado, es decir no se imprimen fuerzas sobre el mismo, su resistencia es muy elevada.
2. A medida que se aplica fuerza al sensor, esta resistencia disminuye.

El detalle del comportamiento extraído de la hoja de datos del fabricante lo podemos observar claramente en la figura 3.3 .

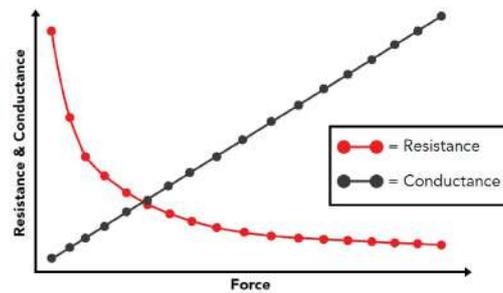


Fig. 3.3: Relación lineal entre fuerza aplicada y conductancia.

El fabricante provee dos formas diferentes de sensores FSR: de un solo punto y de matriz multipunto. Para el proyecto se utiliza el primero llamado FlexiForce (FF) representado por la figura 3.4. El cual se adecua de mejor manera al concepto de diseño implementado como se demostrará a continuación la sección 3.2.2 Integración Mecánica.



Fig. 3.4: Sensor FSR Flexiforce A401.

El circuito de acondicionamiento es el mostrado en la figura 3.5, los rangos de medición posibles son de (0-450) Gr. o (0-3175) Kg. Para el proyecto se trabaja dentro del segundo rango de fuerza, este se puede ampliar reduciendo la tensión de accionamiento  $V_t$ , o el valor de resistencia de realimentación  $R_f$ . Por el contrario, la sensibilidad se puede aumentar para la medición de fuerzas menores aumentando  $V_t$  o  $R_f$ .

La salida del sensor es una función de muchas variables incluidos los materiales de la interfaz, por esta razón, el fabricante recomienda calibrar cada sensor para la aplicación. El gráfico de la figura 3.6 es una ilustración de la utilización del sensor para medir rangos de fuerza variables cambiando la

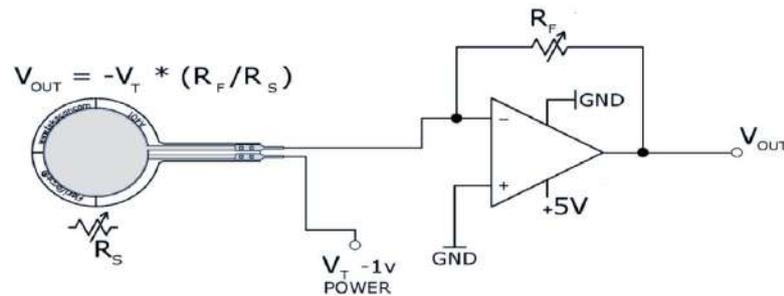


Fig. 3.5: Circuito de acondicionamiento FlexiForce.

resistencia de realimentación. Podemos observar que a medida que el rango aumenta, la pendiente de la curva decrece. La obtención de la curva de carga utilizada en este diseño se detalla en la sección 5.3 Calibración.

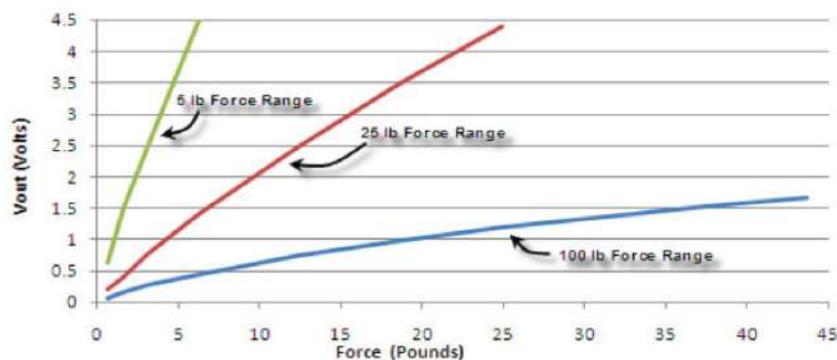


Fig. 3.6: Curvas de fuerza Vs. tensión para posibles calibraciones del FF.

### 3.2.2 Integración Mecánica

Para lograr el resultado deseado, se recomienda que la fuerza se concentre dentro del área de detección y la mejor manera de lograr este efecto, es mediante el uso de un concentrador de carga (denominado PUCK) como se ilustra en la figura 3.7. Como el área de incidencia del impacto es más grande que el área de detección, en el caso que la herramienta de ataque no impacte exactamente en el centro (donde se encuentra el sensor) se producirá una

pérdida de carga. Este efecto es compatible con la simulación de la rotura de madera planteado en este documento. Es decir, para efectuar una rotura exitosa, la exactitud al centro de tabla es fundamental y por eso la ubicación del sensor y la característica de su integración mecánica hacen que el diseño planteado sea fielmente representativo de la situación real.

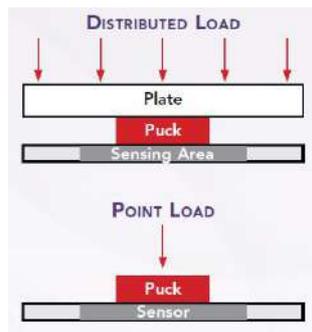


Fig. 3.7: Concentrador de carga (PUCK).

A través de la práctica del Taekwon-Do se enseña que disminuyendo la superficie de contacto al instante de impacto, para las demás variables del golpe constantes, la fuerza que se imprime en el objetivo aumenta ( $Fuerza = Presion * Area$ ). Es por eso que en las artes marciales, la herramienta de ataque varía de acuerdo a la extremidad utilizada y la zona objetivo del golpe en el contrincante, siempre minimizando el área de contacto de la herramienta de ataque al momento del impacto. En la figura 3.8 se observan algunos de los medios del cuerpo humano mas comunes para impactar. Recorriendo de izquierda a derecha y desde arriba hacia abajo observamos: el frente de los nudillos de los dedos índice y mayor, el reverso de estos mismos nudillos, filo exterior de la mano, filo interior de la mano, empeine del pie, filo del talón del pie, el reverso del talón del pie, el metatarso del pie. El diseño del SS se adecua a todas estas posibles incidencias de los golpes, pudiendo evaluar cual es la herramienta más efectiva como se comprueba en la Pruebas de Campo de esta investigación (ver 5.5).

En la figura 3.9 se presenta un detalle de la integración mecánica del sensor. Los 4 cilindros de goma presentes en los vértices delimitan una separación fija. El taco central es el que hace de concentrador de carga (PUCK), y como antes se menciona, este no tiene contacto con el sensor en ausen-

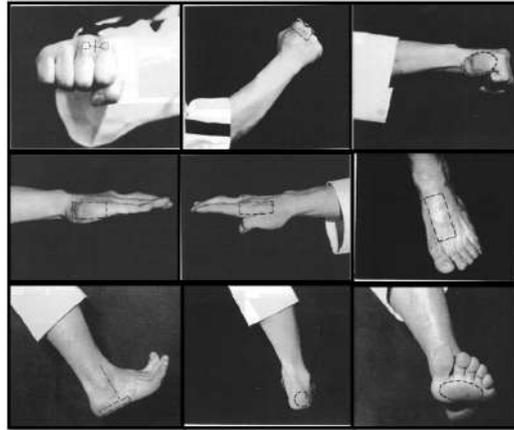


Fig. 3.8: Herramientas de ataque mas usadas.

cia de impactos ya que tiene una longitud menor que los dispuestos en los vértices. Por recomendación del fabricante, el área de contacto del PUCK es de idénticas dimensiones al área de sensado del FF. Luego en el momento de sensado, toda el área del sensor es utilizada favoreciendo la precisión del sistema. Este detalle se puede apreciar en la figura 3.10.

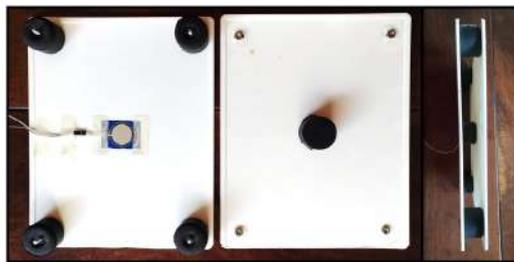


Fig. 3.9: Integración mecánica del sensor.



Fig. 3.10: Posición del PUCK en ausencia de impacto y durante el mismo.

### 3.3 Firmware

Luego de haber seleccionado el transductor de fuerza, se continua con la selección de un microcontrolador( $\mu\text{C}$ ) que permita la adquisición y procesamiento de la señal de interés. El  $\mu\text{C}$  elegido es el Microchip ATmega328P debido a que las características de procesamiento resultan suficientes para desarrollo buscado y además cuenta con amplia disponibilidad en el mercado nacional a un bajo costo.

Estas son algunas de las características mas relevantes y utilizadas del  $\mu\text{C}$  que se utilizan para el sistema:

1. Microcontrolador AVR<sup>®</sup> de 8 bits de alto rendimiento y bajo consumo.
2. 32KB Memoria FLASH.
3. 2KB Memoria SRAM.
4. 1KB Memoria EEPROM.
5. Arquitectura RISC avanzada con rendimiento de hasta 16 MIPS a 16 MHz.
6. Temporizador/contador de 16 bits con preescalador, modo de comparación y captura independientes.
7. ADC de 8 canales.
8. USART serie programable.
9. Fuentes de interrupción externas e internas.
10. Tensión de funcionamiento de 2,7 V a 5,5 V.

Como en todo sistema embebido, el desarrollo del firmware es una de las etapas más relevantes, ya que el código implementado en el  $\mu\text{C}$  es el que determina el comportamiento general del sistema. El proceso de depuración aquí es importante porque además de definir la secuencia de instrucciones que se ejecutan ante diversos eventos o en el bucle principal, también se configuran los periféricos del  $\mu\text{C}$ . Esta última acción es la que define cómo actúan

los pines de entrada/salida que se utilizan, y permite configurar rutinas de atención tanto a interrupciones internas tales como la cuenta de un timer, o externas como el arribo de un nuevo carácter, el cambio del estado de un pin determinado, u otras, que en este trabajo son de gran utilidad.

Para comprender el funcionamiento del algoritmo es necesario separar la placa de adquisición de la aplicación que interactúa con el usuario. Mientras que la plataforma desarrollada envía los datos de manera inalámbrica y está contenida dentro de la estructura del escudo, el envío de comandos se realiza de manera remota con un dispositivo Android. El módulo Bluetooth es utilizado como medio de comunicación entre el sistema de adquisición de la señal y el móvil que posee el usuario. De esta forma, el  $\mu\text{C}$  es configurado para generar una interrupción ante el arribo de un carácter, cuyo pseudocódigo de la rutina de atención se puede observar en la figura 3.11.

```

subproceso funcion decodificar_comando
Si comando = START
    Emitir sonido
    Habilitar timer
De_lo_contrario
    Si comando = STOP
        Deshabilitar timer
        Notificar por UART
        Resetear variables
    De_lo_contrario
        Descartar Comando
    Fin_Si
Fin_Si
Fin_subproceso

```

Fig. 3.11: Rutina de atención de Puerto Serie

Aquí se aprecia que las cadenas de caracteres denominadas en la función como *comandos*, activan una serie de instrucciones si las palabras recibidas son START o STOP. En el primer caso, dando inicio a la actividad se emite una señal sonora para indicarle al usuario que debe lanzar el golpe sobre el escudo y habilita el timer que utiliza para temporizar y adquirir. Por otra parte, al recibir el comando STOP el  $\mu\text{C}$  finaliza el proceso de muestreo,

deshabilita el timer, le avisa al dispositivo móvil que la orden fue ejecutada de forma adecuada y resetea todas las variables utilizadas para que estén disponibles en un nuevo ciclo. Cualquier otro comando que no se corresponda a los mencionados, es descartado en el proceso de la decodificación.

Otra rutina importante, es la de atención al timer. Esta etapa es fundamental para lograr un comportamiento adecuado en el sistema, y es representada en la figura 3.12.

```

subproceso funcion timer
Si tiempo > timeOUT
    Registrar Duracion_impacto
    Apagar timer
    Notificar por UART
    Resetear variables
De_lo_contrario
    Tomar una muestra del sensor
    Si muestra > umbral_golpe
        Registrar el dato
        Si primer_dato_valido = TRUE
            Registrar Duracion_impacto
        Fin_Si
    De_lo_contrario
        Si datos_registrados = TRUE
            Registrar Duracion_impacto
            Apagar timer
            Notificar por UART
            Resetear variables
        Fin_Si
    Fin_Si
Fin_Si
Fin_subproceso

```

Fig. 3.12: Rutina de atención de Puerto Serie

El uso de un temporizador por interrupciones es clave para mantener el tiempo entre muestras constante, permitiendo la reconstrucción de la señal de forma adecuada. Sin embargo, el  $\mu$ C no solo adquiere y registra los datos, sino que también es el encargado de calcular el tiempo de reacción del deportista en cada golpe, detecta el valor pico de la señal y mide la duración total del impacto. Esta información es reportada al dispositivo Android mediante comunicación serie, dejando la tarea de presentación de datos a la

aplicación. Cabe destacar que por cada muestra que se adquiere se realiza una comparación con un umbral para validar el dato. Esto se realiza para, evitar el registro de muestras previas al golpe que no brindan información significativa para calcular el tiempo desde que se emitió la señal sonora hasta la concreción del impacto, o para calcular cuándo termina el golpe.

### 3.4 Código Android

Se utiliza Basic For Android (B4A)[19] que constituye una herramienta RAD (Rapid Application Development) para apps nativas de Android en un entorno gratuito (IDE) y un lenguaje de programación basado en Visual. Este compila a código nativo (bytecode) y su lenguaje de programación es orientado a objetos. Es utilizado para recibir los datos de forma inalámbrica y generar la instrumentación virtual en cualquier dispositivo Android compatible.

La App, término utilizado para las aplicaciones de dispositivos móviles, es la interfaz que interactúa con el usuario tanto para controlar al sistema como para presentar los datos obtenidos en cada golpe de práctica. Para obtener un sistema simple de usar, el usuario solamente debe emparejar su dispositivo Android con el escudo a través de la tecnología Bluetooth, y el equipo pasa a un modo operativo.

En la figura 3.13 se presenta una imagen de una captura de pantalla de un dispositivo móvil luego de la adquisición de un golpe. En la parte inferior se observa un botón con la leyenda ACCIÓN, que al ser presionado por el usuario, envía un comando para que el sistema embebido en el escudo comience la adquisición. El primer tiempo mostrado corresponde al tiempo de reacción, el segundo intervalo a la duración del impacto y el último recuadro se corresponde con la fuerza máxima registrada. El gráfico allí mostrado corresponde a la forma de onda de un golpe de puño realizado, es decir, muestras vs. fuerza.

La variable Duración de Impacto resulta muy interesante, ya que hasta ahora al igual que la magnitud del impacto de forma dinámica, no existía un instrumento capaz de realizar dicha medición. Se dijo que la concentración se halla minimizando el área de la herramienta de ataque (ver 3.2.2). Gra-

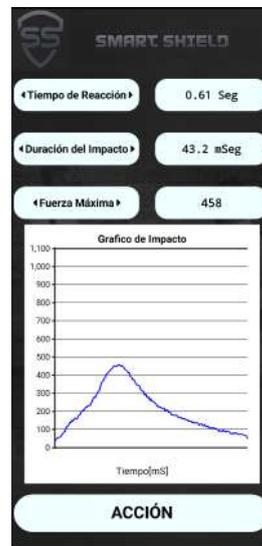


Fig. 3.13: Captura de pantalla de la APP.

cias a que también es posible cuantificar el tiempo que la herramienta de ataque permanece en contacto con el objetivo, podemos distinguir dos tipos de concentración para la búsqueda de un golpe eficiente, se definen como:

1. Concentración espacial: minimización del *área* en el instante de contacto entre la herramienta de ataque y el objetivo. Es decir, depende de la geometría de las figuras bajo análisis.
2. Concentración temporal: minimización del *tiempo* en el instante de contacto entre la herramienta de ataque y el objetivo. Es decir, depende de la duración temporal del contacto.

En la jerga de las artes marciales, la concentración temporal sería la descrita como “golpe seco”. Podríamos decir entonces, que para hacer una rotura exitosa, se busca imprimir la fuerza máxima en el objetivo, con la menor superficie de contacto y en el intervalo temporal mas corto posible.

### 3.5 Plaqueta de Circuito Impreso

Una Plaqueta de Circuito Impreso (PCB) es el soporte físico en donde se instalan los distintos componentes electrónicos y estos se interconectan entre

sí a través de pistas de cobre (tracks) para generar los circuitos del sistema deseado. Para el desarrollo de la PCB se utiliza el entorno Kicad, este es un paquete de software libre que facilita el trazado de esquemáticos para circuitos electrónicos y su implementación en una placa de circuito impreso[20].

El esquemático de la figura 3.14 contempla al  $\mu\text{C}$  y los demás componentes electrónicos para la implementación de las diferentes etapas necesarias para este sistema. Estas son la adquisición y el acondicionamiento de la señal como también la etapa de comunicación. El detalle de estas topologías se hallan en el Capítulo Tecnología.

En una primera etapa del desarrollo se utiliza una plaqueta de prototipos (protoboard), la misma consiste en un tablero con orificios que se encuentran conectados eléctricamente entre sí de manera interna siguiendo patrones de líneas. Esta placa, permite insertar componentes electrónicos y cables para el armado de circuitos en una etapa de desarrollo lo que facilita analizar y comprobar el correcto funcionamiento de la integración de los sub-circuitos del sistema sin la necesidad de realizar multiples PCB previas al diseño de la plataforma final. Esta herramienta de desarrollo junto con el proceso antes descrito, es necesario para lograr el esquemático de la plataforma representado en la figura 3.14.

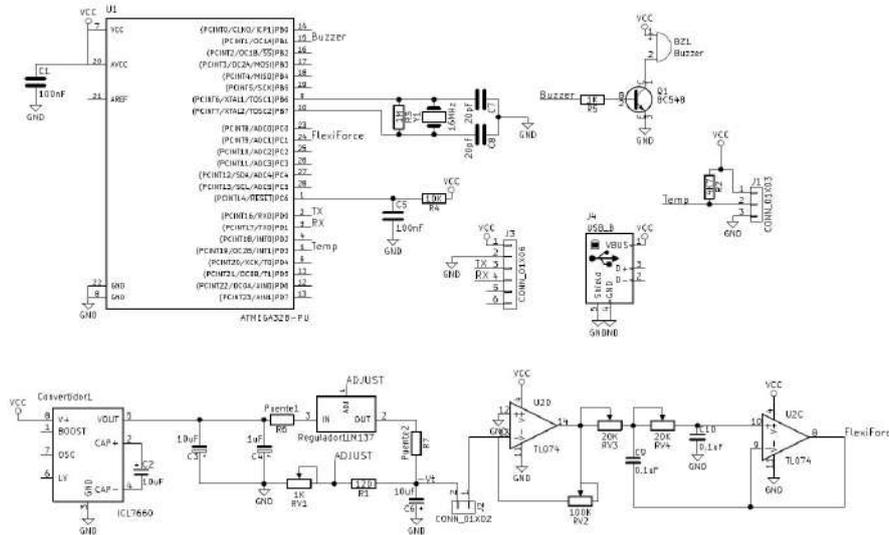


Fig. 3.14: Smart-Shield: Circuito esquemático.

Una vez comprobado y ajustado el funcionamiento deseado, se modela la PCB para diseñar el ruteo de las pistas como se observa en la figura 3.15. A su vez, para diagramar la distribución espacial de los componentes en la superficie de la plaqueta y prevenir posibles interferencias espaciales en el diseño se utiliza un modelo 3D con el espacio ocupado (footprints) por los componentes como se observa en la figura 3.16.

Para continuar con el desarrollo se envía el archivo CAD de la figura 3.15 al fabricante y se obtienen dos plaquetas idénticas, dejando una de repuesto por posibles contingencias de implementación. Esta es de capa de sustrato única, con componentes a través de orificio (Thru-Hole) y serigrafía para indicar la posición, orientación y referencia de las componentes que conforman el circuito. El montaje de los componentes electrónicos se realiza mediante un proceso manual y se utiliza soldadura de estaño para fijar los mismos a la placa. Finalmente, se verifica la continuidad de las pistas y se ensaya el circuito en el prototipo. El resultado final se puede apreciar en la figura 3.17.

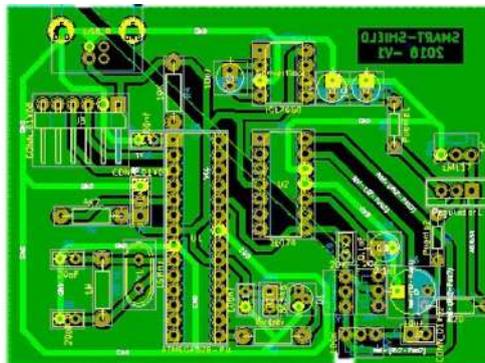


Fig. 3.15: Smart-Shield: Modelo Cad.

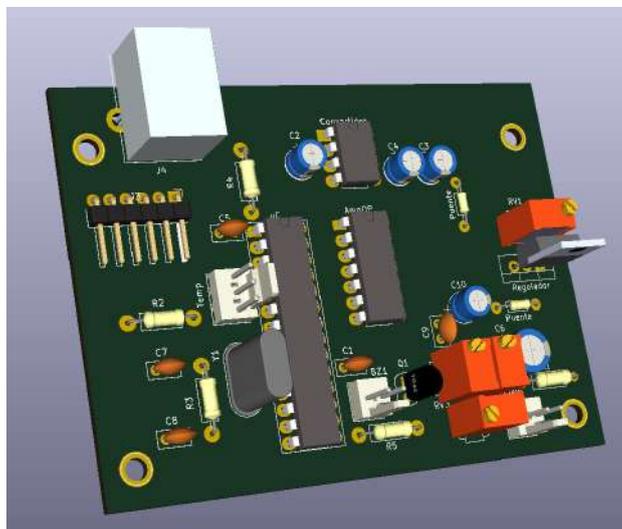


Fig. 3.16: Smart-Shield: Modelo 3D.

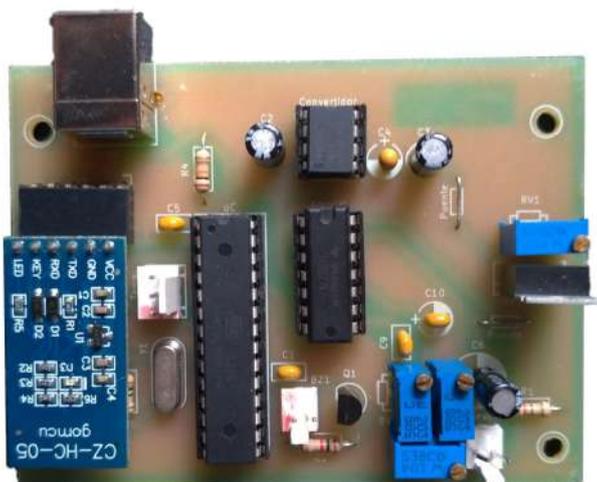


Fig. 3.17: Smart-Shield: Plataforma Implementada.

# Capítulo 4

## Tecnología

En este capítulo se realiza una descripción de la construcción e integración de las diferentes tecnologías utilizadas, junto con la justificación pertinente para su utilización en el desarrollo del proyecto.

### 4.1 Circuito Acondicionador

El correcto acondicionamiento de la señal de interés es una etapa fundamental dentro de un sistema, en este caso particular se refiere a la señal proveniente del sensor FF (ver 3.2.1). Luego es condición necesaria identificar la información que se desea extraer y cual es la mejor manera para lograrlo. En la figura 4.1 se puede observar un diagrama en bloques que muestra el sistema embebido desarrollado, con sus diferentes etapas: sensado y adecuación de la señal de interés, amplificación, filtrado, procesamiento y comunicación.



Fig. 4.1: Diagrama en bloque del sistema embebido.

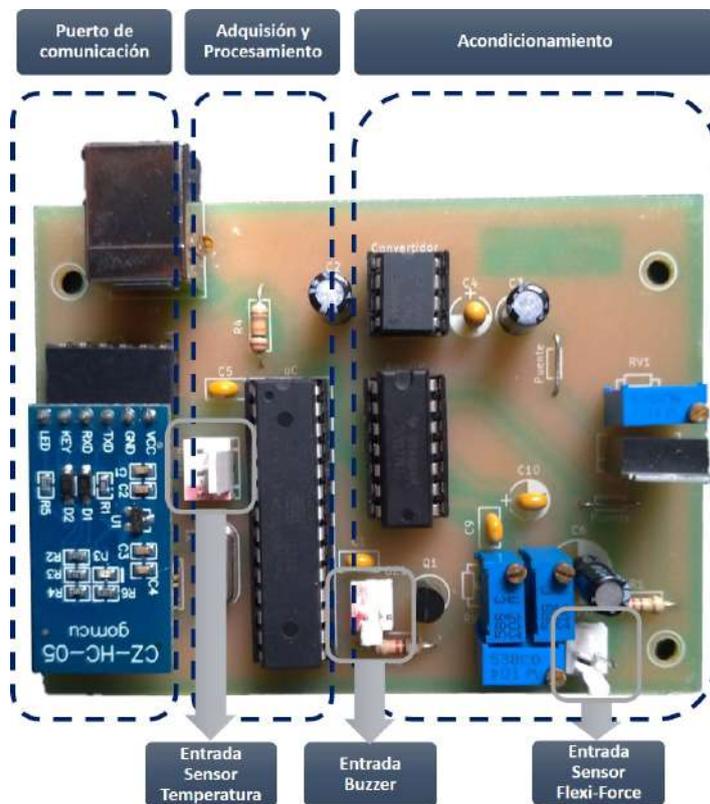


Fig. 4.2: Etapas del sistema embebido.

#### 4.1.1 Amplificación

La etapa de amplificación que es descrita en detalle en la sección Tecnología (ver 3.2.1), es implementada con un integrado TLV271[21] del tipo rail-to-rail, este permite que la máxima excursión de la salida sea próxima a la tensión de alimentación. Este efecto es una ventaja para el diseño ya que permite disponer de todo el rango dinámico del ADC por compartir el mismo voltaje de referencia.

Las características más relevantes son:

1. Salida Rail-to-Rail
2. Ancho de banda amplio: 3 MHz
3. Slew Rate alto:  $2.4V/\mu S$

4. Rango de tensión de suministro: 2.7V a 16V
5. Suministro de Corriente: 550  $\mu\text{A}$ /canal (en el proyecto se utilizan 2 canales, en el Filtro Sallen-Key y en driver del FlexiForce)

Si se analiza en detalle el circuito de acondicionamiento del sensor Flexi-Force (ver figura 3.5), se observa que la tensión de referencia ( $V_i$ ) del mismo es de signo negativo, aunque es requerido que la salida entregue un voltaje positivo. Para la conversión de signo necesaria, se configura el amplificador operacional en modo inversor como se puede observar en la figura 4.3, donde la ganancia de la etapa de aplicación es comandada por la ecuación 4.1.

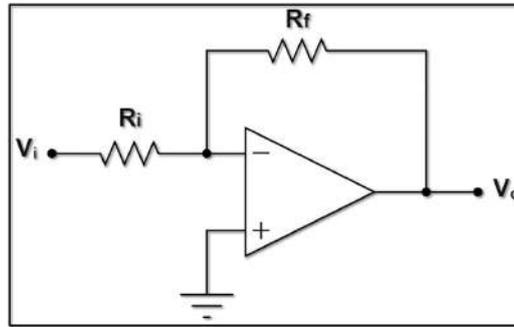


Fig. 4.3: Amplificador operacional configuración inversor.

$$V_{out} = -\frac{R_f}{R_i} * V_i \quad (4.1)$$

### 4.1.2 Filtrado

Para disminuir el ruido superpuesto a la señal amplificada del sensor, se implementa un filtro pasa-bajos activo de 2<sup>o</sup> orden realizado con una configuración Sallen-Key. El mismo ha sido seleccionado por sus características de gran atenuación fuera de la banda de paso (comparado con filtros pasivos RC de igual orden), alta impedancia de entrada, baja impedancia de salida, buena estabilidad y diseño de fácil implementación. En la ecuación 4.2 se muestra su transferencia.

$$V_i = V_o * \frac{1}{s^2 + s\left(\frac{1}{R_2C_1} + \frac{1}{R_1C_1}\right) + \frac{1}{R_1C_1R_2C_2}} \quad (4.2)$$

La topología de Sallen-Key es un diseño de filtro activo basado en un único amplificador operacional no inversor, dos resistencias y dos capacitores; creando así un diseño de fuente de voltaje controlado por voltaje con características de filtro de alta impedancia de entrada, baja impedancia de salida y buena estabilidad. En la figura 4.4 se puede observar un esquema del mismo.

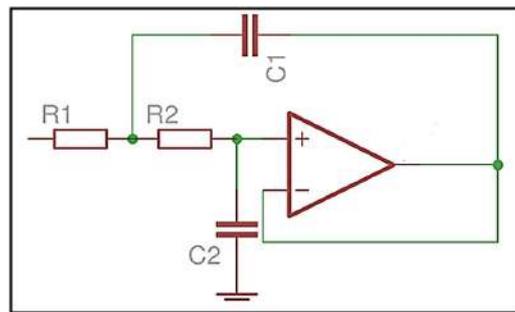


Fig. 4.4: Diagrama de filtro Sallen Key

Para medir la señal a la entrada y salida del filtro se utiliza el osciloscopio. Las resistencias son variables con un rango de  $20\text{K}\Omega$  y la capacidad de ambos condensadores se fija en  $0,1\mu\text{F}$ . Experimentalmente se ajustan dichas resistencias para lograr el efecto de filtrado deseado como se observa en la figura 4.5. La frecuencia de corte resulta de  $250\text{Hz}$  y la obtención de la misma se explica en detalle en el Capítulo Experimentos.

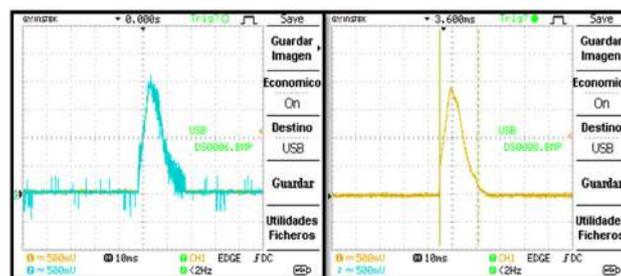


Fig. 4.5: Señal antes y después de ser filtrada

### 4.1.3 Convertidor de Tensión

La tensión de alimentación provista por la fuente estándar utilizada es de 5V, sin embargo la tensión requerida en uno de los extremos del FF es de -1.25V. Por esta razón se implementa un convertidor de tensión para invertir el voltaje de 5V a -5V en una primera etapa y luego a través de un regulador se disminuye de -5V a -1.25V como se explica en la sección siguiente Regulador de Tensión (ver 4.1.4). El convertidor utilizado es el ICL7660[22], cuyas características principales son:

1. Potencia de eficiencia típica: 98%
2. Eficiencia típica de conversión de tensión a circuito abierto: 99%
3. Amplio rango de tensión de suministro: 1.5V a 10V.
4. Solo requiere 2 componentes pasivos externos.

El diagrama del circuito implementado es el que se observa en la figura 4.6. Debido a que la tensión de alimentación es de 5v el pin 6 se deja a circuito abierto por recomendación del fabricante para evitar enclavamiento (latchup). Los capacitores son electrolíticos como estipula el datasheet.

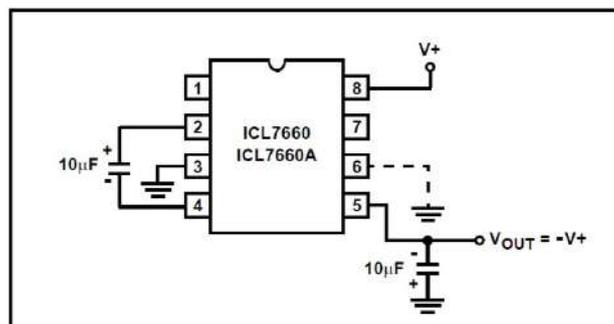


Fig. 4.6: Circuito convertidor.

### 4.1.4 Regulador de Tensión

Es empleado para disminuir la tensión de -5V presente a la salida del convertidor al voltaje a -1.25V requerido como referencia del FF. Se utiliza

el regulador de tensión negativo LM137[23], cuyas características principales son:

1. Rango de tensión de salida -1.25V a -37V.
2. Regulación de línea típica 0.01%/V.
3. Regulación de carga típica 0.3%.
4. Protección de sobrecarga térmica.
5. Protectores interna de corriente de cortocircuito.

El circuito empleado se muestra en la figura 4.7. A través de la R2 podemos comandar la tensión de salida que se desea, el C2 es de  $10\mu\text{F}$  y el capacitor de salida C1 se escoge de tantalio para proporcionar impedancia de salida mejorada y mayor rechazo de transitorios por recomendación del fabricante.

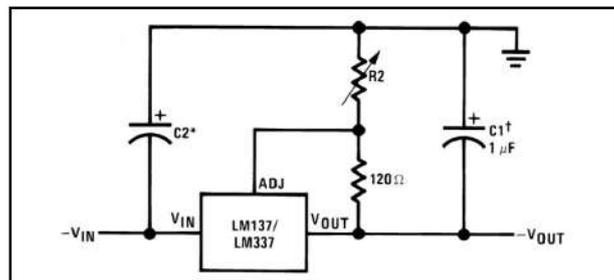
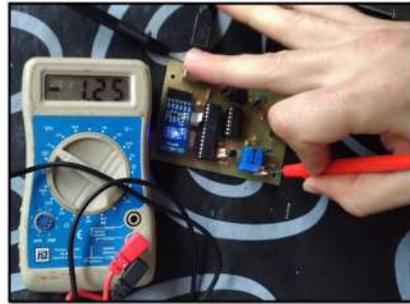


Fig. 4.7: Circuito regulador.

La forma de calcular la tensión de salida se resume en la ecuación 4.3.

$$-V_{out} = -1.25\left(1 + \frac{R2}{120\Omega}\right) + (-I_{ADJ} * R2) \quad (4.3)$$

En el desarrollo del proyecto, la tensión  $-V_{out}$  se halla a través de la regulación de  $R2=1\text{K}\Omega$  realizando una medición con un voltímetro digital como se observa en la figura 4.8.

Fig. 4.8: Acondicionamiento de  $-V_t$ .

## 4.2 Adquisición y Procesamiento

La etapa de adquisición y procesamiento se instrumenta con el  $\mu\text{C}$  ATmega328P de Microchip. Como ya se dijo en el Capítulo Tecnología, entre las especificaciones más relevantes se puede mencionar su bajo consumo, siendo esta una característica importante para sistemas portátiles, ya que parte del rendimiento del equipo queda condicionado por el tiempo que el usuario pueda utilizar el mismo de manera continua sin necesidad de recargar baterías. Por otra parte, los 8 bits del  $\mu\text{C}$  son suficientes para el flujo de datos que se procesan en este proyecto, mientras que los 10 bits de resolución de su conversor A/D, junto con el circuito de acondicionamiento del transductor de fuerza, permiten hacer uso de su rango dinámico con una resolución aproximada de 4.88mV. Además, gracias a la disponibilidad de un puerto serie del tipo USART se conecta un módulo Bluetooth HC-05, brindando una interfaz inalámbrica de comunicación, siendo el mismo utilizado para la transferencia de datos con el dispositivo Android.

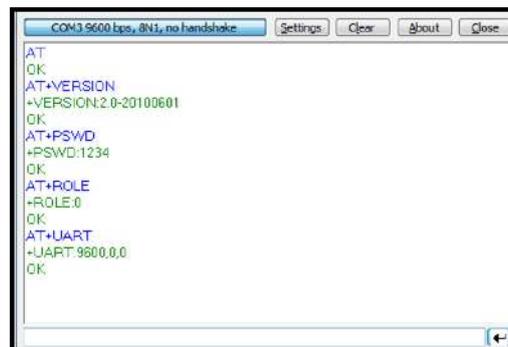
Otra de las particularidades de los  $\mu\text{Cs}$  de la línea ATmega es que todos los pines de E/S poseen integrado dentro del chip una resistencia de pull-up. Esto es una ventaja para aquellos proyectos que necesiten este modo de trabajo, ya que evita el uso de componentes adicionales y son configurables a través de una línea de código. En esta placa embebida los puertos no utilizados son configurados como entradas con pull-up para disminuir el consumo energético, y además prevenir interferencias provocadas por emisiones electromagnéticas.

### 4.3 Comunicación

El HC-05[24] utilizado es un módulo Bluetooth SPP (Protocolo de Puerto Serie) diseñado para una configuración de conexión en serie inalámbrica transparente. La versión del Bluetooth es 2.0 + EDR (velocidad de datos mejorada) posee modulación de 3 Mbps con un transmisor de radio completo de 2,4 Ghz. Sus características principales son:

1. Sensibilidad típica de -80 dBm.
2. Hasta +4 dBm de potencia de transmisión RF (radio de alcance de 5 a 10 metros).
3. Operación de baja potencia de 1.8V
4. UART con Baud Rate programable.
5. Antena integrada.
6. Control PIO (Peripheral Input/Output Controller).

A través del control PIO con una comunicación serie con el módulo y transmitiendo los comando AT se configuran los distintos parámetros del Bluetooth, tales como: versión, clave de emparejamiento, Baud Rate, rol de esclavo/maestro, nombre del dispositivo para mostrar, entre otras. En la figura 4.9 se observa un ejemplo de la ejecución de algunos de los comandos AT mencionados.



```
COM3 9600 bps, 8N1, no handshake Settings Clear About Close
AT
OK
AT+VERSION
+VERSION:2.0-20100601
OK
AT+PSWD
+PSWD:1234
OK
AT+ROLE
+ROLE:0
OK
AT+UART
+UART:9600,0,0
OK
```

Fig. 4.9: Comandos AT del control PIO.

## 4.4 Alimentación

La alimentación del sistema se realiza a través de un banco de batería de litio con conexión USB. Se adopta esta tecnología, debido a su amplia distribución comercial, bajo peso, delgado espesor, y por constituir una fuente de tensión inalámbrica libre de ruidos de la red eléctrica. Para determinar una capacidad mínima recomendada, se mide el consumo eléctrico del SS con un amperímetro conectado en serie con la alimentación. Los valores obtenidos se agrupan en tres estados:

1. Stand By sin conexión BT o Emparejado pero sin conexión a la app: 60mA
2. Conectado con la App: 25ma
3. Instantes de Recepción y Transmisión de datos: 40ma

Luego, en base a las pruebas de campo la utilización de un banco de baterías con capacidad de 1000mah nos permite una usabilidad mayor a 4 horas sin necesidad de realizar una recarga.

## 4.5 Sensor de Temperatura

El transductor de fuerza posee una variación en la lectura de fuerza por grado de cambio de temperatura de  $0.36\%/^{\circ}\text{C}$ , por lo tanto, por recomendación del fabricante se implementa un sensor para corregir la curva de Tensión Vs. Fuerza y así aumentar la precisión del sistema como se explica la sección Variación de Temperatura (ver 5.4). El sensor utilizado es el DS18B20[25], cuyas características principales son:

1. Interfaz única de *1-Wire* requiere solo un pin de puerto para la comunicación digital.
2. Rango de temperatura desde  $-55^{\circ}\text{C}$  hasta  $+125^{\circ}\text{C}$ .
3. Resolución programable desde 9 a 12 Bits.

En la figura 4.10 se observa una tabla que ejemplifica las distintas formas de presentar la temperatura con las distintas configuraciones para una resolución de 12 Bits.

TEMPERATURE (°C)	DIGITAL OUTPUT (BINARY)	DIGITAL OUTPUT (HEX)
+125	0000 0111 1101 0000	07D0h
+85	0000 0101 0101 0000	0550h
+25.0625	0000 0001 1001 0001	0191h
+10.125	0000 0000 1010 0010	00A2h
+0.5	0000 0000 0000 1000	0008h
0	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5	1111 1111 1111 1000	FFF8h
-10.125	1111 1111 0101 1110	FF5Eh
-25.0625	1111 1110 0110 1111	FE6Fh
-55	1111 1100 1001 0000	FC90h

Fig. 4.10: Relación entre información del sensor y la temperatura.

El formato de los registros se interpretan con las asistencia de la tabla de la figura 4.11. Los bits de signo (S) indican si la temperatura es positiva o negativa; para números positivos  $S = 0$  y para negativos  $S = 1$ . Los 3 Bytes restantes son los utilizados para identificar la temperatura medida de acuerdo a la ponderación correspondiente.

	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
LS BYTE	$2^3$	$2^2$	$2^1$	$2^0$	$2^{-1}$	$2^{-2}$	$2^{-3}$	$2^{-4}$
	BIT 15	BIT 14	BIT 13	BIT 12	BIT 11	BIT 10	BIT 9	BIT 8
MS BYTE	S	S	S	S	S	$2^6$	$2^5$	$2^4$

S = SIGN

Fig. 4.11: Formato del registro de temperatura en resolución de 12 Bits.

# Capítulo 5

## Experimentos

En este capítulo se detalla el análisis y los experimentos llevados a cabo para corroborar las hipótesis planteadas a lo largo de la investigación, junto con el marco teórico que justifica los tipos de experimentos realizados.

### 5.1 Depuración Inalámbrica

Docklight es una herramienta de prueba, análisis y simulación para protocolos de comunicación en serie. Funciona con los puertos de comunicación COM proporcionados por el sistema operativo Windows, siendo en la mayoría de los casos puertos series virtuales implementados a través USB. Permite especificar respuestas definidas por el usuario a las diferentes secuencias de comunicación recibidas, gracias a lo que es posible construir simuladores básicos para dispositivos serie en unos pocos minutos. También es útil para rastrear errores enviando comandos de diagnóstico después de recibir el mensaje de error. A su vez puede enviar secuencias definidas por el usuario de acuerdo con el protocolo utilizado y puede reaccionar a las secuencias entrantes. Esto hace posible simular el comportamiento de un dispositivo de comunicación en serie, lo que es particularmente útil para generar condiciones de prueba en la etapa de desarrollo del mismo[26].

Esta herramienta permite enviar los comandos esperados por el microcontrolador START y STOP (ver 3.3) sin la necesidad de ejecutar la App en Android. Resulta de utilidad para comprobar que el Firmware funciona

como se espera. Sirve también para monitorear los comandos en distintas etapas del desarrollo, facilitando el debuggeo por caracteres no deseados o insuficientes. En el momento de medición con osciloscopio, es útil para reducir la cantidad de componentes, poder disparar la medición y corroborar el muestreo del ADC. En la figura 5.1 podemos observar una captura de la pantalla de trabajo.

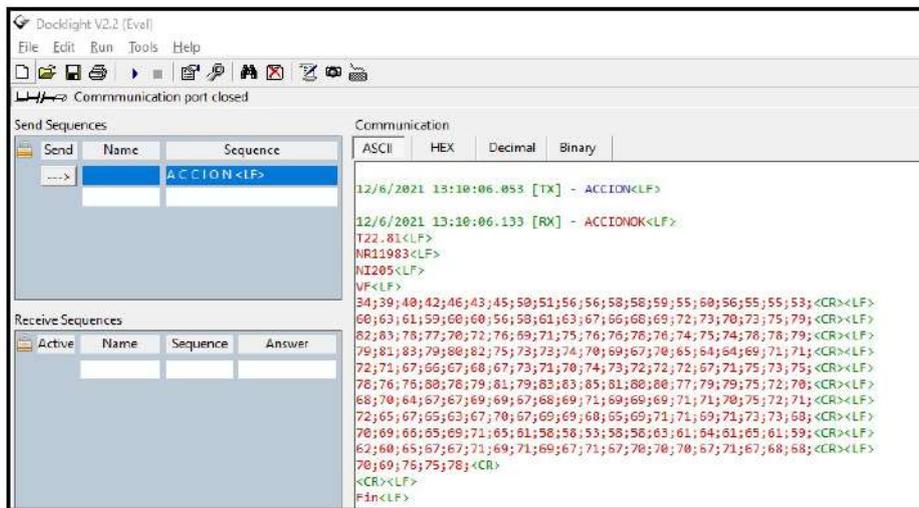


Fig. 5.1: Interfaz Docklight.

En la ventana de comunicación se observa el detalle de la información que se transmite desde la PC [TX] y también los valores que se reciben desde el  $\mu\text{C}$  [RX]. En este caso la comunicación es realizada por USB, pero reproduce fielmente a lo que sucede con el intercambio inalámbrico provisto por el Bluetooth. La secuencia comienza cuando se envía el comando ACCION, esta directiva habilita en el  $\mu\text{C}$  el comienzo de la medición y en el mismo instante, la emisión de la señal auditiva. Luego del impacto, los valores medidos son enviados por la USART. A continuación se detallan las variables presentes en la comunicación que se muestran en la figura 5.1.

1. ACCION, comando de inicio de la medición enviado desde la PC.
2. ACCIONOK, respuesta al inicio de la medición desde el  $\mu\text{C}$ .
3. T22.81, es la temperatura expresada en grados Celsius.

4. NR11983, es el tiempo de reacción expresado en milisegundos.
5. NI205, es el tiempo de duración del impacto expresado en milisegundos
6. VF, son vectores de las muestras de la medición de fuerza.
7. Fin, es el comando de finalización de la medición enviado por el  $\mu\text{C}$ .

## 5.2 Ensayos Destructivos

Una carga dinámica es aquella que se aplica de forma súbita, como en el caso de impacto de una masa en movimiento. El esfuerzo mecánico de los materiales bajo carga dinámica puede en ocasiones diferir marcadamente de su comportamiento bajo cargas estáticas o lentamente aplicadas. Los golpes de puño y patadas son cargas dinámicas, para cuantificar la energía involucrada en las técnicas de los de los atletas se construyó un Péndulo de Charpy[27][28].

### 5.2.1 Esfuerzo Mecánico

El estrés y la tensión son conceptos fundamentales que se utilizan para describir como responde un cuerpo a una carga externa. Para este caso, los cuerpos bajo análisis son tablas de madera y la carga es la que imprima cada golpe sobre las mismas.

Se define el estrés mecánico ( $\sigma$ ) como la distribución de las fuerzas internas dentro de un cuerpo bajo la acción de una carga externa. Las magnitudes en juego son  $[\frac{FUERZA}{AREA}]$ , que en el sistema internacional (SI) se adoptan las unidades  $[Pa = \frac{N}{m^2}]$ . Puede surgir confusión entre valores de estrés y presión ya que ambas se calculan como el producto de la fuerza por el área, sin embargo la presión se aplica a la superficie exterior del cuerpo, mientras que el estrés como se dijo, es producido en el interior del mismo.

Se define a la tensión mecánica ( $\epsilon$ ) como la deformación que ocurre dentro de un cuerpo bajo la acción de una carga externa. Es una variable adimensional ya que surge del cociente entre el cambio de la longitud ( $\Delta L$ ) por acción de la carga externa y la longitud normal del cuerpo (L), es decir, en ausencia de una carga externa. Esta relación esta descrita en la ecuación 5.1.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (5.1)$$

Las variables estrés ( $\sigma$ ) y tensión ( $\epsilon$ ), se relacionan a través de un diagrama de tensión-estrés. Estos diagramas son diferentes para distintos materiales, y se obtienen a través de un prueba de tensión. Dicho experimento consiste en aplicar una fuerza creciente y conocida a una probeta, mientras que se mide el estrés y la tensión mecánica de la misma. El resultado es un diagrama como se muestra en la figura 5.2[29].

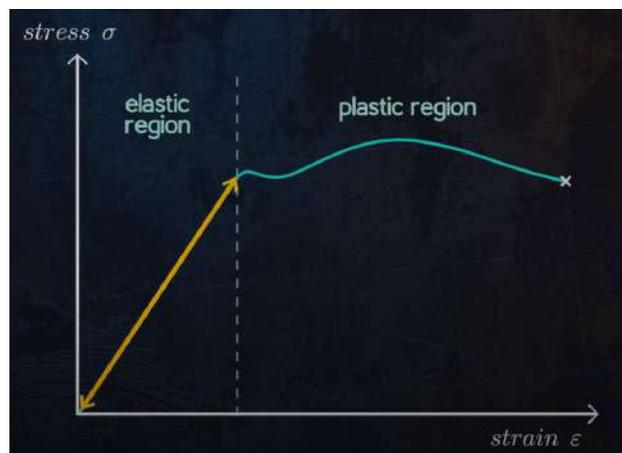


Fig. 5.2: Diagrama tensión-estrés.

A partir de la curva se pueden observar dos regiones, a la izquierda en naranja una zona lineal llamada región elástica y a la derecha en verde una zona a lineal conocida como región plástica. Es posible interpretar físicamente el comportamiento descrito por estas regiones de la siguiente manera:

Si el estrés aplicado es bajo y se permanece dentro de la región elástica, el cuerpo recupera sus dimensiones originales cuando la carga externa se extingue. La relación entre tensión y estrés para esta zona es gobernada por la ley de Hooke, expresada en la ecuación 5.2. Donde  $E$  es el Módulo de Young o Módulo de Elasticidad. Esta magnitud depende de la estructura atómica y da cuenta de la tenacidad del material, es decir, mientras mayor es su módulo, mayor será la tenacidad del material y por tanto la deformación elástica será menor para una carga externa dada. En la figura 5.3 se presentan

curvas de regiones elásticas para diferentes materiales, es decir, para distintos módulos de elasticidad.

$$\sigma = E * \epsilon \quad (5.2)$$

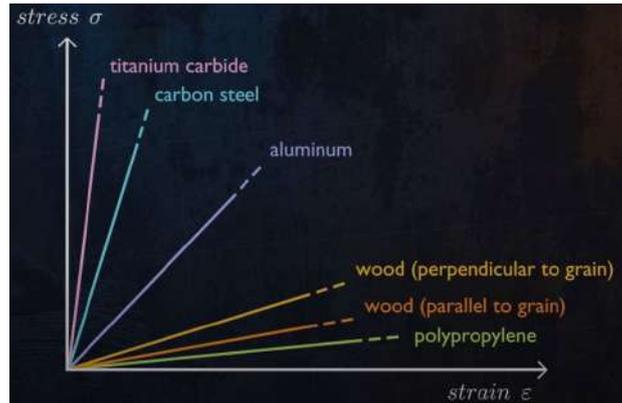


Fig. 5.3: Diagramas tensión-estrés para distintos módulos de elasticidad. Carburo de titanio, acero carbono, aluminio, madera (perpendicular a la veta), madera (paralela a la veta), polipropileno

Por otro lado, si el estrés es tal que se posiciona en la región plástica de la curva en la figura 5.2, el cuerpo se deforma y no recupera sus dimensiones originales cuando la carga externa cesa. Analizando la curva en esta región podemos diferenciar dos grandes grupos, los materiales dúctiles y quebradizos. Los dúctiles, presentan elevada tensión de fractura. Un ejemplo de este grupo es el acero dulce utilizado comúnmente en herrajes. Los materiales quebradizos, en cambio, poseen baja tensión de fractura con una zona plástica muy pequeña o nula. La figura 5.4 muestra una comparativa entre estos dos tipos de materiales en un diagrama tensión-estrés.

Es importante señalar que las tablas de madera bajo análisis en el presente proyecto son consideradas dentro de este último grupo, es decir, quebradizas. Por lo tanto si el impacto no es suficiente para atravesar la tabla, esta se comportará de forma elástica. Caso contrario, si la carga es la suficiente para vencer el límite elástico del material, este presentará una región plástica tendiente a cero, con lo cual se quebrará al instante de haber atravesado el mencionado límite.

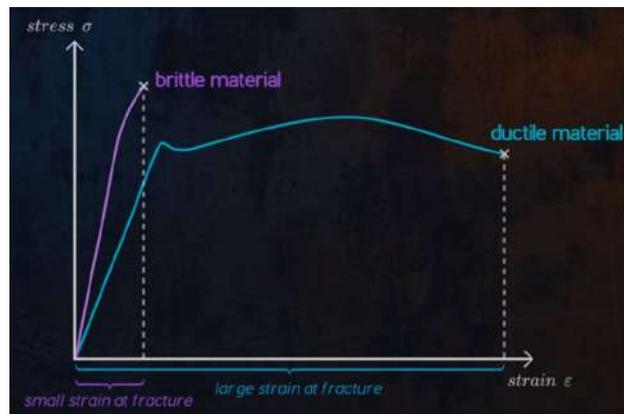


Fig. 5.4: Diagrama tensión-estrés material dúctil vs quebradizo

Como corolario surge el concepto de tenacidad, que se define como la capacidad de un material para absorber energía hasta su fractura. Se calcula a través del área debajo de la curva del diagrama tensión-estrés. Luego, por lo antes expuesto, un material quebradizo tendrá tenacidad baja, mientras que un material dúctil tendrá una tenacidad elevada. La interpretación gráfica se observa en el figura 5.5.

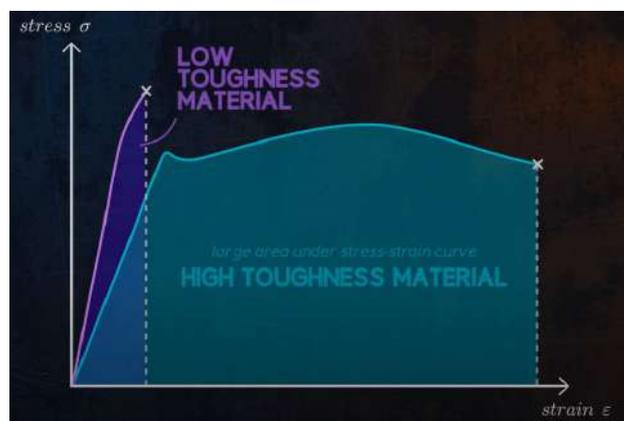


Fig. 5.5: Tenacidad, área debajo de la curva

Para finalizar esta sección, se introduce al lector diferentes tipos de estrés mecánico que se detallan en la figura 5.6. Con el objetivo de dejar claro que las tablas bajo análisis trabajan a la flexión con 2 vínculos estáticos provistos por agarres laterales, mientras que el tercer vector dinámico es generado por

la masa móvil al momento de impacto.

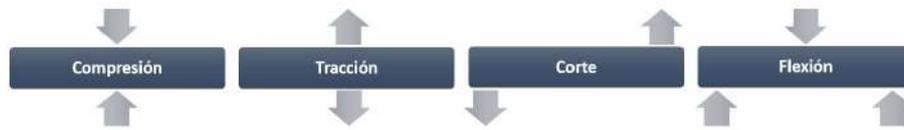


Fig. 5.6: Compresión, Tracción, Corte y Flexión en un cuerpo

### 5.2.2 Péndulo de Charpy

Fue ideado por el ingeniero francés Augustin Georges Albert Charpy (1865-1945) que le da su nombre en el año 1905. El experimento está basado en la teoría de la conservación de la energía entre dos puntos (ver 7.6) y permite determinar la tenacidad de un material cuando se emplean cargas dinámicas. Entendiendo por tenacidad a la resistencia que presenta un material al oponerse a ser flexionado o quebrado. El dispositivo construido se puede observar en la figura 5.7.



Fig. 5.7: Péndulo de Charpy.

Como en toda construcción mecánica, es de esperar pérdida energética por fricción, deformación de los apoyos, vibraciones de componentes, entre otras. Estos efectos se minimizaron con el diseño implementado como se explica en el Apéndice del presente documento (ver 7.8). Los ensayos de impacto, como ya se mencionó, se realizan sobre tablas cuadradas de pino con las siguientes medidas estandarizadas: 2.54 cm de espesor y 30 cm de lado. En la figura 5.8 se pueden observar las mismas.



Fig. 5.8: Madera de pino, antes y después del corte y cepillado.

Como ya se dijo, las tablas trabajan a la flexión en 3 puntos, 2 vínculos estáticos y el impacto incidente en el centro de las mismas. La masa del péndulo se deja caer en forma iterativa a partir de alturas conocidas y crecientes sobre la tabla de madera hasta que esta se quiebra. Es decir, se busca salir de la región elástica hasta que el trabajo realizado por el péndulo sea suficiente para romper la madera (ver 5.2.1). A través de la ley de conservación de energía y conociendo la diferencia entre la altura inicial del péndulo ( $h$ ) y la final tras el impacto ( $h'$ ) es posible medir la energía absorbida a través de la ecuación 5.3. En la figura 5.9 podemos observar el detalle de la implementación del reglado para que las alturas sean constantes para todos los ensayos. A su vez, se encuentra el mecanismo de accionamiento, este se extrae a través de una cuerda para estandarizar la liberación de la masa.

$$E = m.g.(h' - h) \quad (5.3)$$



Fig. 5.9: Reglado de alturas y mecanismo de accionamiento.

### 5.2.3 Aspectos Principales

Los aspectos principales de una máquina de impacto tipo Charpy, pendular y de un único impacto, son 3:

1. Una masa móvil cuya energía cinética es suficiente para romper la tabla colocada en su trayectoria. Esta masa tiene un movimiento pendular y consiste de una barra relativamente liviana, pero suficientemente rígida, con una pesa en su extremo. La barra está suspendida de un eje corto que gira en rodamientos y se balancea entre dos soportes verticales. La masa que hace contacto con la tabla es redondeada y alineada de manera que establezca contacto con la tabla sobre un plano vertical.

2. Un soporte sobre el cual se coloca la tabla para recibir el impacto.

3. Un medio para medir la energía residual de la masa móvil después que la madera haya sido rota. La energía cinética es determinada y controlada por la masa del péndulo y la altura de la caída libre, medidas respecto al centro de masa.

Sobre este último punto, se realiza una modificación. En lugar de medir la altura  $h'$  para obtener la energía residual, se mide la fuerza con el SS. Es decir, en primera instancia se ensayan todas las maderas del ensamble para hallar un valor modal para el umbral de rotura. Este se corresponde con una altura en la escala reglada del péndulo. Luego se reemplaza la

tabla por el SS, se realiza el lanzamiento desde dicho punto para hallar el valor de fuerza buscado. De esta manera, se minimizan errores ya que las condiciones de ensayo son practicante idénticas. En las figura 5.10 se observa la configuración para medir tablas, mientras que la figura 5.11 muestra la disposición con el SS.



Fig. 5.10: Ensayo Charpy con tabla de pino.



Fig. 5.11: Ensayo Charpy con Smart-Shield.

#### 5.2.4 Empírica

A continuación, en la primera columna de la tabla de la figura 5.12 se observa la escala reglada trazada en el péndulo, en la columna siguiente se detalla su correspondiente altura desde el centro de la masa móvil al piso (ver

5.2.3) y en la tercer columna se dispone también de la diferencia de altura ( $\Delta h$ ) entre la masa móvil en las distintas posiciones y su posición inicial.

Escala Charpy	Altura Absoluta [Cm]	Diferencia de Altura [Cm]
7	33,0	11,5
8	34,0	12,5
9	35,0	13,5
10	36,0	14,5
11	37,0	15,5
12	38,0	16,5
13	39,0	17,5
14	40,0	18,5
15	42,0	20,5
16	43,0	21,5
17	44,0	22,5
18	45,5	24,0
19	46,5	25,0
20	48,0	26,5
21	49,5	28,0
22	51,0	29,5
23	52,5	31,0
24	54,0	32,5
25	55,5	34,0
26	57,0	35,5
27	58,5	37,0
28	60,0	38,5
29	61,5	40,0
30	63,5	42,0
31	65,0	43,5
32	67,0	45,5
33	69,0	47,5
34	71,0	49,5
35	73,0	51,5
36	74,0	52,5
37	76,0	54,5

Fig. 5.12: Escala reglada de Charpy con sus alturas.

Se analizan un total de 13 tablas cortadas y cepilladas a partir de un mismo tablón, el detalle se aprecia en la figura 5.9. Para el primer ensayo, se coloca una masa móvil de 4.350g, ésta resulta de un peso elevado para el análisis ya que la cantidad de movimiento (ver 7.7) que desarrolla es desproporcionada para la prueba. En otras palabras, no es posible utilizar todo el rango de la regla del péndulo lo que hubiera restado resolución al instrumento. Por esta razón, se disminuye el peso de la masa a 2.500g y esta se mantiene a lo largo de todos los ensayos. Todas las pruebas son documentadas con 2 cámaras de grabación en simultáneo, ambas de muy alta velocidad (120fps)

y resolución FULLHD (1920x1080p). Éstas se ubican en planos de interés para la comprensión de la dinámica de la demostración. La primera de las cámaras registra todo el movimiento del péndulo, desde la liberación de la masa hasta el impacto en la tabla. Mientras que la segunda, es ubicada de tal forma de focalizar el análisis en el comportamiento de la tabla. En la figura 5.13 se muestra un plano de cada ejemplo y a su vez se invita al lector a observar los vídeos mencionados en el canal de YouTube en el link adjunto en la Bibliografía[30].

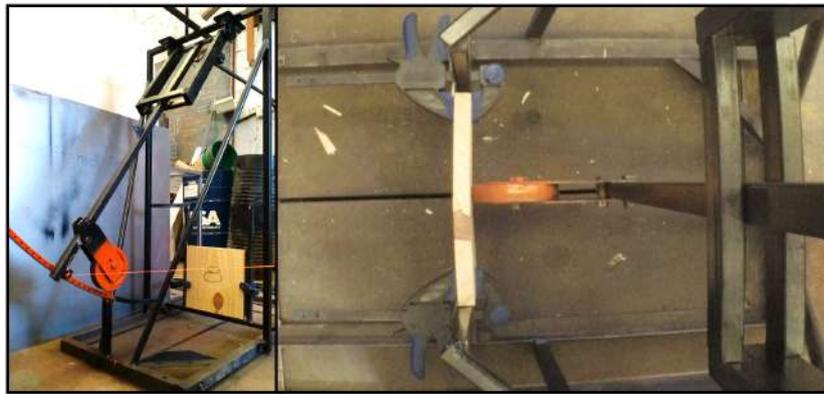


Fig. 5.13: Planos de grabación.

Luego de ensayar todas las muestras se plasman los datos en el gráfico de la figura 5.14. A partir del cual se realizan consideraciones tanto cualitativas respecto a lo observado en las pruebas, como cuantitativas gracias a los datos recolectados. Respecto a lo cualitativo, se observó que la presencia de nudos constituyen nudos de tenacidad (ver 5.2.1) y que luego de quebrar la madera se conservan. Es decir, el nudo no se quiebra sino que permanece completo en una de las mitades resultantes de la rotura de la tabla, fenómeno observado en tablas 2, 8 y 10. También, la elección de la veta se debe hacer de tal forma que la herramienta de impacto pueda atravesar el objetivo. Para el caso del péndulo de Charpy siempre fueron paralelas a la barra oscilante mientras que en la práctica de Taekwon-Do existe una orientación de la veta que favorece la rotura de acuerdo a la técnica empleada como se puede observar en la figura 1.1. A estas dos consideraciones, se adiciona una muy importante, que se explica a través de las muestras 6 y 9, ambas tablas se disponen de

acuerdo a las consideraciones anteriores, sin embargo, la tabla 6 se rompe desde la posición 11 de la regla de Charpy, mientras que la tabla 9 se quiebra en la posición 37 de la misma. Analizando en detalle, se observa que en apariencia son similares en la cara de incidencia de los impactos, aunque no ocurre lo mismo desde una vista superior de las mismas. La Tabla 6 presenta una veta convexa respecto a la incidencia del golpe, mientras que la tabla 9 presenta una veta cóncava (lo mismo sucede en la Tabla 11). Esto puede observarse con claridad en la figura 5.15. Luego, según lo experimentado si las vetas se disponen de forma cóncava a la incidencia del impacto, la tenacidad de la madera incrementa considerablemente. Esta información es una gran contribución para el practicante de roturas de tablas, que junto a las dos consideraciones antes mencionadas, deben ser tenidas en cuenta a la hora de disponer las maderas ya que la orientación de la mismas influye directamente en su tenacidad.

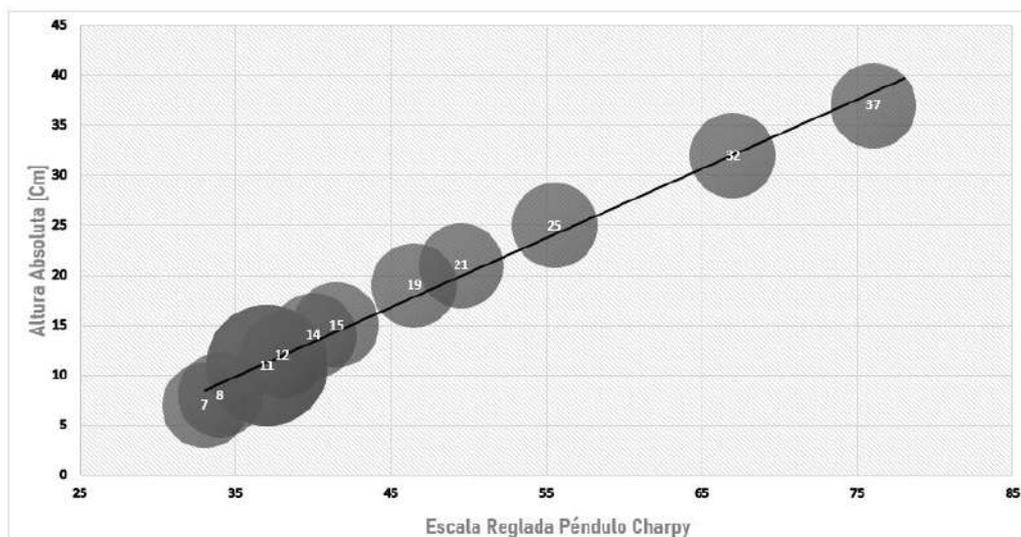


Fig. 5.14: Resultados de los ensayos destructivos.

Analizando la figura 5.14 se observa que los valores 32 y 37 se corresponden con las tablas 9 y 11 respectivamente. Además se aprecia una separación de estas muestras respecto al resto, esto se le atribuye al efecto de la disposición cóncava de la veta al momento de la rotura. Motivo por el cual se adopta como valor modal la esfera 25, y este es el criterio con el cual se fija

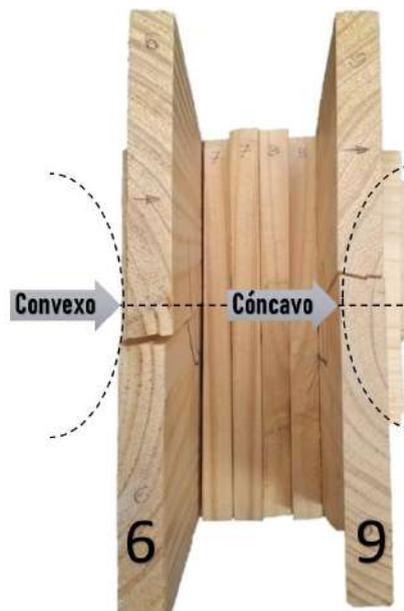


Fig. 5.15: Tablas 6 y 9: Vetas convexas vs cóncavas.

el umbral de rotura en el código del programa. Esta cota resulta razonable ya que se estaría en condiciones de romper el 100% del ensamble asumiendo la correcta disposición de las vetas, o el 83.33% del total de muestras sin esta salvedad.

Llegado este momento se coloca el SS exactamente en el mismo lugar que las tablas realizando una adaptación del soporte como se muestra en la figura 5.11. Se agrega al experimento un osciloscopio y se mide la señal producida a la salida del circuito acondicionador luego del impacto del péndulo. Este ensayo se realiza de manera iterativa, ajustando la resistencia de realimentación de la etapa de amplificación mostrada en la figura 3.5. El procedimiento se repite hasta que el impacto indica una tensión máxima del 25% del fondo de escala del conversor analógico digital. De esta manera se asegura un rango dinámico adecuado y se evitan saturaciones sobre la medición.

Luego del análisis de múltiples golpes realizados en el SS por practicantes avanzados y mediante el uso de un osciloscopio, se obtuvo experimentalmente que la duración de un impacto ejecutado correctamente es aproximadamente de 15ms. Esto permite establecer que la frecuencia de muestreo de 30kHz es más que suficiente para adquirir la señal para su análisis y representación

gráfica.

En la figura 5.16 se observa un ejemplo de un golpe ejecutado correctamente en la curva de color azul, de corta duración y un pico de amplitud definido, indicando que la concentración de fuerza al momento de aplicar la técnica fue adecuada. En cambio en la misma figura pero en rojo se presenta un golpe mal ejecutado, cuya duración es de alrededor de 200ms y no se distingue claramente un máximo de la fuerza aplicada sobre el escudo.

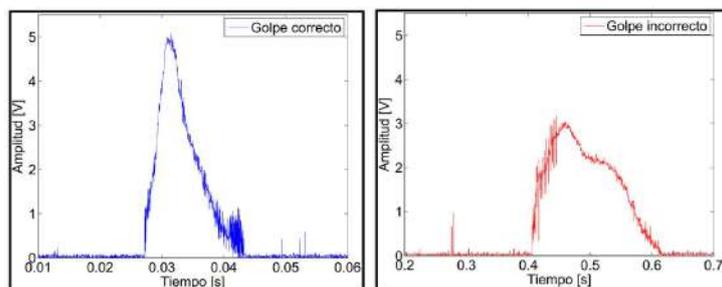


Fig. 5.16: Análisis de impacto en osciloscopio.

En la figura 5.17 se muestra en azul el contenido espectral del golpe bien ejecutado y en rojo uno mal ejecutado. Se puede apreciar que el primero posee un ancho de banda mayor que el segundo, ya que se trata de una señal más rápida, y que luego de 100Hz la amplitud tiende rápidamente a cero. Es así como la frecuencia de corte configurada para el filtro pasa bajos Sallen Key resulta de 250Hz.

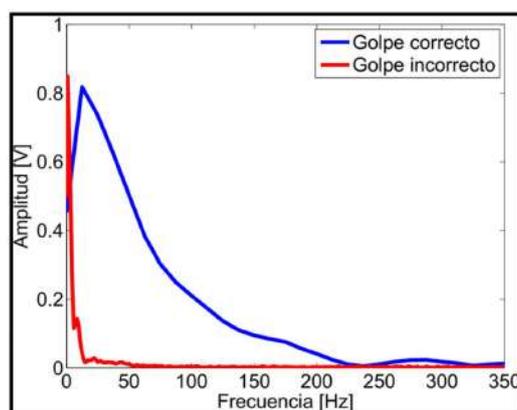


Fig. 5.17: Contenido espectral de impactos.

## 5.3 Calibración

La calibración es la comparación documentada del dispositivo de medición que se va a calibrar con un instrumento de referencia rastreable. En otras palabras, se establece en una primera etapa la relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas, obtenidas a partir de los patrones de medida y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas. En una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación. Una calibración puede expresarse mediante una declaración, una función de calibración, un diagrama de calibración, una curva de calibración o una tabla de calibración. En algunos casos, puede consistir en una corrección aditiva o multiplicativa de la indicación con su incertidumbre correspondiente[31][32].

La forma de calibración sugerida por el fabricante del FF es a través de una curva de calibración. Para ello se aplican fuerzas conocidas al sensor y se iguala la salida de la resistencia del sensor a dicha fuerza. Este proceso se repite con una serie de fuerzas conocidas que se aproximen al rango de carga que se utiliza en la pruebas. Con estos datos, se traza la fuerza frente a la conductancia ( $G = \frac{1}{R}$ ). Finalmente mediante una interpolación lineal entre la carga cero y las cargas de calibración conocidas se determina el rango de fuerza real que coincide con el rango de salida del sensor. Este proceso por recomendación del fabricante se realiza en tres etapas:

1. Acondicionamiento del Sensor (ver 3.2.2): Se aplica fuerza en intervalos de diez segundos al 120% de la fuerza máxima esperada de tres a cinco veces.
2. Ajuste de sensibilidad: Se aplica la fuerza máxima esperada por 10 segundos y se ajusta el circuito al 90% de su salida máxima.
3. Curva de calibración:
  - (a) Se registra la salida del circuito con el sensor descargado.
  - (b) Se aplica un punto de calibración del 10% de la carga máxima. Se registra la salida del circuito.

- (c) Se aplica un punto de calibración del 50% de la carga máxima. Se registra la salida del circuito.
- (d) Se aplica un punto de calibración del 100% de la carga máxima. Se registra la salida del circuito.

Se realiza una interpolación lineal para hallar todos los valores intermedios de la curva Fuerza vs. Tensión.

La calibración es sin dudas uno de los mayores desafíos del presente proyecto, en la figura 5.3 se observa un diagrama que sirve de soporte para explicar el procedimiento llevado a cabo. Esta meta requirió una fuerte relación entre varias especialidades incluidas en la carrera de grado, tales como: mecánica clásica, teoría de redes, física experimental, entre otros, como así también varias secciones de este documento para describirlo con el detalle suficiente.



Fig. 5.18: Diagrama de calibración.

Realizando una lectura desde abajo hacia arriba en la figura 5.18 se observan dos columnas que se desarrollan en paralelo para lograr la calibración del SS. La construcción del Péndulo de Charpy es necesaria para comprender el comportamiento de cargas dinámicas, realizar ensayos destructivos y

encontrar el valor umbral de rotura representativo del ensamble de muestras (ver 5.2). De forma simultánea, se desarrolla la confección del escudo que da el sustento para la integración mecánica del FF (ver 3.2.2). Llegado a este punto, se intercambian las tablas por el SS en el Péndulo de Charpy lo que permite convertir la figura de mérito en un valor de tensión. Dicho valor de voltaje constituye un hito en el proyecto, ya que cuantifica la energía necesaria para romper la tabla de pino bajo análisis. A partir de este valor es posible trazar la curva de Fuerza vs. Tensión que sumada a una interpolación lineal constituye la calibración del SS.

## 5.4 Variación de Temperatura

Los resultados de las mediciones del sensor variarán si se combinan grandes cargas con altas temperaturas. Para garantizar la precisión, el fabricante recomienda realizar la calibración del sensor a la temperatura a la cual este es utilizado. Si el sensor se utiliza a diferentes temperaturas, se debe realizar una calibración para cada temperatura de uso. Es decir, distintas curvas de calibración de acuerdo a la temperatura en donde el SS es utilizado. Luego el agregado del sensor DS18B20 (ver 4.5), permite cambiar de curva de acuerdo a la temperatura sensada. Sin embargo, para obtener dichas curvas, es condición necesaria contar con una sala de experimentación donde la temperatura es controlada. Este requisito no es alcanzado por el presente proyecto. La curva de calibración implementada es única y se obtuvo a una temperatura de 22°C. En la figura 5.19 se muestra el error asociado por la variación de la misma para distintas temperaturas.

Aunque el error asociado es bajo para esta aplicación y que la temperatura ambiente para un lugar de práctica es muy similar a la establecida, en el caso que este no quiera ser asumido, se plantea una alternativa ante la imposibilidad de disponer un ambiente controlado para los ensayos de Charpy y lograr las distintas curvas. Es posible recurrir a un ajuste manual de acuerdo a la estacionalidad, es decir repetir el ensayo para distintos momentos del año de acuerdo a la temperatura promedio donde el dispositivo sea utilizado. Por ejemplo, en la figura 5.20 se observa la temperatura promedio de la ciudad de Mar del Plata donde este proyecto es realizado. Se puede apreciar que

los 22°C como temperatura de error 0% resulta razonable para el intervalo de Noviembre a Marzo, mientras que entre Abril y Octubre seria necesario trazar al menos otra curva[33].

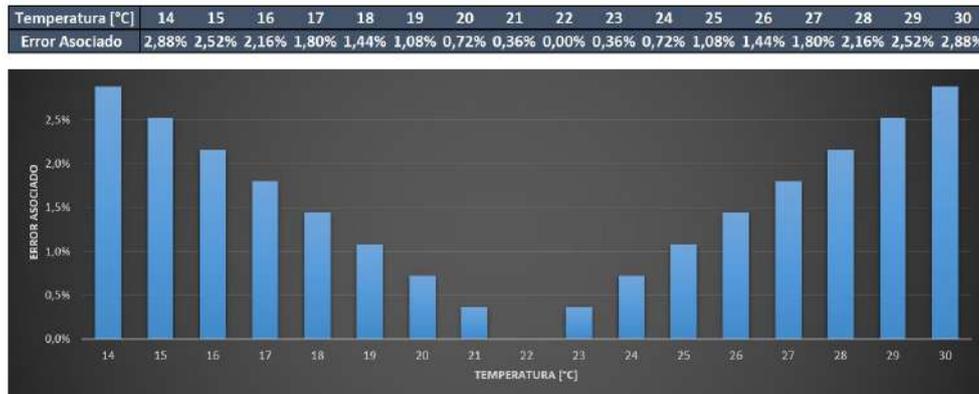


Fig. 5.19: Tabla y gráfica de los errores asociados a cada temperatura de operación.

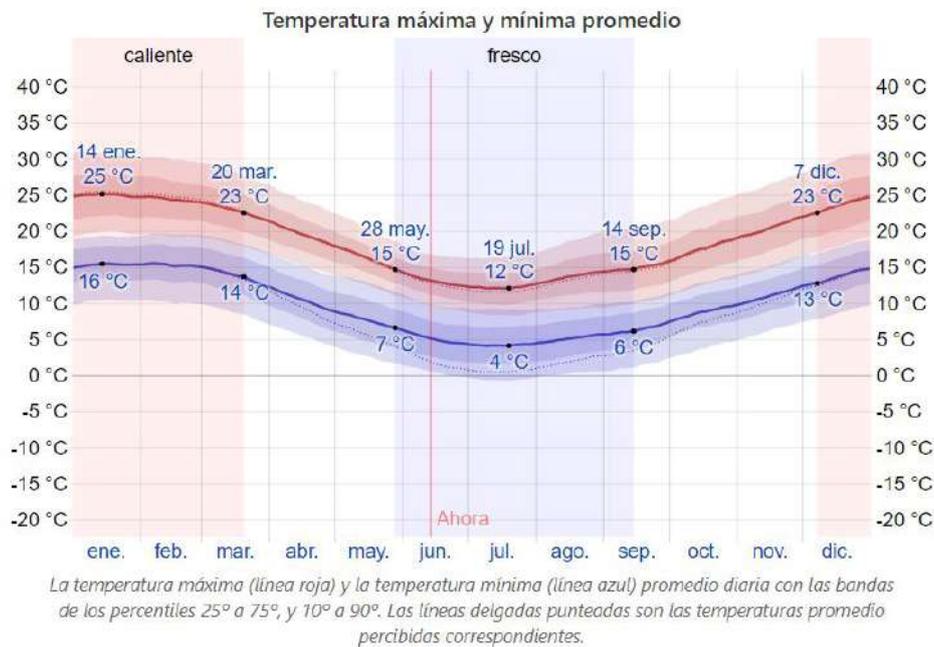


Fig. 5.20: Temperatura promedio Mar del Plata, Argentina.

## 5.5 Pruebas de Campo

Para obtener una realimentación respecto al prototipo se incluyó a practicantes de distintos lugares de entrenamiento de Taekwon-Do. Se buscó voluntarios de distintas edades, graduaciones y también de otras disciplinas como Boxeo y Kick-Boxing. El común denominador hallado, es el entusiasmo que genera poder dar un valor a los golpes como la novedad de la instrumentación virtual en dispositivos Android. A continuación algunas imágenes con el Smart-Shield. Sumado a esta excelente experiencia, se proyecta la organización de un torneo Smart-Shield para principiantes como una primera aproximación a las competencias en lugar del tradicional contienda de roturas. La idea consiste en transmitir la pantalla del dispositivo Android a través de la tecnología *Screen Mirroring* en un TV para que los participantes puedan observar la medición de cada participante y de esta forma elegir el que genere la mayor marca.

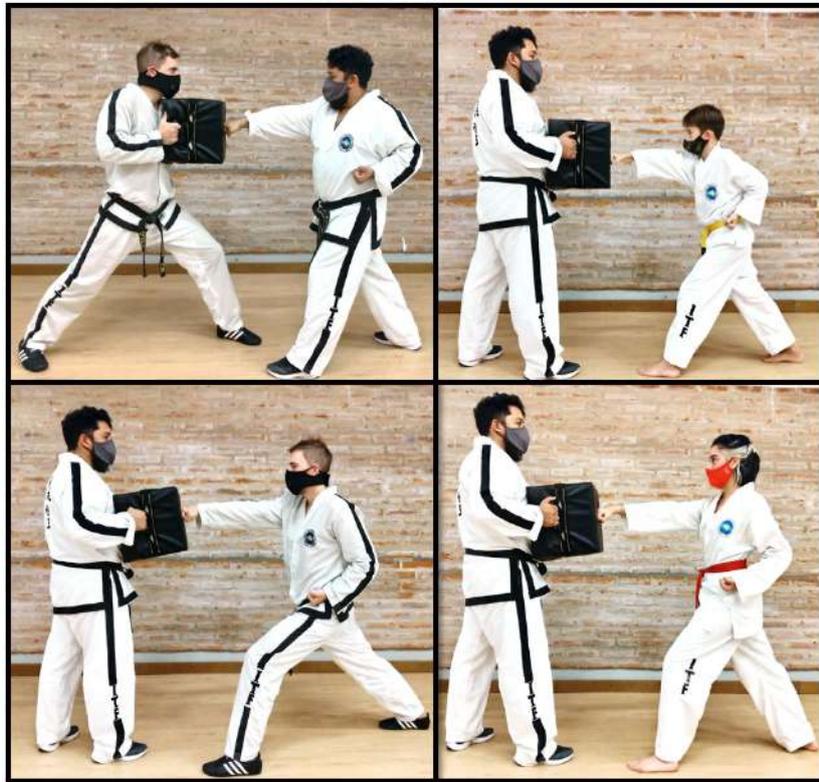


Fig. 5.21: Instituto Albert Einstein, Mar del Plata.



Fig. 5.22: Academia Samuraby, Mar del Plata.

# Capítulo 6

## Conclusiones

En esta etapa final, se realiza un análisis FODA del prototipo construido, se cierran las hipótesis planteadas y se muestran los resultados obtenidos. A su vez, se dejan planteadas las oportunidades de mejora detectadas.

### 6.1 Resultados

Se logra desarrollar una herramienta para la comprobación empírica del movimiento característico del Taekwon-Do a través de un sistema innovador compuesto por software y hardware exclusivo sustentado en los conocimientos adquiridos durante la carrera de Ingeniería Electrónica. El sistema Smart-Shield es capaz de medir fuerza de impacto y tiempo de reacción de forma instantánea cumpliendo el desafío propuesto. La integración mecánica implementada resulta una fiel representación de la situación real de la rotura, con riesgos de lesión mínimos para los que recién comienzan la actividad y de gran interés para los mas avanzados en la práctica por las nuevas variables disponibles. El tiempo de respuesta del sensor resulta suficiente para trazar la curva de muestras vs. fuerza en tiempo real, poniendo al alcance de la mano del deportista una curva que permite un análisis cualitativo sustancioso para lograr la correcta ejecución de la técnica. La medición del tiempo de reacción desde el estímulo sonoro hasta el contacto con el escudo, aporta una herramienta extra para entrenar la neuroplasticidad del atleta.

La plataforma desarrollada resulta adecuada para la integración de los

circuitos y la confección del prototipo resulta lo suficientemente robusta para resistir los embistes. Las características de performance del  $\mu\text{C}$  resultan acertadas para el procesamiento de datos y para la atención de los periféricos del sistema. Gracias al bajo consumo del prototipo, la mayoría de las baterías portátiles del mercado actual resultan adecuadas para una durabilidad de carga razonable. La App es de uso sencillo e intuitivo, y a la vez, compatible con una gran cantidad de dispositivos móviles. La comunicación inalámbrica provista por el modulo Bluetooth aporta a la herramienta la versatilidad necesaria para la utilización en un entrenamiento sin mayores contratiempos. La sumatoria de componentes y sub-sistemas se consolidan en un prototipo de bajo peso y de tamaño reducido, logrando la transportabilidad deseada.

El estudio del esfuerzo mecánico de los materiales y la clasificación de las tablas bajo análisis de acuerdo a su comportamiento dinámico es fundamental para comprender el fenómeno de las roturas, validando la característica quebradiza de las mismas. El diseño y la construcción de la máquina de Charpy permite realizar los ensayos destructivos proyectados para cargas que difieren marcadamente de los ensayos estáticos. Este péndulo resulta crucial para comprender la energía en juego en los impactos y lograr la cuantificación de la figura de mérito a un valor de fuerza con suficiente rigurosidad científica. Es decir, permite hallar el umbral de rotura de las tablas que se constituye como hito del proyecto. Gracias a la minuciosa observación de las muestras y el análisis de este experimento, se evidencia como la orientación de las vetas repercute directamente en la tenacidad de las tablas de pino ensayadas.

El uso del sistema Smart-Shield como entretenimiento también resulta válido, ya que su diseño acolchonado provisto por la espuma de polyester de alta densidad no requiere que el usuario sea experto en artes marciales. La claridad en la que se disponen los datos son de fácil interpretación para identificar quien genera la mayor marca o quien obtiene el tiempo de reacción más corto. El desarrollo en sistema operativo Android facilita la proyección en pantallas de mayor tamaño asemejándose a la presentación utilizada por consolas de juegos con amplia aceptación en el mercado.

El conjunto de análisis realizados a lo largo del proyecto brinda un marco teórico que valida supuestos empíricos arraigados en las artes marciales desde

sus orígenes. Se definen los conceptos de concentración espacial y temporal descritos para que el practicante pueda, junto con las variables mostradas por la app, racionalizar y potenciar la correcta ejecución de las técnicas. Luego las recomendaciones para una rotura exitosa respecto a la ejecución son: imprimir la fuerza máxima en el objetivo, con la menor superficie de contacto y en el intervalo temporal mas corto posible. Mientras que respecto a la disposición de las tablas, la vetas deben colocarse de forma convexa a la incidencia del impacto para una menor tenacidad, entendiendo a este concepto como la capacidad de la tabla para absorber energía antes de romperse.

Resulta interesante realizar un análisis FODA del prototipo como se observa en la figura 6.1, ya que en esta etapa final están dadas las condiciones para realizar comparaciones entre los distintos dispositivos presentes en el mercado ya descritos en la sección Tecnología Existente (ver 2.2) y el sistema Smart-Shield desarrollado. Para ello, se muestra un descomposición del diagrama FODA, y se explora en detalle las Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas del prototipo construido en contraposición con el resto[34].

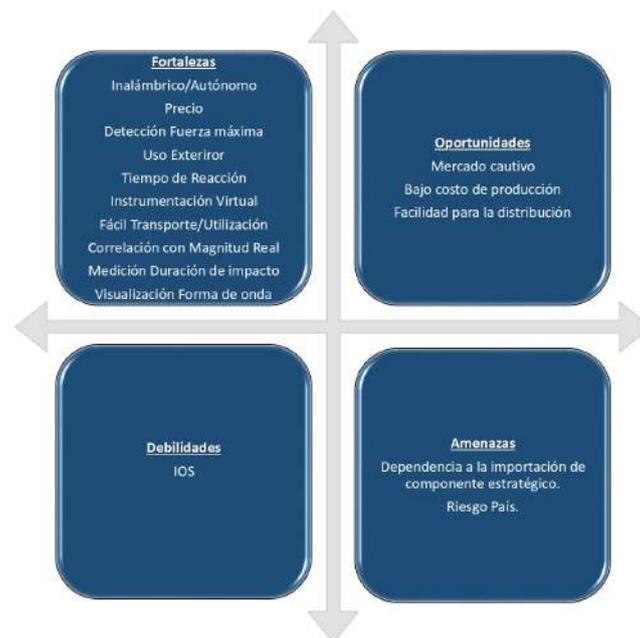


Fig. 6.1: FODA Smart-Shield.

En la tabla de la figura 6.2 podemos observar la totalidad de las Fortalezas encontradas y su correspondencia con cada dispositivo. Este análisis permite trazar el gráfico izquierdo de la figura 6.3 que pone de manifiesto que el Smart-Shield es el dispositivo con la mayor cantidad de fortalezas (11), seguido por Punch Trackers(8) en segundo lugar y Punch Lab (7) en el tercer puesto. La posibilidad de ejecutar el programa en IOS es una Fortaleza que disponen estos dos últimos frente al SS. La disponibilidad es una ventaja competitiva del Punch Lab ya que al ser sólo software, este está disponible en los App markets de IOS y Android, con lo cual se puede ejecutar en una gran cantidad de dispositivos móviles. Sin embargo, la detección de fuerza máxima y la facilidad de utilización son carteristas que el SS posee, diferenciándose de estos dos. Otra conclusión importante extraída de esta tabla es que solo el SS es capaz de medir el tiempo que la herramienta de ataque permanece en el objetivo, y también, mostrar la forma de onda generada por el impacto. Estas dos variables son de vital importancia para perfeccionar la técnica y lograr la concentración temporal (ver 3.4) que es el objetivo del presente trabajo.

Fortalezas	Cantidad	7 Punch Lab	8 Punch Trackes	5 Punch Sensor	4 Boxer	5 PowerKube	11 Smart-Shield
IOS	2	★	★	★	★	★	★
Inalámbrico/Autónomo	3	★	★	★	★	★	★
Disponibilidad	1	★	★	★	★	★	★
Precio	2	★	★	★	★	★	★
Calculo de velocidad Promedio	1	★	★	★	★	★	★
Registro de Velocidad Maxima	1	★	★	★	★	★	★
Distingue Golpes de Puño	1	★	★	★	★	★	★
Contador de golpes	1	★	★	★	★	★	★
Detección de Fuerza Máxima	2	★	★	★	★	★	★
Salva Resultados	1	★	★	★	★	★	★
Facil de Utilizar	3	★	★	★	★	★	★
Popularidad	1	★	★	★	★	★	★
Exclusividad al Entretenimiento	1	★	★	★	★	★	★
Uso Exterior	5	★	★	★	★	★	★
Tiempo de reaccion	2	★	★	★	★	★	★
Instrumentación Virtual	5	★	★	★	★	★	★
Fácil Transporte	4	★	★	★	★	★	★
Correlación Magnitud Real	2	★	★	★	★	★	★
Medicion de Duración de Impacto	1	★	★	★	★	★	★
Visualización de Forma de Onda	1	★	★	★	★	★	★

Fig. 6.2: Tabla de comparación: Fortalezas.

Continuando con el análisis, se presenta la información dispuesta de otra manera en el gráficos derecho de la figura 6.3. Las Fortalezas con mayor repetición son: instrumentación virtual(5), posibilidad de uso exterior(5),

facilidad de transporte(4), simpleza de uso(3) y conexión inalámbrica/uso de baterías(3). El SS posee todas estas Fortalezas, posicionándose como un opción viable en el mercado. Por el contrario, respecto a las Fortalezas de menor ocurrencia, el SS dispone de: menor precio, posibilidad para usar como entretenimiento, correlación con magnitud real, detección de fuerza máxima y como antes se mencionó, visualización de forma de onda y medición de duración de impacto. Luego, no solo es una opción viable, sino que dispone de muchas Fortalezas que otros desarrollos carecen.



Fig. 6.3: Gráficos de comparación: Fortalezas.

En la tabla de la figura 6.4 podemos observar la totalidad de las Debilidades determinadas y su correspondencia con cada dispositivo. En el gráfico izquierdo de la figura 6.5 se observa que el Smart-Shield posee una única debilidad, y es la incapacidad de ejecutar el programa en IOS. Sin embargo la participación en el mercado (market share) a nivel mundial (enero 2021) para Android es de 72% frente a un 27.5% de IOS, mientras que en Argentina la participación de mercado de Android asciende a un 93%. Con lo cual, las limitaciones para el uso del SS en este sentido son mínimas[35][36].

Si se observa la información dispuesta en el gráfico derecho de la figura 6.5 podemos observar las Debilidades halladas mas frecuentes: medición no correlacionada con magnitud real(4), precio(4) y cableado(3). Sin embargo para el sistema desarrollado todas estas representan fortalezas en el diseño,

Debilidades	Cantidad	4 Punch Lab	4 Punch Trackes	4 Punch Sensor	5 Boxer	3 PowerKube	1 Smart-Shield
Uso de Cartuchera	1	★	★	★	★	★	★
Uso de Bolsa de Box	1	★	★	★	★	★	★
Sin Correlacion con Magnitud Real	4	★	★	★	★	★	★
Necesidad de Vendajes y/o Guantes	1	★	★	★	★	★	★
Precio	4	★	★	★	★	★	★
Cableado	3	★	★	★	★	★	★
Windows	1	★	★	★	★	★	★
Requiere Fijación	1	★	★	★	★	★	★
Dimensiones	1	★	★	★	★	★	★
Peso	1	★	★	★	★	★	★
IOS	1	★	★	★	★	★	★
Incompatible como Juego	2	★	★	★	★	★	★

Fig. 6.4: Tabla de comparación: Debilidades.

ya que el SS esta calibrado a partir de la experimentación con la máquina de Charpy, es inalámbrico y su costo de elaboración es muy bajo.



Fig. 6.5: Gráficos de comparación: Debilidades.

Las Amenazas y Oportunidades de la matriz FODA surgen de una situación externa al dispositivo y están comandadas por las 5 Fuerzas de Porter (ver 7.11). La restricción de compra en moneda extranjera es la amenaza común a todos los dispositivos listados, sumado a las limitantes vigentes a la importación de productos (excepto Punch Lab). Esta condición deja un mercado local desatendido por parte de los competidores directos, o dicho de otro modo, un mercado cautivo para el Smart-Shield. Sumado a esta condición, el prototipo desarrollado dispone de potencialidad para su producción y dis-

tribución local, por su bajo costo, su bajo peso y sus dimensiones reducidas.

## 6.2 Propuestas de Mejora

Desde la óptica lúdica del proyecto, resulta muy interesante continuar principalmente el desarrollo de software de tal manera que la App distinga entre un modo “entrenamiento” y un modo “ocio”. Y que en este último, permita generar un modo multijugador con distintas rondas de medición de impactos, se asocie un puntaje a los golpes de cada ronda y que finalmente se muestre un ganador. A su vez, que esa información se pueda compartir a través de redes sociales para contribuir al divulgación del dispositivo.

Aprovechando la versatilidad del transductor elegido, es posible agregar otras funcionalidades para el entrenamiento que otros desarrollos disponen como fortalezas, tales como: capacidad de contar golpes, fuerza promedio de los mismos y detección de impacto mayor en un intervalo de tiempo. De esta manera, se maximiza el uso del hardware actual con la programación correspondiente.

La posibilidad de guardar y compartir resultados, trazar gráficos a partir de estos y construir un historial de los mismos para cada usuario es de utilidad para el atleta que busca un entrenamiento minucioso que le permita analizar la evolución de la técnica a lo largo de la práctica.

# Capítulo 7

## Apéndice

En este apartado se presenta información complementaria que permite un entendimiento mayor de lo realizado, como también referencia adicional relacionada con los conceptos y autores citados en el proyecto.

### 7.1 Principio Piezoeléctrico Vs. Extensométrico

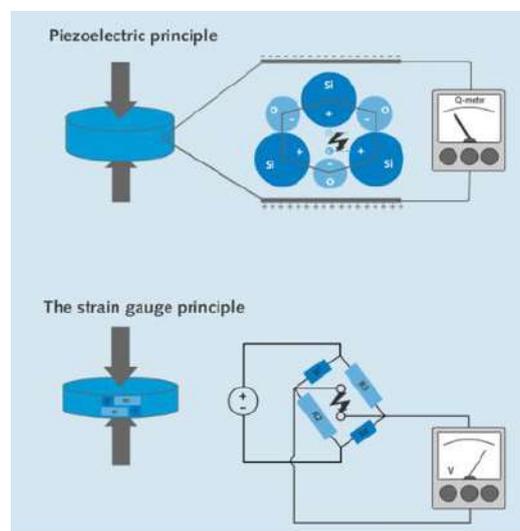


Fig. 7.1: Principio piezoeléctrico vs. extensométrico

Principio Piezoeléctrico: en 1950 Walter P. Kistler obtuvo una patente para un amplificador de carga para señales piezoeléctricas. Esto allanó el

camino para sensores con excelentes propiedades de medición en procesos dinámicos y cuasi estáticos. La fuerza se aplica a un cristal piezoeléctrico y provoca un cambio de carga a nivel molecular y dentro de la estructura reticular. Esta carga eléctrica se captura en la superficie del cristal y se convierte en una señal de voltaje por medio de un llamado amplificador de carga. Luego el principio piezoeléctrico se caracteriza por la captura de carga eléctrica y sus principales ventajas son:

1. Especialmente adecuados para procesos cuasiestáticos y dinámicos.
2. Detección de cambios de carga altamente dinámicos en el rango de hasta microsegundos.
3. Rango de medición muy amplio (hasta seis décadas).
4. Los parámetros metroológicos como la sensibilidad, el umbral de respuesta y la resolución son independientes del tamaño del sensor.
5. Estructura muy compacta.
6. Resistentes a temperaturas altas y bajas y a la sobrecarga.
7. Libres de fatiga, vida útil prolongada y gran estabilidad a largo plazo.

Principio Extensométrico: la fuerza se aplica a un cuerpo elástico, que se deforma proporcionalmente a la fuerza ejercida. Esta deformación provoca nuevamente la compresión o el estiramiento de las galgas extensométricas adjuntas y, por lo tanto, un cambio en su resistencia eléctrica. Mediante el uso de un circuito puente de medición eléctrica simple, se puede generar una señal de voltaje utilizable. Luego el principio de la galga extensométrica se caracteriza por el cambio en la resistencia eléctrica inducida por la deformación elástica y sus principales ventajas son:

1. Mayor variedad de aplicaciones.
2. Alcanzan una gran precisión (índice de errores de medición inferior al 0,1%).
3. Aislamiento de cables y movimiento de cables no problemáticos.

4. Medición sin deriva incluso durante periodos prolongados.
5. Compensación de las fluctuaciones de temperatura a través del puente de Wheatstone[15].

## 7.2 FlexiForce A401

En esta sección se detallan las características del sensor FlexiForce A401, que si bien están presentes en su hoja de datos, dada la relevancia que tiene para el desarrollo amerita estar presente como anexo al documento. En la figura 7.2 se muestra el FF con el detalle de sus medidas.

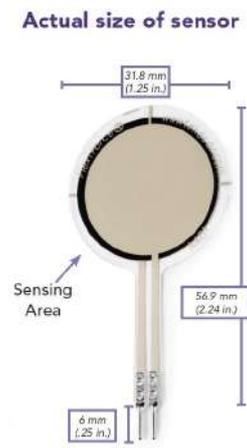


Fig. 7.2: Sensor FlexiForce A401.

### Beneficios:

1. Flexible y delgado
2. Facil de usar
3. Conveniente y bajo costo

### Propiedades físicas:

1. Espesor: 0.203 mm

2. Longitud: 56.9 mm
3. Ancho: 31.8 mm
4. Área de sensado: 25.4 mm de diámetro.
5. Conector: doble pin macho rectangular
6. Sustrato: Polyester (ex: Mylar)
7. Separacion entre pines: 2.54 mm

Finalmente en la figura 7.3 se presentan los datos de performance junto a sus condiciones de evaluación.

	Typical Performance	Evaluation Conditions
Linearity (Error)	< $\pm 3\%$	Line drawn from 0 to 50% load
Repeatability	< $\pm 2.5\%$ of full scale	Conditioned sensor, 80% of full force applied
Hysteresis	< 4.5 % of full scale	Conditioned sensor, 80% of full force applied
Drift	< 5% per logarithmic time scale	Constant load of 111 N (25 lb)
Response Time	< 5 $\mu$ sec	Impact load, output recorded on oscilloscope
Operating Temperature	-40°C - 60°C (-40°F - 140°F)	Time required for the sensor to respond to an input force

Fig. 7.3: Tabla de performance del sensor.

### 7.3 Gral. Choi Hong Hi

El general Choi Hong-Hi quien posa en la figura 7.4 nombró Taekwon-Do el 11 de abril de 1955. Obtuvo la autorización presidencial oficial del primer presidente de la República de Corea, el Dr. Seung-man Rhee, cuando el Dr. Rhee escribió el nuevo nombre Taekwon-Do que el general Choi concibió en caligrafía china que simboliza la aprobación del nombre de Taekwon-Do. El embajador Choi pasó a enseñar Taekwon-Do sin importar raza, religión, credo, ideología, género, política o fronteras nacionales. Como primer embajador de Corea en Malasia, presentó personalmente el Taekwon-Do allí en

1962. Sus esfuerzos llevaron a que el Taekwon-Do se enseñara en Vietnam desde 1962 y formara Asociaciones de Taekwon-Do en Malasia (1963), Singapur (1964) y Vietnam (1965) antes de que la mayoría de los artistas marciales civiles en Corea usaran el nombre Taekwon-Do. Sus publicaciones escritas se han traducido a al menos de 8 idiomas: coreano, chino, inglés, alemán, español, ruso, japonés y dari (farsi o persa afgano).[37].



Fig. 7.4: Gral. Choi Hong Hi, Fundador del Taekwon-Do.

## 7.4 Harold "Doc" Eugene Edgerton

Harold "Doc" Eugene Edgerton, 1903-1990, Universidad de Nebraska; SM 1927 y ScD 1931 en ingeniería eléctrica, Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), fue profesor de ingeniería eléctrica en MIT, 1928-1966; Profesor de Instituto, 1966-1968; y profesor emérito del Instituto, 1968-1990. Edgerton perfeccionó el estroboscopio y desarrolló técnicas fotográficas que permitieron observar y capturar en película eventos muy rápidos. También desarrolló técnicas para la exploración submarina, utilizando dispositivos de sonar y fotografía con flash, y participó en muchas expediciones oceanográficas y arqueológicas. Durante la Segunda Guerra Mundial, diseñó una lámpara estroboscópica para fotografía nocturna de reconocimiento aéreo para la Fuerza

Aérea del Ejército de los Estados Unidos y dirigió su uso en Italia, Inglaterra y Francia. En 1947, con Kenneth J. Germeshausen y Herbert E. Grier, antiguos alumnos, formaron Edgerton, Germeshausen and Grier, Inc. (EG and G, Inc.). Una empresa especializada en tecnología electrónica. En 1953 comenzó una larga asociación con el explorador submarino francés Jacques Yves Cousteau, acompañándolo en numerosas expediciones y diseñando varios dispositivos para fotografía y exploración submarina.

## 7.5 Marc S. Miller

En 1975, Marc Miller(1945-), de la oficina del Programa de Historia Oral del MIT, entrevistó a Harold Edgerton, profesor del Instituto y profesor del Departamento de Ingeniería Eléctrica del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). La colección contiene una transcripción de la entrevista, y materiales de antecedentes y notas que incluyen sinopsis de 18 de los cuadernos de laboratorio de Edgerton elaborados por Marc Miller en preparación para la entrevista.

## 7.6 Ley de Conservación de la Energía

En el mundo macroscópico siempre existen, fuerzas no conservativas, como la fuerza de rozamiento cinético, que disminuyen la energía mecánica de un sistema. Sin embargo, toda disminución de este tipo viene acompañada del incremento de energía térmica correspondiente. El aumento o disminución de la energía total de un sistema puede siempre explicarse por la aparición o desaparición de energía en algún otro lugar. Este resultado experimental se conoce como ley de conservación de la energía y es una de las leyes mas importantes de la ciencia. Dicho en otras palabras, La energía total del universo es constante. Esta puede transformarse de una forma en otra o ser transmitida de una región a otra, pero no puede nunca ser creada o destruida.

Una forma común de transferir energía (absorbida o cedida) de un sistema es intercambiando trabajo con el exterior. Si esta es la única fuente de energía transferida, la ley de conservación de la energía se expresa como la ecuación

7.1. Donde  $W_{exterior}$  es el trabajo realizado sobre el sistema por fuerzas externas y  $\Delta E_{sistema}$  es la variación de la energía total experimentada por el sistema. Este teorema trabajo-energía es un instrumento poderoso para estudiar una amplia variedad de sistemas[38].

$$W_{exterior} = \Delta E_{sistema} = \Delta E_{mecanica} + \Delta E_{termica} + \Delta E_{quimica} + \Delta E_{otras} \quad (7.1)$$

## 7.7 Cantidad de Movimiento

El momento lineal, ímpetu o cantidad de movimiento  $p$  de una partícula se define como el producto de su masa  $m$  por su velocidad  $v$  (ver ecuación 7.2). La cantidad de movimiento es una magnitud vectorial. Puede considerarse como una medida de la dificultad de llevar la partícula hasta el reposo. Por ejemplo, un camión tiene mayor cantidad de movimiento que una motocicleta si se desplazan a la misma velocidad. Es necesaria una fuerza mayor para detener el camión en un tiempo determinado que para detener la motocicleta en el mismo tiempo[38].

$$p = m * v \quad (7.2)$$

## 7.8 Prototipo: Proceso de Elaboración

Es elaborado en eco-cuero negra de 2mm de espesor y tiene la forma de un cubo de 30cm de lado. Cuenta con un refuerzo central de correa de polipropileno (PP) de 1mm de espesor y 40mm de ancho. Además posee dos manijas de policloruro de vinilo (PVC) cilíndricas en dos laterales conectadas entre si a través de otra correa de PP de 1mm de espesor por 20mm de ancho. Posee un acceso al interior en una de sus aristas a través de una cremallera sintética con deslizador metálico sin traba. Todas las costuras han sido a mano con hilo encerado, este esta compuesto por 3 hebras torceladas, generando extra resistencia.

En principio se elabora un modelo a escala 1:10 en papel para evaluar las uniones necesarias para dar forma al cubo, como se muestra en la figura 7.5.

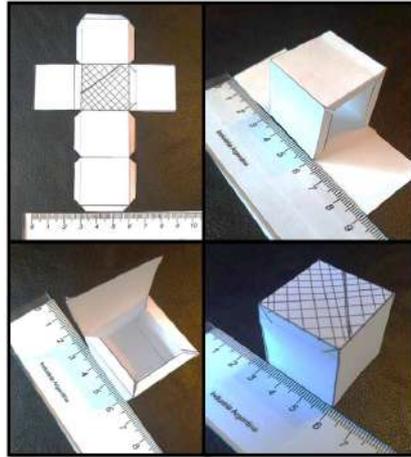


Fig. 7.5: Modelo 1:10 en papel.

A continuación se trasladan las medidas en escala 1:1 en una porción de eco-cuero de 1.40m x 1.00m, para luego cortar por dichas marcas y obtener la base del prototipo como se muestra en la figura 7.6.

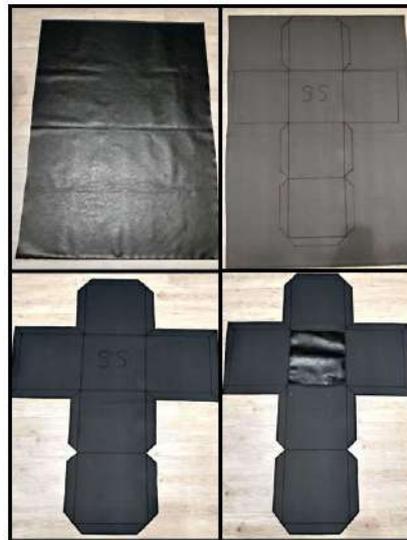


Fig. 7.6: Modelo 1:1 en eco-cuero.

Como se puede observar en el cuarto cuadrante de la misma figura (7.6), se coloca un refuerzo en el interior con el mismo material para duplicar el espesor de la cara que recibe los impactos. Luego se continua con el proceso

de las costuras, estas las podemos resumir en seis etapas: pliegue, sujeción, pegado, marcado, perforación y costura. En la siguiente figura se muestra un resumen del procedimiento:



Fig. 7.7: Pasos de la costura.

El pegamento utilizado es adhesivo de contacto, el mismo se aplica en ambas superficies y se debe dejar reposar 20 minutos antes de realizar la unión. Las perforaciones se realizaron manualmente con una lezna de corte con una separación de 1cm entre si, las mismas están presentes en las uniones de las aristas del cubo, en el cierre y en el refuerzo de PP. Así, el total de perforaciones fue de 16 líneas de 29 agujeros cada una, es decir 464. Cada una de estas perforaciones fue atravesada por el hilo encerado en dos sentidos, obteniendo un vínculo suficientemente robusto para resistir los impactos. Finalizada esta etapa, la figura muestra el exterior del SS:



Fig. 7.8: Exterior Smart-Shield.

## 7.9 Péndulo de Charpy: Construcción

En la base del péndulo se utiliza hierro ángulo de 2.54 cm y 1.25cm de ancho y 5mm de espesor para conformar un rectángulo de 120cm de largo por

60cm de ancho. Para el arco sostenedor del péndulo se utiliza caño estructural cuadrado de 25mm de lado y 1.6mm de espesor, este arco comparte el ancho de la base y se instala a una distancia de 50cm midiendo desde el frente de la maquina. Para aumentar la rigidez y minimizar vibraciones, se utilizo caño estructural redondo de 19mm de diámetro y 1.6mm de espesor para dos columnas diagonales que van desde la base hasta el arco. Para el soporte se utilizó caño estructural cuadrado de 25mm de lado y 1.6mm de espesor, colocado como travesaño por el ancho de la maquina y de que sirve de apoyo vertical de la tabla. También dos columnas verticales con alas en planchuela de hierro de 2cm de ancho y 1.6mm de espesor para apoyo horizontal de la tabla. A su vez, dichas columnas son sujetadas en diagonal al arco sostenedor antes descrito.

La descripción del péndulo, para un mayor detalle, la dividiremos en tres partes:

1. Eje de rotación: para esta parte se utilizaron 2 rodamientos autocentrantes de 19mm de diámetro interior por los cuales rota un eje conformado en hierro macizo de igual diámetro. Este conjunto se sujeta a través de bulones con tuercas autofrenantes a planchuelas de 5cm de ancho y 3 mm de espesor. Estas planchuelas están soldadas a una viga conformando un vínculo suficientemente robusto. La figura 7.9 muestra el detalle del rodamiento.



Fig. 7.9: Eje de rotación.

2. Péndulo: esta conformado por caño estructural cuadrado de 25mm de lado y 1.6mm de espesor con tres vínculos al eje a través de soldaduras.

Desde arriba hacia abajo disponemos de 3 caños verticales, uno central de 120cm de longitud y dos laterales de 40cm de longitud. Estos dos se unen al central en sus extremos inferiores a través caños horizontales y hacen de refuerzos que impiden rotaciones en la masa incidente. La figura 7.10 muestra el detalle del mismo.



Fig. 7.10: Péndulo.

3. Masa incidente: esta conformada por una pesa de fundición de hierro circular de 3cm de espesor, 20cm de diámetro y un peso de 2.5kg. Esta sujeta al péndulo a través de 2 planchuelas de 20cm de largo 10 cm de ancho y 1.6mm de espesor, que posee bulones pasantes con tuercas autofrenantes. La figura 7.11 muestra la configuración del mismo.



Fig. 7.11: Masa incidente.

Una vez que se el dispositivo fue finalizado, este fue nivelada en sentido

longitudinal y transversal mediante un nivel de gota. En dicha posición de equilibrio, fue soldado al piso para evitar variaciones en las mediciones.

## 7.10 Smart-Shield: Detalles

### 7.10.1 Logo



Fig. 7.12: SS: Logo.

### 7.10.2 Patente



Fig. 7.13: SS: Patente de Invención.

7.10.3 Plano Interior

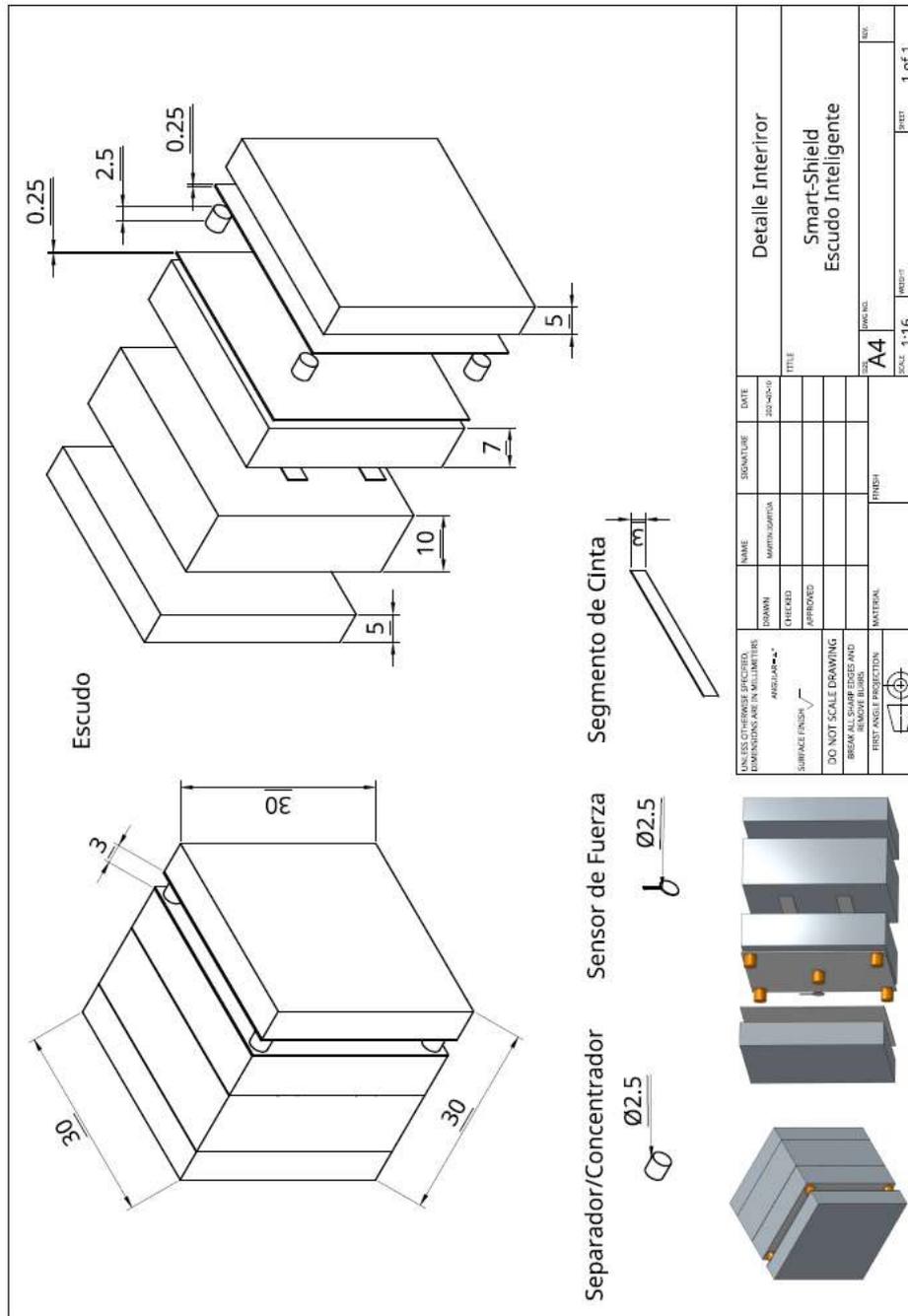


Fig. 7.14: SS: Plano Interior



7.10.5 Listado de Componentes

SMART-SHIELD			
Cantidad Items:			
Grupo	SKU	ITEM	Características
MARROQUINERÍA	11	Eco-Cuero	0,6mm espesor; 140cm ancho; 100cm largo; venta x metro; PVC
	22	Hilo Encerado	Nylon encerado, x 60 metros
	33	Deslizador/Tiracierre	Cadena 8 reforzado, metal
	44	Cierre	Cadena 8 reforzado, plastico
	55	Manijas PVC	Largo: 12,5cm, Diámetro interno: 18mm, PVC, Negro
	66	Cinta Agarre Interior	Cinta mochilera reforzada polipropileno, Ancho: 25mm, Rollo: 50 metros, Fabricante: Textil Gorla, Espesor: 1,5mm
	77	Cinta Agarre Exterior	Cinta mochilera reforzada polipropileno, Ancho: 50mm, Rollo: 50 metros, Fabricante: Textil Gorla, Espesor: 1,5mm
	88	Espuma de Polyester	Poliester 24 KILOS DENSIDAD
FERRETERÍA	91	Placa PVC	Plástico - Polipropileno, 3mm
	102	Taco Goma	Taco de Goma Maciza
	113	Tornillo	Tornillo Cabeza Fresada Metrica 5 X 40mm X Unidad
	124	Tuerca	x unidad
ELECTRÓNICA	131	Fexiforce A401 (S. Fuerza)	FSR
	142	PCB	A demanda
	153	Cable USB Tipo B	USB-A/B-MM 1.5M
	164	Buzzer	BFC 4211
	175	ATmega328p (uC)	ATMEGA328P
	186	TLV271 (AO)	BA1558N
	197	LM137 (Regulador)	REGULADOR AJUSTABLE (+) 1.2 A 37V 1.5A - TO220
	208	IC7660 (Convertidor)	Tc7660 Icl7660 Cmos Voltage Converter Dip-8
	219	C 0,1mF Multicapa (104)	CAPACITOR CERAMICO MULTICAPA 1UF X 50V Y5V
	2210	C 1mF Tantalio (105)	ELECTROLITICO TANTALIO 2.2 X 25V 2.54 MM
	2311	C 10mF Electrolitico (106)	CAPACITOR ELECTROLITICO 10UFX25V 105
	2412	C 20pF Multicapa (100)	CAPACITOR CERAMICO MULTICAPA 22P X 50V NF0 PASO2,54MM
	2513	C 100nF Multicapa (107)	CAPACITOR POLIESTER MYLAR 100NF X 100V
	2814	RV 20K (preset)	PRESET VERTICAL 25 VUELTAS 20 KOHMS
	2715	RV 100k (preset)	PRESET VERTICAL 25 VUELTAS 100 KOHMS
	2816	RV 1K (preset)	PRESET VERTICAL 25 VUELTAS 1 KOHMS
	2917	R 1M	1/4 WATTS 2.5 X 6.5 MM 5 CARBON FILM 1 MOHMS
	3018	R 1K	1/4 WATTS 2.5 X 6.5 MM 5 CARBON FILM 1 KOHMS
	3119	R 4,7K	1/2 WATTS 3X9 MM 5% CARBON FILM 4.7 KOHMS
	3220	R 120	1/2 WATTS 3X9 MM 5% CARBON FILM 120 OHMS
	3321	DS18B20 (S. Temperatura)	DS18B20 SUMERGIBLE
	3422	BC548 (TBJ)	NPN UNI 60V 0.15A 0.4W
	3523	Módulo HC-05 (BT)	MODULO BLUETOOTH HC-05 IN 3.3-5V MASTER/SLAVE
	3524	Cristal 16MHz	CRISTAL 16,000 MHZ
	3725	USB Hembra Tipo B (chasis)	MINI USB HEMBRA 5P A 90 P/CHASIS
	3826	Molex macho x2 vise	Macho x 2
	3927	Molex macho x3 vise	Macho x 3
	4028	Zocalo 2x4 (8 pines)	ZOCALO DOBLE CONTACTO 2X4 0.3
	4129	Zocalo 2x7 (14 pines)	ZOCALO DOBLE CONTACTO 2X7 0.3
	4230	Zocalo 2x14 (28 pines)	ZOCALO DOBLE CONTACTO 2X14 0.3"
	4331	Tira de Poste Hembra Lateral	TIRA POSTE HEMBRA 90° P/ C.L. 1.2 CONT (1X40)

Fig. 7.16: SS: Detalle de componentes.

### 7.10.6 Publicaciones

A partir de la investigación y desarrollo del presente proyecto se participó en los siguientes congresos y concursos:

1. XIV Congreso de computación para el desarrollo: La Red COMPDES está formada por instituciones de educación superior universitaria, de carácter público, dedicadas a la docencia, investigación, y extensión. Esta Red se inició en el marco general de la actividad de Cooperación para el Desarrollo que ha tenido lugar, desde 1994, entre la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua con sede en la ciudad de León, Nicaragua, y la Universidad de Alcalá, España. En el año 2006 se invitó a la Escuela de Ingeniería en Computación del Instituto Tecnológico de Costa Rica y posteriormente a representantes de diferentes universidades de Nicaragua, El Salvador, Guatemala, Honduras, Costa Rica y España. Por tanto, el trabajo de la Red está soportado principalmente por profesores centroamericanos y españoles. En particular este congreso contó con 990 participantes provenientes de 21 países, entre ellos: Corea, Costa Rica, Estados Unidos, Argentina, Panamá, Honduras, El Salvador, Guatemala, España, Nicaragua, México, Cuba, Colombia, Uruguay, Perú, Ecuador y Venezuela[39].
2. XII Congreso Argentino de Sistemas Embebidos: se realiza dentro del ámbito del Simposio Argentino de Sistemas Embebidos (SASE) desde 2011. Cada año recibe decenas de trabajos de investigación y desarrollo en distintas categorías tecnológicas[40].
3. XVI Concurso Nacional de Innovaciones Innovar 2021: Organizado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Nación y tiene por objetivos promover la expansión de la cultura innovadora, promocionar el desarrollo de las ciencias y la tecnología, destacar las invenciones de impacto social y comercial, sostener el crecimiento de emprendimientos de base tecnológica y difundir los avances actuales para el futuro[41].

## 7.11 Análisis FODA

Esta técnica fue originalmente propuesta por Albert S. Humphrey durante los años sesenta y setenta en los Estados Unidos durante una investigación del Instituto de Investigaciones de Stanford que tenía como objetivo descubrir por qué fallaba la planificación corporativa. Este recurso produjo una revolución en el campo de la estrategia empresarial. El objetivo del análisis FODA es determinar las ventajas competitivas de la empresa o proyecto bajo análisis y la estrategia genérica que más le convenga en función de sus características propias y de las del mercado en que se mueve.[34]



Fig. 7.17: Matriz FODA

El análisis de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas recibe el nombre de Análisis FODA y constituye una herramienta de estudio de la situación de una empresa o proyecto, analizando sus características internas (Debilidades y Fortalezas) y su situación externa (Amenazas y Oportunidades) en una matriz cuadrada.

### 1. Análisis Interno:

- (a) Fortalezas: Son los atributos que le permiten generar una ventaja competitiva sobre el resto de sus competidores. Ejemplos:

- i. Propiedad tecnología principal
- ii. Capacidad de fabricación
- iii. Acceso a la financiación
- iv. Habilidades y recursos superiores
- v. Instalaciones modernas
- vi. Costos unitarios bajos
- vii. Buena rentabilidad

(b) Debilidades: Refieren a recursos de energía, habilidades y actitudes que la empresa ya tiene y que constituyen barreras para lograr la buena marcha de la organización. Las debilidades son problemas internos que, una vez identificados y desarrollando una adecuada estrategia, pueden y deben eliminarse. Ejemplos:

- i. No hay dirección estratégica clara
- ii. Incapacidad de financiación
- iii. Falta de habilidades o capacidades clave
- iv. Atraso en I+D
- v. Exceso problemas operativos internos
- vi. Instalaciones obsoletas
- vii. Costos unitarios elevados
- viii. Rentabilidad insuficiente

2. Análisis Externo: La mejor herramienta para determinar las Amenazas y Oportunidades del micro-entorno son las 5 fuerzas de Porter. Fue desarrollado por Michael Porter en 1979. Según el mismo, la rivalidad con los competidores viene dada por: Las amenazas de nuevos competidores, el poder negociador de los clientes, la amenaza de nuevos productos o servicios y el poder negociador de los proveedores.[34]

(a) Oportunidades: Son aquellos factores positivos que se generan en el entorno y que, una vez identificados, pueden ser aprovechados. Son factores que resultan positivos y favorables en el entorno de la empresa. Ejemplos:



Fig. 7.18: Las 5 Fuerzas de Porter

- i. Regulación a favor
  - ii. Competencia débil
  - iii. Mercado mal atendido.
- (b) Amenazas: son situaciones negativas, externas al programa o proyecto, que pueden atentar contra este, por lo que llegado al caso, puede ser necesario diseñar una estrategia adecuada para poder sortearlas. Ejemplos:
- i. Conflictos gremiales
  - ii. Falta de componentes importados por una regulación desfavorable
  - iii. Cambios en la legislación

### 7.11.1 FODA Tecnología Existente



Fig. 7.19: FODA Punch Lab



Fig. 7.20: FODA Hykso



Fig. 7.21: FODA Punch Sensor

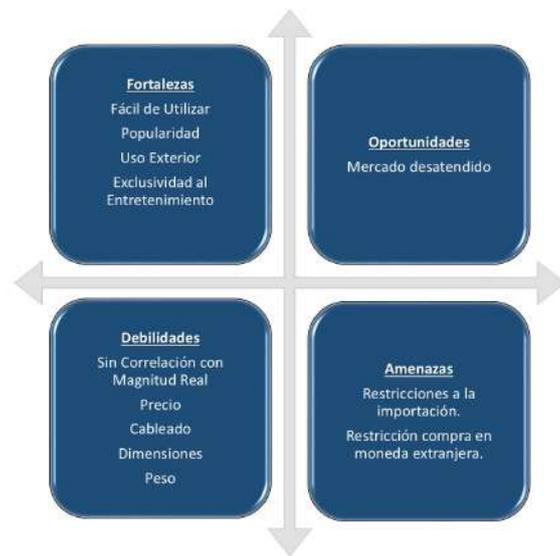


Fig. 7.22: FODA Boxer



Fig. 7.23: FODA Power Kube

# Bibliografía

- [1] Gral. Choi Hong HI. *Enciclopedia del Taekwon-Do*.
- [2] Gral. Choi Hong HI. *Tomo I, Página 237, Enciclopedia del Taekwon-Do*.
- [3] Gral. Choi Hong HI. *Tomo I, Página 80, Enciclopedia del Taekwon-Do*.
- [4] Reflejo rotuliano o patelar. <https://www.lifeder.com/reflejo-rotuliano-patelar/>.
- [5] June Grieve. *Neuropsicología para Terapistas Ocupacionales*.
- [6] El tiempo de reacción específico visual en deportes de combate. [https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/661009/robles\\_perez\\_josejuan.pdf?sequence=1](https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/661009/robles_perez_josejuan.pdf?sequence=1).
- [7] Flashes of inspiration: The work of harold edgerton. <https://mitmuseum.mit.edu/exhibition/flashes-inspiration-work-harold-edgerton>.
- [8] Aprendizaje a traves del juego. <https://www.unicef.org/reports>.
- [9] Gral. Choi Hong HI. *Tomo II, Página 281, Enciclopedia del Taekwon-Do*.
- [10] Punch lab. <https://www.punchlab.net/>.
- [11] Hykso: The ultimate tool for fighters. <https://shop.hykso.com/>.
- [12] Punch sensor. <https://www.punchsensor.com/index.php>.
- [13] Boxer. <http://www.euroorino.com/index.php>.

- [14] Powerkube. <https://powerkube.net/>.
- [15] Piezo vs. strain gauge. <https://www.kistler.com/en/glossary/term/piezo-vsstraingauge/>.
- [16] Force and pressure sensor technology to measure impact force. <https://www.tekscan.com/blog/pressure-mapping/force-and-pressure-sensor-technology-measure-impact-force>.
- [17] Compensador de temperatura para celdas de carga. <https://www.cenam.mx/simposio2004/memorias/TA022.pdf>.
- [18] Load cell buyes guide. <https://www.loadstarsensors.com/loadcell-buyersguide.html>.
- [19] B4a – the simple way to develop native android apps. <https://www.b4x.com/b4a.html>.
- [20] A cross platform and open source electronics design automation suite. <https://kicad.org/>.
- [21] Texas instruments. [https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlv271.pdf?ts=1623621451400&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlv271.pdf?ts=1623621451400&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F).
- [22] Convertidor de tensión. <https://www.renesas.com/us/en/document/dst/ic17660-datasheet>.
- [23] Regulador de tensión. <https://www.ti.com/lit/ds/snvs778e/snvs778e.pdf?ts=1623579359667>.
- [24] Módulo bluetooth. [https://components101.com/asset/sites/default/files/component\\_datasheet/HC-05%20Datasheet.pdf](https://components101.com/asset/sites/default/files/component_datasheet/HC-05%20Datasheet.pdf).
- [25] Sensor de temperatura. <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>.
- [26] Herramienta de prueba, análisis y simulación para protocolos de comunicación en serie. <https://docklight.de/>.

- [27] Prueba de impacto: Ensayo charpy. [https://rmf.smf.mx/pdf/rmf-e/52/1/52\\_1\\_51.pdf](https://rmf.smf.mx/pdf/rmf-e/52/1/52_1_51.pdf).
- [28] Diseño y construcción de máquina para prueba de impacto tipo charpy. <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/2535/T0000828.pdf?sequence=1>.
- [29] Canal para ingenieros mecánicos y civiles. <https://www.youtube.com/c/TheEfficientEngineer/featured>.
- [30] Rotura tabla 11 péndulo de charpy. <https://youtu.be/yaZBKRIxOfw>.
- [31] Oficina internacional de pesos y medidas. <https://www.bipm.org/en/about-us/>.
- [32] Vocabulario internacional de metrología: Conceptos fundamentales y generales y términos asociados. <https://www.cem.es/sites/default/files/vim-cem-2012web.pdf>.
- [33] El clima promedio en mar del plata. <https://es.weatherspark.com/y/29078/Clima-promedioenMardelPlataArgentinadurantetodoela%C3%B1o>.
- [34] Análisis foda o dafo. <https://foda-dafo.com/>.
- [35] Mobile operating system's market share worldwide from january 2012 to january 2021. <https://www.statista.com/statistics/272698/global-market-share-held-by-mobile-operating-systems-since-2009/>.
- [36] Solo 7 <https://infonegocios.info/y-ademas/solo-7-de-los-telefonos-en-argentina-son-iphone-93-de-los-compatriotas-es-gente-en-situacion-de-android>.
- [37] History of taekwondo. <https://historyoftaekwondo.org/>.
- [38] Gene Mosca Paul Allen Tipler. *Física para la ciencia y la tecnología, Volumen 1*.
- [39] Escudo de entrenamiento inalámbrico inteligente para deportes de combate. <https://www.compdes.org/libros/compdes2021.pdf>.

- [40] Equipo de medición del impacto de un golpe utilizando un sensor fsr.  
<http://www.sase.com.ar/case/>.
- [41] Smart-shield: Escudo inteligente. <http://www.innovar.mincyt.gob.ar/>.