

2020-2021  
ENTREGABLE



# Proyecto "GYROSCOPE"

**DESARROLLO DE PROTOTIPOS BASADOS EN PRINCIPIOS GIROSCÓPICOS  
PARA DISMINUIR EL RIESGO DE VUELCO EN ESCALERAS Y ELEMENTOS DE  
MOBILIARIO CON BAJA ESTABILIDAD**

## INFORME RESUMEN:

Se ha recopilado en el presente informe las actividades realizadas y los resultados obtenidos durante la realización del proyecto GYROSCOPE con el fin de informar a todos los medios posibles y a las empresas,

Número de proyecto: 22000044

Expediente: IMDEEA/2020/24

Duración: Del 01/04/2020 al 30/09/2021

Coordinado en AIDIMME por: MARCO ALEIXANDRE, ALICIA

Línea de I+D: **DESARROLLO Y OPTIMIZACIÓN DE PRODUCTO**

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

A continuación se describen las tareas realizadas y los resultados obtenidos en los Paquetes de Trabajo técnicos del proyecto GYROSCOPE, es decir, los Paquetes de Trabajo del 4 al 7. Los primeros tres paquetes de trabajo corresponden a: PT1: Gestión y coordinación del proyecto, PT2: Difusión del proyecto y PT3: Transferencia y promoción de los resultados.

**PAQUETE DE TRABAJO 4.- EVALUACIÓN Y DISEÑO DE DISTINTOS DISPOSITIVOS Y SISTEMAS GIROSCÓPICOS.**

Durante la ejecución de este paquete de trabajo, en primer lugar, se realizó una evaluación de la normativa y la legislación, en cuanto a riesgos de seguridad en cuanto a estabilidad se refiere, así como, una búsqueda esquemática de las soluciones utilizadas en la actualidad para escaleras y elementos inestables, y de esta manera saber la situación concreta de partida del proyecto. Este trabajo se corresponde con la Tarea 4.1 y se encuentra ampliamente detallado en el entregable E4.1. A continuación se resume dicho trabajo.

*Tarea 4.1.- Evaluación normativa y legislativa de riesgos de seguridad en estabilidad, y soluciones utilizadas en la actualidad para escaleras y elementos inestables*

La Tarea 4.1 se dividió en tres grandes bloques:

- Riesgos de seguridad y accidentes en escaleras de mano
- Normativa española y europea sobre las disposiciones que deben reunir las escaleras de mano
- Soluciones y dispositivos actuales para aumentar la estabilidad de las escaleras

1 Riesgos de seguridad y accidentes en escaleras de mano

Durante la realización de este trabajo se constató que en España, en el período 2005-2014 se produjeron más de 60.000 accidentes de trabajo en superficies móviles en altura, de los cuales casi la mitad tuvieron como agente las escaleras móviles (escaleras de mano) o escabeles. Se puede estimar que cada día de trabajo se producen, aproximadamente, 13 accidentes laborales con escaleras de mano. Estos accidentes se caracterizan además por su excesiva gravedad, así mientras el porcentaje de accidentes graves, muy graves y mortales representa el 1,1% del total de accidentes sufridos en España en todas las actividades; ese porcentaje se eleva hasta el 3,14% cuando hablamos de accidentes con escaleras de mano.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

Según estudios realizados por el norteamericano Centro de Protección de los Derechos de los Trabajadores (CPWR):

- La gente que se cae al bajar de la escalera es el doble de la gente que se cae al subir.
- La causa principal de las caídas desde una escalera de un solo tramo o de una escalera de extensión es el deslizamiento de la base de la misma.
- Para las escaleras autoestables, la causa principal es irse de lado.
- También se producen frecuentes lesiones de espalda en el traslado de la escalera.

*Identificación de riesgos intrínsecos en la utilización de las escaleras*

Los principales riesgos intrínsecos en la utilización de escaleras de mano se pueden esquematizar de la siguiente manera:

- Caída de altura
- Caídas de objetos sobre otras personas
- Contactos eléctricos directos o indirectos
- Accidentes varios

Los más numerosos son las caídas en altura, las cuales se pretenden evitar en gran medida con la utilización de los dispositivos y sistemas giroscópicos desarrollados en el proyecto.

*Situaciones especiales de riesgo basadas en las estadísticas de los accidentes*

Además de los riesgos propios de las escaleras, el análisis estadístico de los accidentes producidos por las escaleras de mano en España también permite detectar una serie de situaciones especiales de mayor riesgo en este tipo de trabajos. Estas situaciones especiales se pueden resumir en las siguientes:

- Evaluación de riesgos de la escalera
- La edad del trabajador
- El tamaño de la empresa
- Centro y habitualidad del trabajo
- Actividad productiva
- Jornada laboral
- Manipulación y Actividad realizada con la escalera
- Inspección de la escalera

2 Normativa española y europea sobre las disposiciones que deben reunir las escaleras de mano

En el Real Decreto 1215/1997 de 18 de julio, se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.(BOE 07/08/1997). Y el Real

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

Decreto de 14 de abril 486/1997, regula los requisitos de las escaleras fijas y de las escaleras manuales.

El Real Decreto 1215/1997 ha sido posteriormente modificado y readaptado en algunos puntos por el Real Decreto 2177/2004 del 12 de noviembre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo, en materia de trabajos temporales en altura. (BOE 13/11/2004).

Este Real Decreto establece, en el Anexo I apartado 9.A que las escaleras de mano de los lugares de trabajo deberán ajustarse a lo establecido en su normativa específica.

La norma EN 131, elaborada por el Comité Europeo de Normalización CEN/CENELEC, especifica los requisitos para las escaleras e incluye la tipología, las características de diseño, dimensiones, materiales, requisitos técnicos, información de marcado, etc. En definitiva, la norma europea EN 131 establece criterios de mínimos y máximos que las características de las escaleras deben cumplir. Por lo tanto, la etiqueta de cumplimiento “EN 131” podrá aparecer en el marcado de una escalera en particular tan sólo si todos los requisitos de la norma aplicables a ese tipo de escalera se cumplen.

La norma EN 131 sobre escaleras se compone principalmente de 6 partes y en el entregable 4.1 se presenta un resumen de todas estas partes, analizando en más profundidad algunas definiciones y puntos de interés.

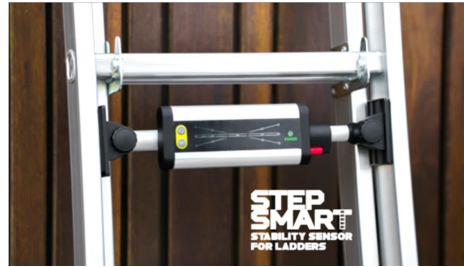
### 3 Soluciones y dispositivos actuales para aumentar la estabilidad de las escaleras

Para dar a la escalera la estabilidad necesaria, se pueden emplean dispositivos que, adaptados a diferentes partes de la estructura, proporcionan en condiciones normales, una resistencia suficiente frente al deslizamiento y el vuelco. Algunos de estos sistemas son:

- *Sistemas de fijación con ganchos o abrazaderas*
- *Dispositivos de montaje en la base*
- *Sistemas de fricción o zapatas*
- *Sistemas de sujeción hincas*
- *Sistemas de estabilización especiales*
- *Sistemas de estabilización mediante sensores*

Estos últimos sistemas de estabilización mediante sensores para escaleras son prácticamente inexistentes en el mercado actual. Tan solo se ha encontrado una única solución comercial “avanzada” de la empresa Balco Lifestyle llamado Step Smart Ladder Stability Sensor (Figura 1).

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**



*Figura 1: Step Smart Ladder Stability Sensor de la empresa Balco Lifestyle.*

Este sistema de advertencia detecta cambios en el ángulo de la escalera posicionándose por debajo de un peldaño, y solo sirve para escaleras de un tramo. Se comercializa en Australia.

En el año 2012 el National Institute for Occupational Safety and Health, propusieron un sistema experimental basado en un indicador de inclinación que puede mejorar la precisión y reducir el tiempo de posicionamiento de la escalera. Al igual que el anterior es para escaleras de un tramo.

*Patentes y bibliografía relacionadas con la estabilización de escaleras*

Anteriormente se han destacado y descrito los hallazgos más significativos encontrados en la bibliografía en cuanto a estabilización de escaleras se refiere. En el E4.1 se enumeran diversas patentes y referencias bibliográficas relacionadas y que era interesante listar y recoger como estado del arte para posibles consultas durante la realización del proyecto y a posteriori.

En segundo lugar, se realizó una búsqueda en el mercado de los sensores giroscópicos MEMS, giroscopios mecánicos, giroestabilizadores y otros dispositivos que fueran adecuados para conseguir los objetivos de estabilidad del proyecto.

Estos dispositivos y sistemas, se adquirieron y se adaptaron para poder aplicarlos a los productos en estudio.

Este trabajo corresponde a las Tareas 4.2 y 4.3, en el que la Tarea 4.2 se centró en el diseño y desarrollo de dispositivos giroscópicos MEMS para escaleras inteligentes y la Tarea 4.3 en el diseño de sistemas giroscopios mecánicos para estabilización de escaleras y elementos de mobiliario inestables. El trabajo realizado en ambas tareas se encuentra ampliamente detallado en el E4.2.

A continuación se resumirá dicho trabajo realizado en cada una de estas tareas.

*Tarea 4.2.- Diseño y desarrollo de dispositivos giroscópicos MEMS para escaleras inteligentes*

La Tarea 4.2 se dividió en tres grandes bloques:

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

- Dispositivos MEMS empleados
- Diseño del dispositivo de medición inclinación. Dispositivo 1
- Evaluación Dispositivo 1

1 Dispositivos MEMS empleados

*Parámetros que definen el comportamiento de un giroscopio MEMS*

A la hora de seleccionar un giroscopio MEMS los principales parámetros a identificar son los siguientes:

**Rango.** Se trata del límite inferior y superior de medida de la aceleración (lineal o angular). Normalmente, un rango pequeño a gran escala significa una salida más sensible, y por tanto mayor precisión de la medida que con un rango alto y baja escala.

**Interfaz.** Puede ser Analógica, Digital (I2C o SPI) o por Modulación de Ancho de Pulso (PWM).

**Número de ejes medidos.** Se trata del número de ejes sobre los que se puede medir la aceleración. En la actualidad, la gran mayoría de sensores miden en los tres ejes (x, y, z).

**Consumo de energía.** Si el proyecto funciona con pilas o batería es un factor a tener en cuenta.

Dentro del presente proyecto los requisitos respecto de los parámetros anteriormente mencionados son los representados en la Tabla 1.

Parámetros	Requisito	Comentario
<b>Rango</b>	[0-3] g's	El objetivo del dispositivo no es medir la intensidad de las vibraciones o golpes, sino calcular el ángulo de inclinación.
<b>Interfaz</b>	Analógica, Digital	Analógica por su sencillez de uso. Digital si el sensor seleccionado incorpora una librería que permite capturar la medida con una llamada a una función
<b>Nº ejes</b>	3	La escalera se va a colocar en el espacio tridimensional, no en un plano.
<b>Consumo energía</b>	Mínimo	Para el prototipo inicial no es un factor limitante, pero en una aplicación real se elegiría el de menor consumo.

*Tabla 1: Parámetros de relevancia para elegir un giroscopio MEMS.*

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

*Selección de un dispositivo MEMS.*

Se llevó a cabo una búsqueda e identificación de dispositivos MEMS con aplicabilidad al proyecto. Todos los dispositivos identificados presentaban características similares, en cuanto que el rango de medida es ajustable, permitían medir en los tres ejes y su consumo era similar.

Finalmente se optó por utilizar un dispositivo ADXL 345, de interfaz digital con diferentes librerías desarrolladas para placas controladoras Arduino o en programación Phyton, lo cual redundaría en mayor agilidad para su puesta en marcha en el proyecto. Se seleccionó un circuito integrado de la marca Adafruit para su integración con una placa controladora, como el de la Figura 2.



*Figura 2: Imagen del sensor seleccionado.*

2 Diseño dispositivo de medición de inclinación. Dispositivo 1

Para el desarrollo del Dispositivo 1 de medición de la inclinación de una escalera se utilizaron los siguientes componentes:

1 placa controladora, modelo Arduino UNO.

Un sensor MEMS ADXL 345.

Un display LCD.

Una placa de prototipado.

Se realizó un boceto del esquema de conexiones del Dispositivo 1, con el software “Thinkercad” de la empresa Autodesk.

A continuación se diseñó el esquema eléctrico de conexiones. Para la alimentación del dispositivo se optó por una batería de 6 pilas AAA, que suministran un voltaje total de 9DCV. Ésta opción es posible por el regulador de tensión interno que dispone la placa controladora, que admite hasta 12DCV.

Tanto la placa controladora Arduino UNO como el giróscopo MEMS se planificó su ubicación en una envolvente de plástico rígido que los proteja de posibles golpes e impactos. El display LCD se planificó su ubicación al exterior de la envolvente para poder visualizar el valor del ángulo medido. La carcasa de alimentación mediante pilas AA se dejó externa a la envolvente para facilitar la conexión y desconexión del dispositivo en esta etapa inicial del proyecto.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

Finalmente, se llevó a cabo el montaje del dispositivo según el diseño realizado, conectando el giroscopio MEMS y el display LCD a la placa controladora, tal y como se aprecia en la Figura 3.

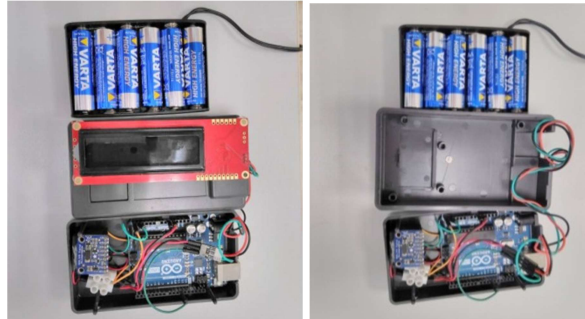


Figura 3: Conexión final del Dispositivo 1.

El dispositivo finalmente ensamblado y conectado ocupa un volumen total de 110 x 60 x 68 mm.

3 Evaluación Dispositivo 1

*Cálculo del ángulo de apertura de escalera.*

El dispositivo MEMS empleado es una unidad de medición inercial o IMU (Inertial Measurement Units) de 6 grados de libertad (DoF), lo que significa que dispone de un acelerómetro de 3 ejes (x, y z) y un giroscopio de 3 ejes (x, y, z). Por tanto, puede medir aceleración lineal y angular en los tres ejes espaciales x, y z.

La forma de poder medir la inclinación del sensor respecto de un plano, se basa en la descomposición del peso del dispositivo sobre los ejes del plano de apoyo del mismo. En la Figura 4 se puede observar un ejemplo sobre dos dimensiones. El acelerómetro (rectángulo de color azul) apoya sobre un plano inclinado, que forma un ángulo theta ( $\theta$ ) sobre el suelo (plano horizontal). La fuerza de la gravedad ( $g$ ) empuja hacia abajo (en vertical, y perpendicular al plano horizontal) al acelerómetro, y éste mide la descomposición de esta aceleración en el eje x y eje z del dispositivo. Por trigonometría, se sabe que el ángulo  $\theta$  se calcula como la arcotangente del cociente de la descomposición de la aceleración en x y en z, tal y como se visualiza en la Figura 4.

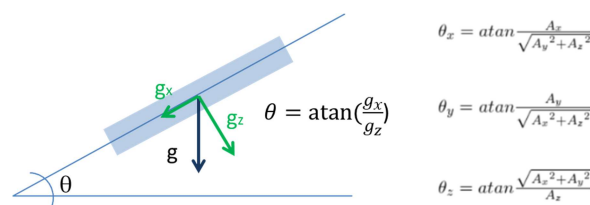


Figura 4: Cálculo del ángulo de inclinación del acelerómetro y ecuaciones para el cálculo.



**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

Si se aplican estas ecuaciones a las tres dimensiones del espacio (x, y, z), las ecuaciones para calcular los diferentes ángulos de inclinación son las representadas en la Figura 4 (dcha.).

Para el caso que aplica en el presente proyecto, el ángulo que se desea medir es el que se identifica en la normativa para escaleras tanto las denominadas de apoyo, como las de tipo autoestables.

En las escaleras de apoyo, se mide el ángulo alfa ( $\alpha$ ) que forma la escalera con el suelo al apoyarse en la pared. En las escaleras de tipo autoestable se miden los ángulos alfa ( $\alpha$ ) y beta ( $\beta$ ) que forman ambas partes de la escalera con el suelo.

Por tanto, se trata de un caso similar al mostrado anteriormente, donde por medio de la descomposición en los ejes x, y, z de la aceleración de la gravedad, pueden calcularse los ángulos  $\alpha$  y  $\beta$ . En la se puede observar la descomposición de la gravedad en escalera de apoyo, así como la ecuación para calcular el ángulo de la escalera respecto de un eje X, alineado con el dispositivo.

*Calibración del dispositivo.*

Una vez conocida la forma teórica de obtener el ángulo de la escalera respecto del suelo o plano horizontal, se hace necesario un proceso de calibración del dispositivo desarrollado. Varios son los factores que pueden hacer diferir la medida ofrecida por el dispositivo, de la magnitud real:

Precisión del IMU.

Capacidad del procesador para capturar nuevos datos y realizar el cálculo del ángulo.

Orientación del IMU dentro del encapsulado.

Para calibrar y poder corregir el posible error de medida del dispositivo, se compara la medida ofrecida por el dispositivo con la de un inclinómetro de laboratorio (Digi-Pass, modelo DWL-80E) con precisión de 0'1°.

Para la calibración se empleó un tablero de contrachapado de 500 x 100 x 16 mm, sobre el que se apoyó tanto el dispositivo desarrollado como el inclinómetro de laboratorio, formando diferentes ángulos en un rango [0° - 90°], tal y como se aprecia en la Figura 5.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**



Figura 5: Calibración del Dispositivo 1 (izqda.) con inclinómetro (dcha.).

Los resultados obtenidos se representan a nivel gráfico en el eje horizontal el ángulo medido por el dispositivo desarrollado y en el eje vertical el ángulo medido por el equipo de laboratorio. En las representaciones gráficas de calibración y de error de medida se aprecia como en el rango [20° - 75°] se produce un error de entre 4-6°. Se identifican además algunos puntos a 70° y 90° donde la medida parece distorsionarse.

Si se lleva a cabo una correlación lineal para predecir el ángulo real a partir del ángulo medido por el dispositivo, se obtiene una ecuación de grado uno, que viene definida por la expresión:

$$y=1'0228x-2'6484$$

La fiabilidad de esta predicción puede considerarse muy elevada, ya que el coeficiente de Pearson (R2) es de 0'979, prácticamente igual a 1 y, por tanto, se usó como ecuación de corrección de la medida.

*Tarea 4.3.- Diseño de sistemas giroscopios mecánicos para estabilización de escaleras y elementos de mobiliario inestables*

La Tarea 4.3 se dividió en dos grandes bloques:

- Sistemas giroscópicos mecánicos adquiridos
- Diseño y adaptación de los giroscopios adquiridos a los elementos del proyecto

1 Sistemas giroscópicos mecánicos adquiridos


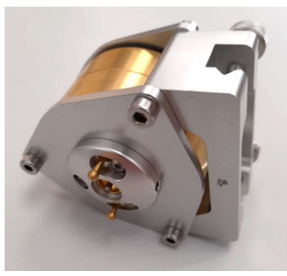

Se realizó una búsqueda en el mercado para adquirir diferentes tipos de giroscopios mecánicos que pudieran proporcionar una estabilización activa de los elementos en estudio del proyecto. Tras esa

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

búsqueda se observó que hay muy pocas casas comerciales que distribuyan estos productos, y la gran mayoría los fabrica con fines académicos o decorativos, e incluso con fines deportivos.

No obstante, se encontró un fabricante que pudo proporcionar diferentes tipos de giroscopios y que se adaptaron y rediseñaron para los propósitos marcados en el proyecto.

En la Tabla 2 se presentan cada uno de estos giroscopios mecánicos que se adquirieron en un inicio del proyecto.

		
<i>Super Precision Gyroscope</i>	<i>Gyroscope Golf Putting Aid</i>	<i>Brass Lecture Gyroscope</i>

*Tabla 2: Giroscopios adquiridos inicialmente.*

En el E4.2 se describe con más detalle cada uno de estos giroscopios.

## 2 Diseño y adaptación de los giroscopios adquiridos a los elementos del proyecto

### *Super Precision Gyroscope con ejes de fijación*

Una vez adquiridos los giroscopios, se realizaron pruebas de diseño y adaptación previa a su utilización en los sustratos finales. Para ello, en primer lugar, y para conocer como actúan los giroscopios mecánicos, se estudió en profundidad el *Super Precision Gyroscope*, del cual se adquirieron cinco unidades.

Como análisis previo se utilizó como sustrato, un listón de tablero de forma rectangular, que reproduce de manera rudimentaria la forma geométrica de una escalera de un tramo. Los giroscopios deben estar bien anclados al sustrato para que la inercia giroscópica se transmita a éste, de manera que al aplicar una fuerza externa el sustrato se resista al movimiento.

Sobre este listón se estudiaron, en un principio, las distintas posiciones donde anclar los giroscopios, y se analizó la resistencia que oponían al desplazamiento lateral. Para ello se utilizó un dinamómetro en el que se midió la fuerza necesaria para que se produjera una caída lateral del tablero.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

En el E4.2 se presentan en distintas tablas las disposiciones y todos los resultados obtenidos con los diferentes giroscopios y maquetas utilizados, en el presente documento se resumen los resultados y se incluyen las tablas con los mejores resultados.

Con respecto al listón con el *Super Precision Gyroscope*, no se apreció ningún aumento de la fuerza que hay que ejercer para moverlo. Así pues, para los siguientes análisis se decidió aumentar el número de giroscopios utilizados a dos (Tabla 3).


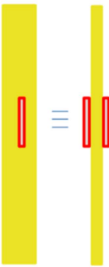
Disposición	Esquema	F <sub>0</sub> (N)	F <sub>1</sub> (N)
		0,6	0,9

Tabla 3: Selección de la disposición que mejores resultados dio respecto de la tabla original del E4.2 de dos *Super Precision Gyroscopes* al listón prototipo y la fuerza necesaria para tirar el listón.

Utilizando dos *Super Precision Gyroscopes* se observó que dependiendo de la disposición de los giroscopios a lo largo de la estructura, en determinadas posiciones se empezaba a ver un aumento de la Fuerza necesaria para mover el listón prototipo. Se comprobó que era necesaria una disposición de los giroscopios compensatoria y simétrica, los mejores resultados se obtuvieron con la disposición de la Tabla 3. Para facilitar el análisis y la interpretación de los datos, se determinó que los resultados que aumentaban la Fuerza aplicada entre 0,4-0,5 N se sombreaban de amarillo, los que aumentaban la Fuerza entre 0,6-0,9 N en verde claro y los que aumentaban la fuerza 1 N o más, en verde intenso.

Con estos resultados preliminares se empezó a ver como los giroscopios inducían una resistencia al movimiento, que también se percibió simplemente sujetando el listón con una mano e intentando moverlo.

El siguiente paso fue realizar una maqueta de escalera de apoyo pequeña, de 60 cm, de tablero contrachapado de 2,5 cm de grosor, con tres peldaños del mismo tablero, separados entre sí 20 cm.

Al igual que con el listón se analizaron diferentes disposiciones de los giroscopios, aplicando las fuerzas en distintos puntos (Figura 6).

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

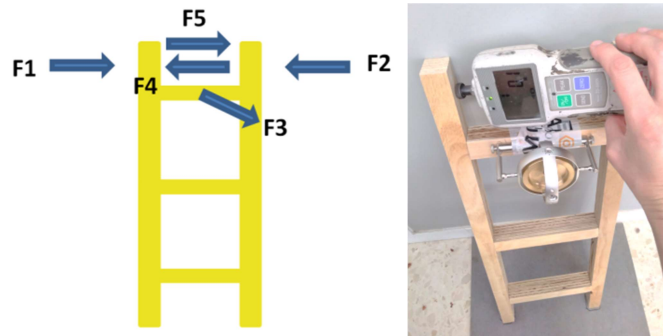


Figura 6: Aplicación y medida de fuerzas con dinamómetro sobre la maqueta de escalera de apoyo.

En los resultados se observó que los giroscopios en determinadas disposiciones y fuerzas aplicadas específicas podían aumentar la resistencia a mover la maqueta de la escalera de apoyo de un tramo.

Como se puede apreciar en la Figura 6, en un principio, la fijación del giroscopio a la maqueta de escalera de apoyo fue mediante atornillado en la parte media del eje central y fijado con cinta aislante. Esta manera de sujetar el giroscopio era más rápida y permitió realizar medidas en diversas posiciones, en cambio el efecto del giroscopio se puede perder en parte, debido a que los pequeños movimientos de los ejes de sujeción no se transmiten completamente a la maqueta por no estar fuertemente anclados a ella.

Es por ello, que en este punto de la investigación se desarrollaron unas escuadras de fijación de aluminio en forma de L, para sujetar firmemente los giroscopios y sus ejes a la maqueta.

Al igual que en los casos anteriores se analizaron diferentes disposiciones de los giroscopios con las fijaciones desarrolladas.

La Tabla 4 contiene una selección de los mejores resultados obtenidos con el *Super Precision Gyroscopes* a la maqueta de escalera de apoyo.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**



Disposición	OFF/ON	F <sub>1</sub> (N)	F <sub>2</sub> (N)	F <sub>3</sub> (N)	F <sub>4</sub> (N)	F <sub>5</sub> (N)
	OFF	2,9	3,2	-2,4	3,3	2,8
	ON	6,7	5,7	-2,5	5,6	5,3
	OFF	3,0	2,9	-2,2	2,7	3,2
	ON	7,7	5,7	-2,3	5,1	6,1

Tabla 4: Selección de los mejores resultados obtenidos incorporando 2, 3 y 4 Super Precision Gyroscopes a la maqueta de escalera de apoyo.

Con las disposiciones desarrolladas con 2 giroscopios se observó claramente que los mejores resultados se obtenían cuando los giroscopios se situaban en la parte superior externa de ambos largueros. Además si los ejes de sujeción de los giroscopios eran más largos, los resultados fueron incluso mejores.

No obstante la fuerza F3 era la más difícil de incrementar. Esta fuerza correspondería al vuelco de la escalera hacia atrás.

Al incorporar 3 giroscopios y ser un número impar, se presentaron más dificultades a la hora de realizar disposiciones simétricas, tan solo se realizaron dos disposiciones con 3 *Super Precision Gyroscopes*. La disposición que mejores resultados dio (en las fuerzas F4 y F5 principalmente), también tenía dos giroscopios situados en los extremos exteriores y superiores de ambos largueros, y el tercero al medio arriba.

Con 4 giroscopios en la maqueta, se observaron diferentes disposiciones que aumentaron de manera considerable alguna o algunas de las fuerzas aplicadas para mover la maqueta de escalera de apoyo de un tramo. La mayoría de estas disposiciones tienen en común que poseen dos giroscopios insertados en las caras externas superiores de los largueros. Posiciones que, como se ha comprobado, fueron las que también dieron buenos resultados con 2 y 3 giroscopios.

No obstante, la fuerza F3, que provocaría un vuelco hacia atrás en la escalera no se consiguió aumentar significativamente.

Con el fin de analizar como afecta la fuerza giroscópica en escaleras autoestables, también se realizó una maqueta prototipo de dicha tipología de escaleras. Se realizó con tablero contrachapado de 2 cm de grosor, con tres peldaños del mismo tablero, separados entre sí 20 cm.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

Para poder estudiar la maqueta siempre con el mismo ángulo de apertura, se le añadieron unas bisagras y se incorporó una cinta que permite la apertura de la escalera con unos ángulos de apertura  $\alpha$  y  $\beta$  de  $70^\circ$ . Al igual que con las maquetas anteriores se analizaron diferentes disposiciones de los giroscopios, aplicando las fuerzas en distintos puntos (Figura 7).

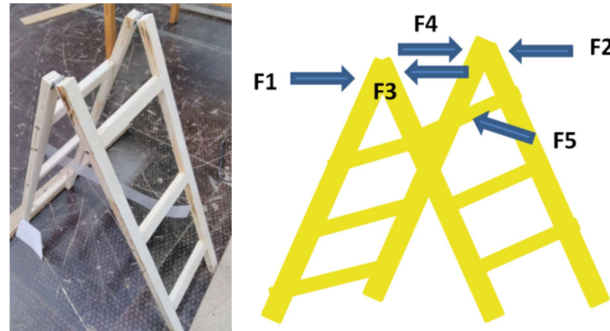


Figura 7: Maqueta de escalera autoestable (izqda.) y esquema de aplicación de fuerzas (dcha.).

En la Tabla 5 se presenta un resumen con los mejores resultados obtenidos.



Disposición	OFF/ON	F <sub>1</sub> (N)	F <sub>2</sub> (N)	F <sub>3</sub> (N)	F <sub>4</sub> (N)	F <sub>5</sub> (N)
	OFF	2,3	1,9	1,8	2,3	7,2
	ON	3,4	2,6	2,6	3,4	8,3
	OFF	2,0	1,8	1,8	1,9	6,0
	ON	3,5	3,0	3,0	3,4	6,4

Tabla 5: Selección de los mejores resultados obtenidos incorporando 2, 3 y 4 Super Precision Gyroscopes a la maqueta de escalera autoestable.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

Como se pudo observar en los resultados obtenidos, un solo *Super Precision Gyroscope*, no tenía la fuerza suficiente para estabilizar la maqueta de escalera autoestable, independientemente de la posición en la que esté.

Así pues, el siguiente paso fue probar con 2 y 3 giroscopios. En este caso se vio que la utilización de 2 o 3 giroscopios ejercía una mayor resistencia al vuelco de la escalera, pero dependía en gran medida de la disposición de los giroscopios en la estructura. La mejor disposición fue cuando los giroscopios se encontraban en la parte superior interna de la escalera y posicionados en vertical sobre un soporte.

Al estudiar los resultados obtenidos con 4 giroscopios se observó que se aumentaban también las resistencias a vuelco. En especial los aumentos más importantes de las fuerzas aplicadas se obtenían cuando los giroscopios se encuentran en el plano vertical central, y éstos se encuentran en la parte superior y paralelos a este plano.

*Gyroscope Golf Putting Aid*

Al igual que con el *Super Precision Gyroscope* en el apartado anterior, el *Gyroscope Golf Putting Aid* también se estudió con los tres prototipos preliminares desarrollados. En este caso, se partió del extenso estudio realizado y se analizaron especialmente disposiciones que, en el caso del *Super Precision Gyroscope*, habían dado buenos resultados.

En primer lugar se volvió a utilizar el listón de tablero de forma rectangular, que reproduce de manera rudimentaria la forma geométrica de una escalera de un tramo.

En el caso del *Gyroscope Golf Putting Aid*, las mejores disposiciones también eran las que tenían los giroscopios en los laterales exteriores, posicionándose dos en cada lateral.

Se continuó analizando el *Gyroscope Golf Putting Aid* con el siguiente prototipo: la maqueta de escalera de apoyo pequeña de 60 cm.

Se estudiaron diferentes disposiciones de los giroscopios, tomando como base las disposiciones que mejores resultados dieron con los *Super Precision Gyroscopes*, y aplicando las fuerzas en los mismos puntos, representados en la Figura 6.

Así pues, se presentan en la Tabla 6 las disposiciones que dieron los mejores resultados. En una se utilizaron 3 giroscopios y en la otra 4.



**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**



Disposición	OFF/ON	F <sub>1</sub> (N)	F <sub>2</sub> (N)	F <sub>3</sub> (N)	F <sub>4</sub> (N)	F <sub>5</sub> (N)
	OFF	5,6	5,7	-5,6	4,3	5,0
	ON	7,6	6,3	-5,6	6,1	7,6
	OFF	6,8	5,3	-5,6	4,8	5,6
	ON	8,0	5,3	-5,8	5,3	7,9

Tabla 6: Selección de los mejores resultados obtenidos incorporando 3 y 4 Gyroscopes Golf Putting Aid a la maqueta de escalera de apoyo.

En el caso de los *Gyroscope Golf Putting Aid* con la escalera de apoyo, los resultados no mostraron tantas disposiciones con aumento sustancial de las fuerzas, como sí ocurría en el caso de los *Super Precision Gyroscopes*. No obstante se obtuvieron dos disposiciones con mejora significativa de algunas de las fuerzas necesarias para volcar la escalera, observándose incluso mejores resultados con la disposición que cuenta con 3 giroscopios, que con la disposición con 4 giroscopios.

Finalmente se analizaron los *Gyroscopes Golf Putting Aid* a la maqueta de escalera autoestable, realizada con tablero contrachapado.

Se estudiaron diferentes disposiciones de los giroscopios, tomando como base las disposiciones que mejores resultados dieron con los *Super Precision Gyroscopes*, y aplicando las fuerzas en los mismos puntos, representados en la Figura 7.

Así pues, se presenta en la Tabla 7 la disposición que mejores resultados dio, en la que se utilizaron 4 giroscopios.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**


Disposición	OFF/ON	F <sub>1</sub> (N)	F <sub>2</sub> (N)	F <sub>3</sub> (N)	F <sub>4</sub> (N)	F <sub>5</sub> (N)
	OFF	3,1	3,5	3,4	2,6	8,2
	ON	4,1	3,7	4,1	3,6	10,1

Tabla 7: Selección de los mejores resultados obtenidos incorporando 4 Gyroscopes Golf Putting Aid a la maqueta de escalera autoestable.

Los *Gyroscopes Golf Putting Aid* presentaron muy buenos resultados con la maqueta de las escaleras autoestables. En especial, a destacar, la disposición en la que los giroscopios se encuentran en la parte más alta de la escalera, y dan lugar a un incremento de fuerzas prácticamente general. Estos resultados son muy similares a los obtenidos con las escaleras autoestables y los *Super Precision Gyroscopes*, en los que los aumentos más importantes de las fuerzas aplicadas se obtuvieron cuando los giroscopios se encontraban en el plano vertical central, en la parte superior y paralelos a este plano.

*Brass Lecture Gyroscope*

El *Brass Lecture Gyroscope* tiene un peso muy elevado (2,5 Kg) en comparación tanto con la maqueta de escalera de apoyo (0,76 Kg) como con la maqueta de escalera autoestable (0,49 Kg). Esto implica que sea inviable el estudiarlo con las maquetas, ya que su gran volumen y peso las hubiera hecho caer. Es por ello que este giroscopio se estudió en el entregable 5.1 con los elementos de estudio reales.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

**PAQUETE DE TRABAJO 5.- INCORPORACIÓN Y APLICACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS Y SISTEMAS GIROSCÓPICOS DESARROLLADOS A LOS ELEMENTOS EN ESTUDIO.**

Durante la realización del Paquete de Trabajo 5, se realizó la incorporación y aplicación más funcional de los diferentes dispositivos y sistemas giroscópicos desarrollados en el Paquete de Trabajo 4 en las distintas estructuras de las escaleras y los elementos de mobiliario estudiados en el proyecto.

Este trabajo se dividió en las Tareas 5.1 y 5.2. La Tarea 5.1 se centró en la incorporación de los dispositivos giroscópicos MEMS desarrollados en escaleras, para lo que en primer lugar se mejoró el dispositivo giroscópico MEMS de estabilización pasiva realizando un segundo diseño optimizado y posteriormente se calibró y se evaluó en las maquetas y los elementos en estudio. Durante la realización de la Tarea 5.2 se incorporaron los diferentes sistemas giroscópicos de estabilización activa adquiridos a los elementos en estudio seleccionados (escaleras de apoyo de un tramo, escaleras autoestables de aluminio, escaleras autoestables pequeñas, taburete de peldaño, taburete y tronas). En estos elementos se estudiaron diversas disposiciones para observar como se comportaban los giroscopios y evaluar cuales eran las mejores disposiciones y giroscopios para cada elemento. El trabajo realizado en ambas tareas se encuentra ampliamente detallado en el E5.1.

A continuación se resumirá dicho trabajo realizado en cada una de estas tareas.

*Tarea 5.1.- Incorporación de los dispositivos giroscópicos MEMS desarrollados en escaleras*

La Tarea 5.1 se dividió en tres grandes bloques:

- Necesidades de adaptación del Dispositivo 1
- Diseño del Dispositivo 2
- Evaluación del Dispositivo 2

1 Necesidades de adaptación del Dispositivo 1

Antes de incorporar el dispositivo desarrollado en los elementos de estudio del proyecto (escalera de apoyo y escaleras autoestables), se identificaron mejoras a desarrollar para garantizar la utilidad del mismo en un entorno real:

Por un lado, tras la ejecución de pruebas llevadas a cabo en el PT4 se detectó que el giroscopio MEMS utilizado presentaba un error de medida del ángulo considerable en el rango de 75-85°. Se hacía necesario utilizar un nuevo sensor que minimizara el error de medida en el rango del ángulo de uso de la escalera.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

Por otro lado, se identificó la necesidad de generar un aviso al usuario cuando éste posicionaba la escalera en un ángulo incorrecto. El tipo de aviso considerado fue de sonido (pitido) y lumínico (mediante un código de colores, similar a un semáforo).

En la Figura 8 se muestra un resumen de las mejoras implementadas en el segundo dispositivo desarrollado, antes de su incorporación a los elementos de estudio.

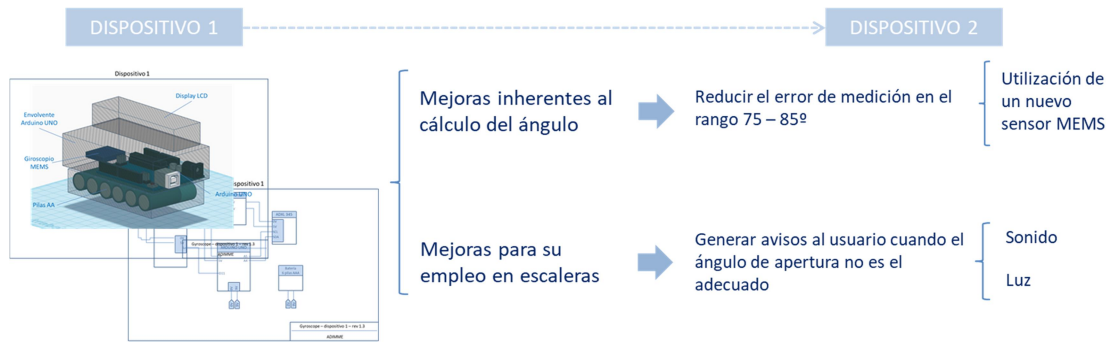


Figura 8: Detección de mejoras en Dispositivo 1.

2 Diseño del Dispositivo 2

Tal y como se ha indicado en el apartado anterior, se diseñó un nuevo dispositivo FLORA del fabricante Adafruit, basado en el sensor LSM303DLHC. Se trata de un sensor que puede medir hasta 16Gs, pero al que se le puede escalar el rango, cuya comunicación con el microcontrolador se lleva a cabo por protocolo I2C.

Además se le incorporó un zumbador para emitir un pitido cuando la posición de la escalera se encuentre en un ángulo inadecuado, y tres leds de colores verde, amarillo y rojo, que se encenderán en función de dicho ángulo de apertura, similar al funcionamiento de un semáforo de tráfico:

Luz verde: el ángulo de apertura de la escalera es correcto.

Luz amarilla: atención, el ángulo de la escalera está en los límites recomendados.

Luz roja: peligro, el ángulo de apertura está claramente fuera de los límites recomendados.

En la Figura 9 se muestra un esquema de componentes y sus conexiones del nuevo dispositivo. En este dispositivo se eliminó la pantalla LCD para mostrar el ángulo, ya que en la aplicación real lo importante no es medir el ángulo, sino notificar al usuario si es correcto o no. El elevado consumo de energía del LCD desaconsejó mantenerla en la nueva versión del dispositivo.

## “GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad

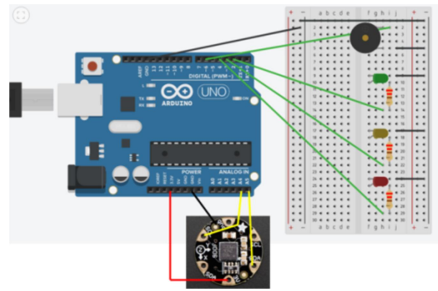


Figura 9: Esquema de conexiones Dispositivo 2.

Se realizó un montaje previo en una placa de prototipado, para verificar la programación del dispositivo según lo indicado. Se decidió cambiar la anterior placa controladora Arduino Uno por un modelo de menor tamaño Arduino NANO, pensando en su posterior aplicación en los elementos de estudio.

La lógica de programación del microcontrolador para generar el aviso sonoro y lumínico se realizó de la siguiente manera: en primer lugar se obtienen los valores de aceleración de la gravedad descompuesta en los ejes x, y, z, después se obtiene el ángulo de inclinación de la escalera, según las ecuaciones descritas en el PT4.

A continuación, se chequea la siguiente secuencia de forma sistemática y secuencial:

¿El ángulo de la escalera se encuentra dentro del ángulo 65-75°? Si es así, se enciende el led verde (resto de leds apagados) y el zumbador no emite sonido alguno.

Si no es así, ¿El ángulo se encuentra o bien dentro del rango 55-65°, o bien 75-85°? Si es así, se enciende el led amarillo (resto de leds apagados), y el zumbador emite una secuencia de pitidos discontinuos con una cadencia lenta.

Si no es así, se enciende el led rojo (resto de leds apagados) y el zumbador emite una secuencia de pitidos discontinuos con una cadencia rápida.

En la Figura 10 se muestra un boceto en 3D de la nueva versión del dispositivo, con la placa controladora Arduino nano, una placa de conexiones donde van soldados la controladora, el zumbador, giróscopo, así como los diodos led. Todo esto, junto con la batería power bank va encapsulado en una envolvente que dispone de tres agujeros para permitir visualizar el encendido de los leds. El diseño se materializó en una placa de conexiones donde se sueldan todos los componentes según el diseño realizado.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

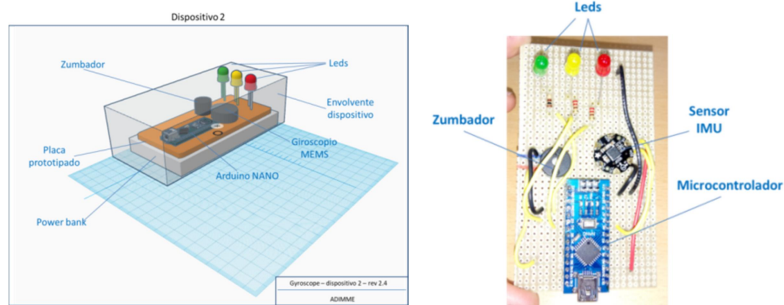


Figura 10: Boceto 3D Dispositivo 2 (izqda.) y montaje de Dispositivo 2 en placa de soldadura (dcha.).

Finalmente se generó la envolvente para todo el conjunto. Se utilizó una envolvente metálica a la que se le realizaron tres mecanizados (taladrado) para permitir la visualización de los tres leds.

### 3 Evaluación del Dispositivo 3

#### Calibración

Al igual que con el dispositivo inicial, se hizo necesario un proceso de calibración del dispositivo desarrollado. Varios son los factores que pueden generar error en la medida ofrecida por el dispositivo, de la magnitud real:

Precisión del IMU.

Capacidad del procesador para capturar nuevos datos y realizar el cálculo del ángulo.

Orientación del IMU dentro del encapsulado.

Para calibrar y poder corregir el posible error de medida del dispositivo, se comparó la medida ofrecida por el dispositivo con la de un inclinómetro de laboratorio (Digi-Pass, modelo DWL-80E) con precisión de 0'1°.

Para la calibración se empleó un tablero de contrachapado de 500 x 100 x 16 mm, sobre el que se apoyó tanto el dispositivo desarrollado como el inclinómetro de laboratorio, formando diferentes ángulos en un rango [0° - 90°], tal y como se aprecia en la Figura 11.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**



Figura 11: Pruebas de calibración de la medida del ángulo del Dispositivo 2.

Con los resultados obtenidos se llevó a cabo una correlación lineal con una ecuación polinómica de grado 2, el coeficiente de correlación lineal (R2) es de un 0'9846. Además, el ajuste en la zona de 60-85° es mucho mejor que con una ecuación de grado 1.

Por tanto, la ecuación aplicar para corregir el error de medida es:

$$y = -0'0043x^2 + 1'2884x + 7'9058$$

*Evaluación del dispositivo en escaleras.*

Antes de incorporar el nuevo dispositivo en un elemento real (escalera de apoyo o escalera autoestable), se realizaron pruebas con maquetas a escala de los mismos. El objetivo fue identificar si existían posiciones de la escalera donde descartar la ubicación del dispositivo.

Para ello se ubicó el dispositivo en varias alturas de la escalera (versión maqueta), y se simularon diferentes ángulos de apertura de la misma. Los ángulos de apertura seleccionados coincidían con los rangos de ángulos límite en los que el dispositivo debe de avisar de la colocación incorrecta de la escalera.

Con el inclinómetro de laboratorio se verificó el ángulo en el que se ubicó la escalera y se comprobó si el dispositivo funcionaba acorde a dicho ángulo (Figura 12).

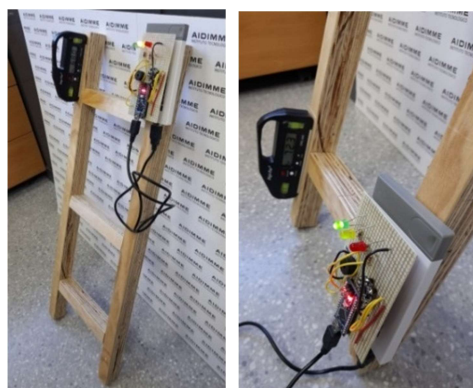


Figura 12: Ubicación del dispositivo en parte superior e inferior en la maqueta de la escalera de apoyo.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

También se llevó a cabo una prueba similar con la maqueta de escalera autoestable.

Tras estas evaluaciones se comprobó que no parecía que existiera una zona de ubicación del dispositivo que no fuera recomendable en cuanto a la precisión de la medición obtenida.

Los tests realizados sobre las maquetas no afloraron ningún tipo de problemática a la hora de instalar el dispositivo. Sin embargo, a la hora de realizar la instalación sobre las escaleras reales objeto de estudio había que tener en cuenta algunas limitaciones que el dispositivo puede generar para su uso. Entre las limitaciones que se identificaron y que debían testarse en futuras etapas del proyecto se identificaron:

Que la ubicación del dispositivo permita apreciar con claridad tanto el avisador lumínico como sonoro de que la escalera está mal colocada.

Que el volumen y forma del dispositivo no moleste a la hora de utilizar la escalera: subir, bajar, trabajar sobre la escalera y transportarla.

Respecto de éstas limitaciones se identificaron tres puntos de una escalera donde se podría ubicar el nuevo dispositivo: zona inferior, zona media y zona superior de la escalera.

*Tarea 5.2.- Aplicación de los sistemas giroscópicos mecánicos en escaleras y elementos de mobiliario inestables*

Durante el desarrollo de la Tarea 5.2 se seleccionaron y adquirieron diferentes elementos del mercado que se consideran inestables debido a su función, uso, diseño y estructura. Esta tarea se dividió en 7 apartados correspondientes cada uno con el estudio de uno de estos elementos.

En la Tabla 8 se enumeran dichos elementos, en el E5.1 se describe con más detalle las características técnicas de cada uno.

						
Escalera de apoyo de un tramo de aluminio	Escalera autoestable de aluminio	Escalera autoestable de aluminio pequeña	Taburete de peldaño	Trona 1	Trona 2	Taburete

Tabla 8: Elementos de mobiliario en estudio para el proyecto GYROSCOPE.



**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

Las escaleras constituyen el elemento de mobiliario fundamental del proyecto, sobre el cual se pretende mejorar la estabilidad en primera instancia. Por ese motivo, y debido a la diversidad de escaleras presentes en el mercado, se seleccionaron y adquirieron distintos modelos, que representan, a grandes rasgos, las diferentes escaleras existentes.

1 Escalera de apoyo de un tramo de aluminio

Los diferentes sistemas giroscópicos adquiridos, desarrollados y estudiados, se analizaron en la escalera de apoyo de un tramo de aluminio. En el esquema de la Figura 13 se representan las fuerzas que se aplicaron y midieron con las distintas disposiciones de giroscopios apagados y encendidos.

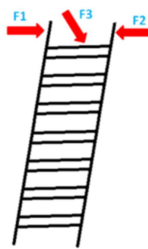


Figura 13: Esquema de fuerzas aplicadas a las escaleras de apoyo de un tramo para comprobar el efecto de la fuerza giroscópica en la estabilidad.

*Super Precision Gyroscope*

En primer lugar, se estudiaron los *Super Precision Gyroscopes* con ejes de fijación. Se optó por utilizar los 4 giroscopios y con la posición que mejores resultados dio con la maqueta de escalera de apoyo.

En la Tabla 9 se observan las imágenes de la disposición realizada y los resultados obtenidos.


Disposición	OFF/ON	F <sub>1</sub> (N)	F <sub>2</sub> (N)	F <sub>3</sub> (N)
	OFF	6,7	7,9	-6,7
	ON	6,6	7,8	-6,7

Tabla 9: Resultados obtenidos con la disposición de la imagen de las escaleras de apoyo con 4 *Super Precision Gyroscopes*.

Según los resultados, no se observó aumento de las fuerzas necesarias para mover las escaleras. Esto puede ser debido a la mayor altura de las escaleras y el mayor peso, si se comparan con la maqueta.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

El menor tamaño y masa de la maqueta hacía posible que para esta disposición los ejes de los giroscopios abarcaran la mayor parte de la longitud de ambos largueros y supusieran una fuerza importante en la estructura. En cambio con las escaleras reales los ejes de los giroscopios solamente abarcan alrededor de una cuarta parte de los largueros y la masa un 17% de la de la escalera.

*Gyroscope Golf Putting Aid*

En el caso de los *Gyroscope Golf Putting Aid* se utilizaron, en primer lugar, los cuatro giroscopios directamente y con la disposición que mejores resultados dio con la maqueta. No obstante la disposición que dio los mejores resultados con 4 *Gyroscopes Golf Putting Aid* en la maqueta de escalera de apoyo, apenas mejoró los resultados. Por ello se optó por evaluar dichos giroscopios con la disposición estudiada en el apartado anterior con los *Super Precision Gyroscopes*. En este caso sí que se mejoraron y aumentaron las fuerzas aplicadas (Tabla 10).


Disposición	OFF/ON	F <sub>1</sub> (N)	F <sub>2</sub> (N)	F <sub>3</sub> (N)
	OFF	10,5	9,1	-7,3
	ON	11,5	10,7	-8,2

Tabla 10: Mejor resultados obtenido con 4 Gyroscopes Golf Putting Aid en la escalera de apoyo de aluminio.

*Brass Lecture Gyroscope*

Este giroscopio es más grande, pesado y con una fuerza giroscópica mayor que la de un *Super Precision Gyroscope*, es por ello que no se pudo utilizar en las maquetas, ya que éstas eran demasiado pequeñas y ligeras para soportar el *Brass Lecture Gyroscope*.

Con este giroscopio se estudiaron las dos posiciones que se consideraron más lógicas y seguras para una escalera de apoyo de un tramo, en la posición superior en el centro y en la posición del medio en el centro. Todo este sistema resultó difícil de manejar al ser muy pesado y las escaleras ser altas, estrechas y ligeras.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

Para ambas disposiciones los resultados fueron prácticamente iguales tanto con el giroscopio apagado como encendido. Esto puede ser debido a la elevada desproporción en peso del giroscopio y el sistema de seguridad desarrollado, comparado con el peso de la escalera.

2 Escalera autoestable de aluminio

Los diferentes sistemas giroscópicos adquiridos, desarrollados y estudiados, se analizaron en las escaleras autoestables de aluminio. En el esquema de la Figura 14 se representan las fuerzas que se aplicaron y midieron con las distintas disposiciones de giroscopios apagados y encendidos.

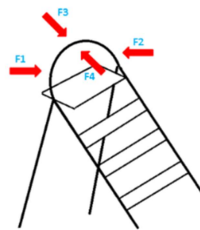


Figura 14: Esquema de fuerzas aplicadas a la escalera autoestable de aluminio para comprobar el efecto de la fuerza giroscópica en la estabilidad.

*Super Precision Gyroscope*

En un principio, y teniendo en cuenta que seguramente con la fuerza ejercida con uno o dos *Super Precision Gyroscopes* no sería suficiente, se estudiaron diversas posiciones con 1 y 2 giroscopios para realizar un estudio preliminar. Con solo 1 o 2 giroscopios no se apreciaron claros incrementos de fuerza en la mayor parte de las disposiciones.

Viendo que, como era de esperar, se necesitaba una mayor fuerza giroscópica para estabilizar una escalera autoestable de aluminio estándar, se utilizaron los 4 *Super Precision Gyroscopes* situándolos según la mejor de las disposiciones obtenida con la maqueta de escalera autoestable. Esta maqueta sería la que más se acerca a la estructura real de estas escaleras. La Tabla 11 muestra los resultados obtenidos con dicha disposición.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**


Disposición	OFF/ON	F <sub>1</sub> (N)	F <sub>2</sub> (N)	F <sub>3</sub> (N)	F <sub>4</sub> (N)
	OFF	7,8	7,9	12,9	12,9
	ON	8,0	8,4	13,1	13,4

Tabla 11: Resultados obtenidos con la escalera autoestable de aluminio con 4 Super Precision Gyroscopes.

En este caso se utilizaron los ejes más largos de los giroscopios y se acoplaron distintos soportes para poder reproducir la disposición mencionada. Los resultados mostraron un ligero aumento generalizado en todas las fuerzas. Según estos resultados, todo parecía indicar que era una disposición correcta para estabilizar esta escalera, pero que la fuerza giroscópica de estos 4 Super Precision Gyroscopes no era suficiente como para obtener aumentos más significativos.

*Gyroscope Golf Putting Aid*

En el caso de los Gyroscope Golf Putting Aid se utilizaron los cuatro giroscopios directamente y con las posiciones que se preveían que iban a dar mejores resultados (Tabla 12).



Disposición	OFF/ON	F <sub>1</sub> (N)	F <sub>2</sub> (N)	F <sub>3</sub> (N)	F <sub>4</sub> (N)
	OFF	9,6	9,0	15,1	14,4
	ON	10,5	9,8	16,8	16,2
	OFF	8,6	8,7	14,5	14,3
	ON	9,8	9,4	16,8	15,7

Tabla 12: Resultados obtenidos con la escalera autoestable de aluminio con 4 Gyroscopes Golf Putting Aid.

Las dos disposiciones estudiadas dieron muy buenos resultados.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

*Brass Lecture Gyroscope*

El *Brass Lecture Gyroscope* se analizó con la escalera autoestable de aluminio, no obstante como se ha comentado anteriormente, al ser un giroscopio de gran tamaño y peso, no se estudió con las escaleras prototipo.

La primera disposición que se analizó fue el anclaje a la base de la escalera con la base realizada especialmente para este giroscopio y asegurada mediante abrazaderas incorporadas al diseño. En esta posición se dejó girar libremente al giroscopio y se midieron las distintas fuerzas.

Al comprobar que el giroscopio no transmitía la fuerza estabilizadora a las posiciones vulnerables de la escalera, se pensó en diseñar y aplicar unos ejes de fijación y unas pirámides de madera que permitían fijar el eje de giro del giroscopio en horizontal al plano de la base de la escalera, sin eliminarle la posibilidad de movimiento y que permitieran transferir dicha fuerza a la escalera.

Con estas pirámides y ejes desarrollados anteriormente se analizaron diferentes disposiciones cuyo mejor resultado se muestra en la Tabla 13.

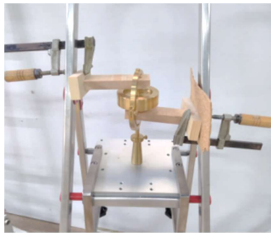
Disposición	OFF/ON	F <sub>1</sub> (N)	F <sub>2</sub> (N)	F <sub>3</sub> (N)	F <sub>4</sub> (N)
	OFF	20,8	20,6	32,9	31,4
	ON	20,7	20,5	38,5	33,4

Tabla 13: Mejores resultados obtenidos con la escalera autoestable de aluminio y el Brass Lecture Gyroscope.

En la gran mayoría de disposiciones tan solo es una de las cuatro fuerzas, la que mejora, los resultados de las cuales no se han incluido en esta tabla resumen. Se ha incluido la disposición que mejores resultados dio, donde aumenta más de una fuerza, con un aumento de 5N de la fuerza F3 y 2N de la F4.

3 Escalera autoestable de aluminio pequeña

Los diferentes sistemas giroscópicos adquiridos, desarrollados y estudiados, se analizaron en la escalera autoestable de aluminio pequeña. El esquema de fuerzas que se han aplicado y medido con las distintas disposiciones de giroscopios apagados y encendidos son equivalentes a las aplicadas en la escalera autoestable de aluminio, ya que ambas escaleras tienen la misma estructura pero diferente número de peldaños (Figura 14).

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

*Super Precision Gyroscope*

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos con la escalera autoestable de aluminio, en este nuevo elemento, que tiene la misma estructura pero con dos peldaños menos, se partió de 4 *Super Precision Gyroscopes* con ejes de fijación, y con la disposición que se prevé (por los estudios anteriores y con las maquetas) que puede dar los mejores resultados con estos giroscopios.



Disposición	OFF/ON	F <sub>1</sub> (N)	F <sub>2</sub> (N)	F <sub>3</sub> (N)	F <sub>4</sub> (N)
	OFF	7,5	8,4	8,0	7,6
	ON	7,3	10,2	8,4	8,0

Tabla 14: Resultados obtenidos con la escalera autoestable de aluminio pequeñas con 4 *Super Precision Gyroscopes*.

En este caso también se utilizaron los ejes más largos de los giroscopios y se acoplaron distintos soportes para poder reproducir la disposición mencionada. En los resultados se detectó un ligero aumento generalizado en las fuerzas F3 y F4, y un aumento de casi 2 N en la fuerza F2. Según estos resultados, todo parece indicar que es una disposición correcta para estabilizar ligeramente estas escaleras con los *Super Precision Gyroscopes*, y que seguramente la fuerza F1 debería haber sido mayor que la obtenida con los giroscopios encendidos, ya que su fuerza igual en sentido contrario (F2) sí que tiene un aumento más significativo.

*Gyroscope Golf Putting Aid*

En el caso de los *Gyroscope Golf Putting Aid* se utilizaron los cuatro giroscopios directamente y con las posiciones que dieron buenos resultados con la escalera autoestable de aluminio.

Disposición	OFF/ON	F <sub>1</sub> (N)	F <sub>2</sub> (N)	F <sub>3</sub> (N)	F <sub>4</sub> (N)
	OFF	10,9	10,6	10,8	9,9
	ON	12,6	12,7	10,8	11,0

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

	OFF	10,6	10,9	11,6	10,7
	ON	11,2	11,9	13,9	12,6

Tabla 15: Resultados obtenidos con las escaleras autoestables pequeñas de aluminio con 4 Gyroscopes Golf Putting Aid.

Tal y como se observa en la Tabla 15 ambas disposiciones estudiadas dieron muy buenos resultados, dando la segunda disposición resultados mejores que la primera, con la mayoría de las fuerzas incrementándose más de 1 N.

*Brass Lecture Gyroscope*

Después de los resultados poco satisfactorios obtenidos con el *Brass Lecture Gyroscope* con la escalera autoestable de aluminio, se decidió estudiar con la escalera autoestable pequeña tan solo 2 disposiciones. La primera con el *Brass Lecture Gyroscope* en la plataforma, solamente sujeto por su base de seguridad. Y la segunda disposición, fue la equivalente a la disposición que dio los mejores resultados con la escalera autoestable más grande.

En este caso, de las dos disposiciones estudiadas, tan solo mejoró la primera, y la segunda muy ligeramente. El peso del giroscopio y su sistema de seguridad es muy elevado para el peso que representa la escalera, por lo que puede que esto influya en los resultados obtenidos con el *Brass Lecture Gyroscope*.

4 Taburete de peldaño

Los diferentes sistemas giroscópicos adquiridos, desarrollados y estudiados, se analizaron en el taburete de peldaño. El esquema de las fuerzas que se ha aplicado y medido con las distintas disposiciones de giroscopios apagados y encendidos es equivalente al aplicado en la escalera autoestable de aluminio y la escalera autoestable pequeña, ya que el taburete de peldaño tiene una estructura similar (Figura 14).

*Super Precision Gyroscope*

En el taburete de peldaño se utilizaron directamente los 4 *Super Precision Gyroscopes* situándolos según la mejor de las disposiciones obtenida con la maqueta de escalera autoestable, ya que la estructura de esta maqueta es la que más se asemeja a la del taburete de peldaño. En esta disposición todos los giroscopios se encuentran en la parte de arriba. También se estudió una segunda disposición en la que se incorporó un giroscopio en cada una de las patas del taburete de peldaño, ya que la disposición con todos los giroscopios arriba, no permitiría que el usuario subiera al segundo peldaño.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

Los resultados observados con estas disposiciones no fueron demasiado buenos.

*Gyroscope Golf Putting Aid*

En el caso de los *Gyroscope Golf Putting Aid* también se utilizaron los cuatro giroscopios directamente y con las posiciones de los giroscopios anteriores más una disposición con un giroscopio por pata, pero situados en la parte interna (Tabla 16).




Disposición	OFF/ON	F <sub>1</sub> (N)	F <sub>2</sub> (N)	F <sub>3</sub> (N)	F <sub>4</sub> (N)
	OFF	20,3	20,0	31,4	29,8
	ON	19,9	20,1	32,7	32,8
	OFF	20,1	22,2	31,2	32,6
	ON	20,2	21,9	32,9	33,8
	OFF	20,6	21,0	33,1	35,4
	ON	20,4	21,4	35,7	37,0

Tabla 16: Resultados obtenidos con el taburete de peldaño con 4 Gyroscope Golf Putting Aid.

Las tres disposiciones mostraron buenos resultados en especial para las fuerzas F3 y F4.



**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

*Brass Lecture Gyroscope*

Teniendo en cuenta las dos disposiciones realizadas con la escalera autoestable pequeña con el *Brass Lecture Gyroscope*, con el taburete de peldaño tan solo se pudo estudiar la primera disposición en la que se sitúa en la plataforma, solamente sujeto por su base de seguridad, ya que el taburete no tiene ninguna estructura donde poder anclar las pirámides de madera.

En la única disposición posible estudiada no mejoró ninguna de las fuerzas. El peso del giroscopio y su sistema de seguridad es incluso más elevado para el peso que representa el taburete de peldaño que en los casos anteriores, y esto puede evitar la obtención de mejores resultados con el *Brass Lecture Gyroscope*.

5 Trona 1 y Trona 2

En el presente proyecto, también se quiso incluir en el estudio las tronas de bebé, ya que, tal y como se ha explicado anteriormente, son elementos inestables, sus usuarios son especialmente vulnerables y presentan un movimiento mayor e incontrolado.

Los diferentes sistemas giroscópicos adquiridos, desarrollados y estudiados, se analizaron en los dos modelos de tronas adquiridos. Para la aplicación de las distintas fuerzas a estudiar se siguió un esquema similar al aplicado a los otros elementos (Figura 15) en el que las fuerzas se aplican por los cuatro costados.

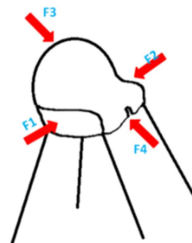


Figura 15: Esquema de fuerzas aplicadas a las tronas para comprobar el efecto de la fuerza giroscópica en la estabilidad.

*Super Precision Gyroscope*

En la Trona 1 se utilizaron directamente los 4 *Super Precision Gyroscopes*. Al no disponer de resultados previos de una maqueta similar a una trona, se situaron en los lugares más adecuados de manera que se molestara mínimamente al usuario. Estas disposiciones fueron dos, una con los giroscopios en las patas y otra con los giroscopios en la parte trasera.

Los resultados observados con estas disposiciones no mejoraron las fuerzas aplicadas en general. Tan solo la disposición con los giroscopios en las patas reflejó una ligera mejora en la fuerza F2.

Con el fin de estudiar si el comportamiento de los giroscopios es similar en otro tipo de trona con un peso ligeramente superior, se adquirió también la Trona 2. En esta trona las fuerzas se aplicaron siguiendo el mismo esquema.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

En la Trona 2, y al igual que con la Trona 1, se utilizaron directamente los 4 *Super Precision Gyroscopes*. De igual modo, se estudiaron las dos mismas disposiciones que con la Trona 1, una con los giroscopios en las patas y otra con los giroscopios en la parte trasera.

Los resultados fueron muy similares que los obtenidos con la Trona 1, en general no mejoraron las fuerzas aplicadas, y tan solo la segunda disposición reflejó una ligera mejora en la fuerza, en este caso en la F1.

*Gyroscope Golf Putting Aid*

En el caso de los *Gyroscope Golf Putting Aid* también se utilizaron los cuatro giroscopios directamente, no obstante y frente a la dificultad de incorporar estos giroscopios a las patas de la trona, se estudiaron tres disposiciones en las que los giroscopios se disponían:

Dos delante y dos detrás

Todos los giroscopios detrás.

Dos a un lado y dos al otro lado

Disposición	OFF/ON	F <sub>1</sub> (N)	F <sub>2</sub> (N)	F <sub>3</sub> (N)	F <sub>4</sub> (N)
	OFF	14,8	14,9	12,5	12,7
	ON	19,0	18,8	12,6	12,8
	OFF	15,0	15,2	11,6	11,4
	ON	19,2	19,3	11,9	11,7
	OFF	18,8	18,5	16,9	17,0
	ON	22,1	22,0	17,4	17,5
	OFF	19,3	19,5	13,3	13,0
	ON	23,8	23,5	13,8	13,6
	OFF	19,8	19,7	17,6	17,8
	ON	20,7	20,6	18,4	18,6

Tabla 17: Mejores resultados obtenidos con la Trona 1 (izqda.) y la Trona 2 (dcha.) con 4 Gyroscopes Golf Putting Aid.

Con la Trona 1 se obtuvieron buenos resultados con las primeras dos disposiciones (que son las que se muestran en la Tabla 17), especialmente para las fuerzas laterales F1 y F2. Con la Trona 2, las dos primeras disposiciones mostraron buenos resultados, especialmente para las fuerzas laterales F1 y F2, al igual que con la Trona 1, incluso en este caso las fuerzas F3 y F4 presentaron una ligera mejoría. En este caso, la tercera disposición, que con la Trona 1 no presentaba mejoría alguna, con la Trona 2, en todas las fuerzas se registra un aumento.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

*Brass Lecture Gyroscope*

El *Brass Lecture Gyroscope* es tan grande y voluminoso que su utilización en tronas sería incompatible con el usuario. No obstante, y teniendo esto en mente, se quiso comprobar si este giroscopio ejercía algún efecto en las tronas.

Así pues se realizó una única disposición en la que el giroscopio se incorporó en la parte de abajo del asiento, no obstante no se lograron mejorar las fuerzas con el *Brass Lecture Gyroscope* para ninguna de las dos tronas.

7 Taburete

En el estudio también se incluyó los taburetes, ya que, aunque están destinados a usuarios adultos, son elementos elevados con base estrecha, y por lo tanto inestables. Aunque las caídas de taburetes no presentan un riesgo de daños tan importante como las caídas de escaleras o tronas, se quiso también estudiar el comportamiento de los giroscopios en estos elementos de mobiliario.

Los diferentes sistemas giroscópicos adquiridos, desarrollados y estudiados, se analizaron en un único modelo de taburete estudiado. El esquema de fuerzas aplicadas depende de la disposición que tengan los giroscopios en el elemento. Si dicha disposición está colocada de manera que la fuerza a aplicar va a ser la misma en cualquier punto del taburete, y dado que el taburete es circular y simétrico, la fuerza se aplicó en un solo punto. Si la disposición de los giroscopios es tal que la fuerza puede ser dependiente del punto donde se aplica, se midieron dichas fuerzas en dos puntos, tal y como se representa en la Figura 16.

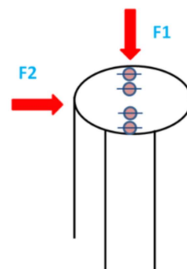


Figura 16: Esquema de fuerzas aplicadas al taburete para comprobar el efecto de la fuerza giroscópica en la estabilidad.

*Super Precision Gyroscope*

En las dos disposiciones estudiadas con estos giroscopios tan solo fue necesaria la aplicación de la fuerza en un punto. En una disposición todos los giroscopios se instalaron en la parte de arriba, teniendo en cuenta que ésta no es una disposición posible en la realidad, ya que el usuario no sería capaz de sentarse. En la otra disposición los giroscopios se colocaron en cada una de las patas. En los dos casos se utilizaron directamente los 4 *Super Precision Gyroscopes*.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

Disposición	OFF/ON	F <sub>1</sub> (N)
	OFF	11,7
	ON	13,9

Tabla 18: Resultados obtenidos con el taburete con 4 Super Precision Gyroscopes.

En la Tabla 18 se presenta la disposición que dio buenos resultados, la cual constató que el efecto giroscópico dependía mucho de la disposición, de manera que con la primera disposición descrita no se observó ningún efecto, y con la segunda disposición (la cual se presenta en la tabla) hubo un notable aumento de la fuerza con los giroscopios encendidos.

*Gyroscope Golf Putting Aid*

En las dos disposiciones estudiadas con estos giroscopios en una tan solo fue necesaria la aplicación de la fuerza en un punto y en la otra se necesitó medir la fuerza en dos puntos. En una disposición todos los giroscopios se instalaron en la parte de arriba, teniendo en cuenta que ésta no es una disposición posible en la realidad, ya que el usuario no sería capaz de sentarse, sin embargo al estar dispuestos los giroscopios en una misma dirección, se decidió medir la fuerza en dos puntos perpendiculares entre sí. En la otra disposición los giroscopios se colocaron en cada una de las patas y solo fue necesario medir en un punto. En los dos casos se utilizaron directamente los 4 *Super Precision Gyroscopes*.

Los resultados obtenidos no presentaron aumentos notorios de la fuerza aplicada, tan solo algún aumento ligero.

*Brass Lecture Gyroscope*

Al igual que con las tronas, con el *Brass Lecture Gyroscope* se realizó una única disposición en la que el giroscopio se incorporó en el asiento, pero en este caso no fue posible colocarlo en la parte de abajo, por lo que se colocó en la parte de arriba, teniendo en cuenta que esa sería una disposición imposible en entorno real. Con esta disposición tan solo fue necesaria la aplicación de la fuerza en un punto.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**


Disposición	OFF/ON	F <sub>1</sub> (N)
	OFF	31,6
	ON	33,2

Tabla 19: Resultados obtenidos con el taburete con el Brass Lecture Gyroscope.

En los resultados presentados en la Tabla 19 se observó un aumento considerable de la fuerza al utilizar el Brass Lecture Gyroscope con el taburete.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

**PAQUETE DE TRABAJO 6.- ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD DE LOS DISPOSITIVOS Y SISTEMAS GIROSCÓPICOS CON LOS ELEMENTOS EN ESTUDIO.**

En el Paquete de Trabajo 6 se estudió en primer lugar que procedimiento utilizar para medir de la manera más efectiva el efecto real de los sistemas y dispositivos giroscópicos desarrollados en los elementos de mobiliario estudiados en el proyecto.

Esta caracterización debía de ser desde el punto de vista de la estabilidad, siguiendo la normativa requerida para cada elemento en concreto y dependiendo del tipo de giroscopio utilizado: sensores MEMS para escaleras, y giroscopios mecánicos para estabilización de escaleras y elementos de mobiliario inestables.

En las escaleras se debía comprobar el funcionamiento óptimo del dispositivo con el sensor giroscópico MEMS desarrollado, comprobando que emitía avisos claros en situaciones de peligro e incluso antes de que llegaran a ser peligrosas.

En este caso, la norma UNE EN-131 es la que regula y especifica los requisitos que deben cumplir las escaleras en el ámbito profesional. El Comité Europeo de Normalización (CEN/ CENELEC) fue el encargado de su elaboración, por lo que tiene validez en toda la Unión Europea. Esta norma, se compone principalmente de 7 apartados, pero se comprobó que la aplicación de esta normativa, no permitía comprobar y analizar el comportamiento del sensor.

En el caso de los sistemas giroscópicos mecánicos ocurría de manera similar, ya que en las escaleras y mobiliario inestable seleccionado se debía caracterizar la estabilidad con los sistemas giroscópicos y compararla con su caracterización sin ningún dispositivo de estabilización. No obstante la norma que aplica a escaleras es la UNE EN-131, en el caso de tronas es la UNE EN 14988 y en taburetes y asientos la UNE EN 14 183 y la UNE EN 1022, respectivamente. Y al igual que en el caso anterior, la normativa que aplica a cada elemento, no permite comprobar la diferencia en la estabilidad del elemento con los dispositivos giroscópicos y sin ellos.

Por todo ello, se decidió que la mejor metodología de análisis en el laboratorio, que permitía la comprobación del funcionamiento de los dispositivos y sensores en elementos de mobiliario y en un entorno más real, era la realización de encuestas a diferentes usuarios.

Este trabajo se dividió en las Tareas 6.1 y 6.2. La Tarea 6.1 se centró en el análisis de la estabilidad de las escaleras con los dispositivos giroscópicos MEMS desarrollados e incorporados. Y durante la Tarea 6.2 se realizó el análisis de la estabilidad de escaleras y elementos inestables con los sistemas giroscópicos mecánicos aplicados. El trabajo realizado en ambas tareas se encuentra ampliamente detallado en el E6.1.

A continuación se resumirá dicho trabajo realizado en cada una de estas tareas.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

*Tarea 6.1.- Análisis de la estabilidad de las escaleras con los dispositivos giroscópicos MEMS desarrollados e incorporados*

La Tarea 6.1 se dividió en tres grandes bloques:

- Método de análisis
- Ejecución de las pruebas
- Resultados de las pruebas

1 Método de análisis

Los elementos en estudio para el análisis de los dispositivos MEMS fueron las distintas escaleras que se adquirieron en el proyecto, descritas con anterioridad en la Tabla 8 (las primeras cuatro escaleras). Las escaleras adquiridas se seleccionaron y adquirieron, de manera que representaban, a grandes rasgos, las diferentes escaleras existentes en el mercado.

*Desarrollo de encuestas*

Con el objetivo de validar la idoneidad del sistema desarrollado en base a un giroscopio MEMS, se desarrolló una encuesta para recopilar la opinión de diferentes usuarios potenciales de la solución.

La encuesta se diseñó para recoger la opinión del usuario acerca de la utilidad del sistema de aviso lumínico y del sistema de aviso sonoro (antes y después de subir a la escalera) cuando la escalera no estaba colocada según el ángulo adecuado. También se deseó recopilar información acerca de si el dispositivo podía llegar a resultar molesto a la hora de transportar, subir/bajar, o trabajar sobre la escalera.

Como el dispositivo puede llegar a estar ubicado en diferentes posiciones de la escalera se definieron 3 posiciones tipo: abajo, medio y arriba, sobre las que se pidió opinión al usuario respecto de cada pregunta.

2 Ejecución de las pruebas

Las pruebas se ejecutaron por parte de 17 usuarios (trabajadores de AIDIMME) sobre los 4 modelos de escalera descritos.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

3 Resultados de las pruebas

Con los resultados registrados en la plantilla de Excel se llevó a cabo el análisis de los mismos, mediante el empleo de tablas y gráficos dinámicos.

*Resultado de la idoneidad del avisador lumínico*

El análisis realizado se centra en las preguntas P1 y P3, sobre la idoneidad del avisador lumínico para colocar la escalera con el ángulo adecuado.

Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 17.

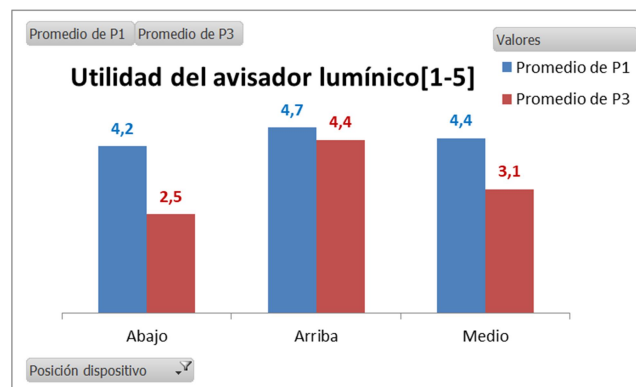


Figura 17: Utilidad del avisador lumínico según la ubicación del dispositivo.

Antes de subir a la escalera (columnas de color azul – pregunta P1), el promedio de puntuaciones por parte de los usuarios fue muy alto en cualquiera de las ubicaciones del dispositivo.

Sin embargo, con el usuario subido a la escalera, cuando el dispositivo estaba abajo no se visualizaba correctamente, y solo cuando el dispositivo estaba ubicado arriba se visualizaba satisfactoriamente.

Si se analizaba el resultado no por posición del dispositivo, sino por modelo de escalera, no se identificaban grandes variaciones entre las escaleras de apoyo o las autoestables.

*Resultado de la idoneidad del avisador sonoro*

El análisis realizado se centra en las preguntas P2 y P4, sobre la idoneidad del avisado sonoro para colocar la escalera con el ángulo adecuado.

Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 18.



**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

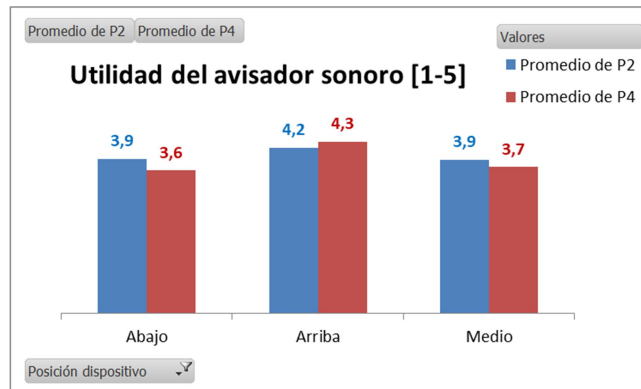


Figura 18: Utilidad del avisador sonoro según la ubicación del dispositivo.

El avisador sonoro se percibió con similar utilidad antes de subir y cuando el usuario estaba arriba de la escalera. Sí que parece que se percibió mejor el sonido cuando el dispositivo se encontraba ubicado en la posición superior, aunque la diferencia en la puntuación promedio fue muy leve.

Si se analizaba el resultado no por posición del dispositivo, sino por modelo de escalera, tampoco se identificaban grandes variaciones entre las escaleras de apoyo o las autoestables.

*Resultado sobre potenciales molestias del dispositivo durante el uso de la escalera.*

El análisis realizado se centró en las preguntas P5, P6 y P7, sobre la posibilidad de que el dispositivo generara molestias al usuario cuando está utilizando la escalera.

Los resultados obtenidos se muestran en la gráfica de la Figura 19.

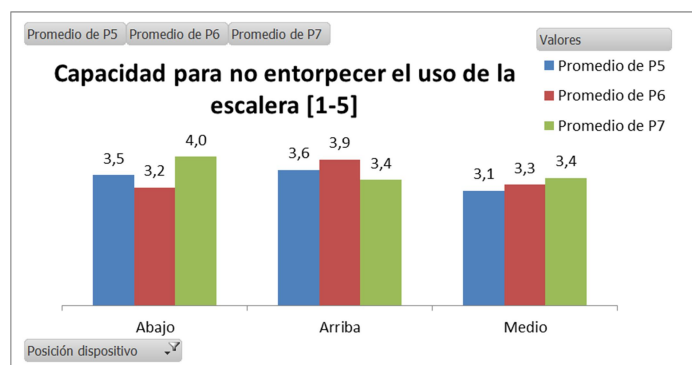


Figura 19: Posibles molestias del dispositivo según la ubicación del mismo.

De manera general el dispositivo no parecía molestar de forma excesiva. Por lo resultados, se consideró que la ubicación media era donde más puede entorpecer el dispositivo. La posición arriba, fue la que mejores puntuaciones recogió.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

Si se analizaban los resultados por modelo de escalera, se vio que en la escalera autoestable las molestias podían llegar a ser ligeramente mayores. En cualquier caso, las puntuaciones no fueron 100% satisfactorias, por lo que se identificó un área de mejora de cara a una futura integración de este tipo de dispositivos en escaleras.

*Resultado de la valoración libre.*

En el E6.1 se detallan y listan en forma de tabla todas las opiniones libres indicadas por los usuarios durante las pruebas.

Al analizarlas se extrae que, en general, los comentarios hacían referencia a los siguientes aspectos:

- Tamaño reducido y ubicación integrada del dispositivo dentro de la estructura de la escalera para mejorar la estética y la manipulación.
- Mejorar la visibilidad de los avisos lumínicos (especialmente los del led rojo).
- Aumentar el nivel de intensidad del aviso sonoro.

*Tarea 6.2.- Análisis de la estabilidad de escaleras y elementos inestables con los sistemas giroscópicos mecánicos aplicados.*

La Tarea 6.2 se dividió en tres grandes bloques:

- Método de análisis
- Ejecución de las pruebas
- Resultados de las pruebas

1 Método de análisis

En esta etapa del proyecto y teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se decidió adquirir un nuevo giroscopio mecánico: el modelo *Kenyon Gyroscopic Stabilizer KS-8*. Así pues, analizando los resultados, se decidió realizar la encuesta con los giroscopios representados en la Figura 20.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

		
<i>Super Precision Gyroscope con ejes largos</i>	<i>Gyroscope Golf Putting Aid</i>	<i>Kenyon Gyroscopic Stabilizer KS-8</i>

*Figura 20: Giroscopios estudiados en la encuesta.*

De los elementos a ensayar se eliminaron las tronas, debido a que sus usuarios son bebés y por lo tanto no se les puede pasar una encuesta.

*Desarrollo de encuestas.*

La encuesta se diseñó para recoger la opinión del usuario acerca de la estabilidad y sensación de seguridad cuando los giroscopios estaban encendidos y cuando estaban apagados, de manera que se pudiera cuantificar si existía una mayor sensación de seguridad con el sistema en desarrollo. También se deseó recopilar información acerca de posibles mejoras que los usuarios pudieran considerar.

Las disposiciones estudiadas para cada elemento se extrajeron de los resultados obtenidos en el PT5, de manera que la disposición de los *Gyroscopes Golf Putting Aid* y los *Super Precision Gyroscopes* (en el caso único del taburete) fue la que mejores resultados dio en el estudio anterior. En la Figura 21 se presentan dichas disposiciones para cada elemento de mobiliario.

				
<i>Escalera de apoyo de un tramo de aluminio (7 peldaños).</i>	<i>Escalera autoestable de aluminio (4 peldaños)</i>	<i>Escalera autoestable de aluminio pequeña (2 peldaños)</i>	<i>Taburete de peldaño (2 peldaños)</i>	<i>Taburete</i>

*Figura 21: Disposiciones de los Gyroscopes Golf Putting Aid para la encuesta con cada elemento y los Super Precision Gyroscopes para el taburete.*

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

Para el caso del *Kenyon Gyroscopic Stabilizer KS-8* no existía estudio previo a la encuesta en el proyecto. No obstante, es un equipo comercial altamente valorado por los usuarios y con éxito en el mercado. Asimismo, al ser voluminoso y pesado, tampoco existía gran variabilidad de posiciones en las que disponerlo, por lo que se decidió instalarlo en el centro del peldaño más elevado en la escalera de apoyo de un tramo de aluminio (la cual es la posición más inestable) y en el centro de las plataformas en las dos escaleras autoestables y el taburete de peldaños. Este giroscopio no se utilizó en el taburete debido a la imposibilidad de instalarlo y sentarse al mismo tiempo. La Figura 22 refleja las disposiciones encuestadas con este giroscopio.



Figura 22: Disposiciones del *Kenyon Gyroscopic Stabilizer KS-8* para la encuesta con cada elemento.

Las preguntas realizadas en la encuesta fueron las siguientes.

- ¿Cómo de estable te sientes con los giroscopios apagados?
- ¿Crees que tras poner en marcha los giroscopios se ha mejorado la estabilidad?
- ¿Cómo de estable te sientes con los giroscopios encendidos?
- ¿Consideras que hay una sensación de seguridad tras poner en marcha los giroscopios?
- ¿Comprarías una escalera/taburete que llevara este sistema de giroscopios si no aumentara su precio?
- ¿Cuánto estarías dispuesto a pagar de más por una escalera con este sistema?
- ¿Cómo crees que se podría mejorar este sistema?

## 2 Ejecución de las pruebas

Las pruebas se ejecutaron por parte de 17 usuarios (trabajadores de AIDIMME, Figura 23) con diferentes combinaciones entre los 5 elementos de trabajo y los 3 giroscopios.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

Las combinaciones fueron las 8 de la Figura 21 y la Figura 22.



Figura 23: Usuarios realizando la encuesta.

### 3 Resultados de las pruebas

En el E6.1 se detalla los resultados obtenidos con cada elemento y sistema giroscópico, representándolos en gráficas. A continuación se resumen estos resultados.

#### *Escalera de apoyo de un tramo de aluminio (7 peldaños)*

En primer lugar, se realizó la resta de los resultados de las preguntas sobre la sensación de estabilidad antes y después de enchufar los giroscopios, tanto con el *Kenyon Gyroscopic Stabilizer KS-8* como con el *Gyroscope Golf Putting Aid*. En los resultados se observó que ambos giroscopios dieron buenos resultados, es decir, los usuarios notaban un aumento de la estabilidad al enchufar los giroscopios. En este caso el *Kenyon Gyroscopic Stabilizer KS-8* dio resultados ligeramente mejores.

También se estudió la media en Euros de cuanto estaría dispuesto a pagar de más el usuario por estos sistema. Si realmente se sintiera más seguro el usuario tendería a gastar más, por tanto, fue una forma indirecta de ver como mejoraba la estabilidad. En este caso los usuarios estaban dispuestos a pagar bastante más por el *Gyroscope Golf Putting Aid*. Este resultado podría significar que ambos giroscopios proporcionaban una mayor sensación de estabilidad, pero que los usuarios preferían el diseño o funcionamiento del *Gyroscope Golf Putting Aid*.

Finalmente se valoraron de manera global los comentarios sobre como se podrían mejorar estos dos sistemas. En la Tabla 20 se muestra el resumen de dichos comentarios para cada giroscopio.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

Escalera de apoyo de un tramo de aluminio	Golf	Minimizar la vibración y el ruido, por otro lado, integrar la batería y los cables para que no se vea.
	Cámara	Molesta a la hora de trabajar, hace ruido y es demasiado grande y pesado.

Tabla 20: Resumen de los comentarios emitidos por los usuarios durante la encuesta realizada a la escalera de apoyo de un tramo de aluminio.

Teniendo en cuenta todos los resultados, para la escalera de apoyo de un tramo de aluminio, el *Gyroscope Golf Putting Aid* sería la mejor opción, así como el *Kenyon Gyroscopic Stabilizer KS-8* también dio buenos resultados. No obstante, los usuarios consideraban este último como demasiado grande y pesado.

*Escalera autoestable de aluminio (4 peldaños)*

Al igual que en el caso anterior, se realizó la resta de los resultados de las preguntas sobre la sensación de estabilidad antes y después de enchufar los giroscopios, tanto con el *Kenyon Gyroscopic Stabilizer KS-8* como con el *Gyroscope Golf Putting Aid*. En los resultados se observó que ambos giroscopios dieron buenos resultados, es decir, los usuarios notaban un aumento de la estabilidad al enchufar los giroscopios. Aunque, en este caso el *Kenyon Gyroscopic Stabilizer KS-8* también dio resultados ligeramente mejores.

También se estudió la media en Euros de cuanto estaría dispuesto a pagar de más el usuario por este sistema. En este caso los usuarios estarían dispuestos a pagar más por el *Kenyon Gyroscopic Stabilizer KS-8*. Este resultado puede significar que ambos giroscopios proporcionaban una mayor sensación de estabilidad, pero que los usuarios preferían el diseño o funcionamiento del *Kenyon Gyroscopic Stabilizer KS-8*.

Finalmente se valoraron de manera global los comentarios sobre como se podrían mejorar estos dos sistemas. En la Tabla 21 se muestra el resumen de dichos comentarios para cada giroscopio.

Escalera autoestable de aluminio	Golf	Minimizar la vibración y el ruido, así como integrarlo en la estructura/diseño de la escalera.
	Cámara	Hacerlo más pequeño, que esté por debajo del escalón, menos ruido y la batería integrada.

Tabla 21: Resumen de los comentarios emitidos por los usuarios durante la encuesta realizada a la escalera autoestable de aluminio.

Teniendo en cuenta todos los resultados, para la escalera autoestable de aluminio, el *Kenyon Gyroscopic Stabilizer KS-8* sería la mejor opción, así como el *Gyroscope Golf Putting Aid* también dio

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

buenos resultados. Sin embargo, el *Kenyon Gyroscopic Stabilizer KS-8* tenía la problemática de ser demasiado grande y pesado e inutilizaba el último escalón, tal y como estaba dispuesto.

*Escalera autoestable de aluminio pequeña (2 peldaños)*

Para la escalera autoestable de aluminio pequeña también se estudiaron los resultados de las preguntas sobre la sensación de estabilidad antes y después de enchufar los giroscopios *Kenyon Gyroscopic Stabilizer KS-8* y *Gyroscope Golf Putting Aid*. En los resultados se observó que para ambos giroscopios la diferencia en la resta fue algo menor que en las dos escaleras anteriores, por lo que los usuarios notaban un aumento de la estabilidad menor o menos evidente al enchufar los giroscopios. En este caso, en cambio, se observó que el *Kenyon Gyroscopic Stabilizer KS-8* dio mejores resultados que el *Gyroscope Golf Putting Aid* de manera más notable.

Cuando se estudió la media en Euros de cuanto estaría dispuesto a pagar de más el usuario por este sistema, se observó que estaban dispuestos a pagar menos por estos sistemas giroscópicos en esta escalera más pequeña, parece ser que la estabilización era menor en elementos más bajos y estables, como cabría esperar. Aún así, y comparando ambos giroscopios, los usuarios pagarían un poco más por el *Kenyon Gyroscopic Stabilizer KS-8*.

Finalmente se valoraron de manera global los comentarios sobre como se podrían mejorar estos dos sistemas. En la Tabla 22 se muestra el resumen de dichos comentarios para cada giroscopio.

Escalera autoestable pequeña	Golf	Se necesita más potencia, menos ruido y vibración. No es aplicable para estas escaleras. Debería estar mucho más integrado y tener más potencia.
	Cámara	Menos ruido, menos peso y mayor integración en la escalera (batería y cables también integrados).

Tabla 22: Resumen de los comentarios emitidos por los usuarios durante la encuesta realizada a la escalera autoestable de aluminio pequeña.

De los comentarios realizados por los usuarios, se transmitió la idea de que estos sistemas no proporcionaban sensación de mayor estabilidad, por lo tanto y al ser más estables estas escaleras, los usuarios no veían esa utilidad. Aún así, y teniendo en cuenta todos los resultados, para la escalera autoestable de aluminio pequeña, el *Kenyon Gyroscopic Stabilizer KS-8* fue la mejor opción.

*Taburete de peldaño (2 peldaños)*

En el caso del taburete de peldaño, se utilizó solamente el *Gyroscope Golf Putting Aid*, por la imposibilidad de instalar el *Kenyon Gyroscopic Stabilizer KS-8*. Así pues, en los resultados de las preguntas sobre la sensación de estabilidad antes y después de enchufar los giroscopios se observó

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

que la diferencia fue bastante pequeña, por lo que los usuarios notaban un aumento de la estabilidad menor o menos evidente al enchufar los giroscopios. Estos resultados siguieron la tendencia observada con la escalera autoestable de aluminio pequeña, en el sentido de que al ser elementos más bajos (y por tanto más estables de por sí) la influencia del giroscopio en la estabilidad fue muy pequeña y los usuarios no solían apreciarla igual que con escaleras más altas.

En este caso los usuarios también estarían dispuestos a pagar poco por este sistema giroscópico en este taburete de peldaño más pequeño, así que se mantuvo la tendencia de que la estabilización fue menor en elementos más bajos y estables, como cabría esperar.

Finalmente se valoraron de manera global los comentarios sobre como se podría mejorar este sistema. En la Tabla 23 se muestra el resumen de dichos comentarios.

Taburete peldaño	de	Golf	Aumentar potencia y disminuir ruido y vibración.
------------------	----	------	--

*Tabla 23: Resumen de los comentarios emitidos por los usuarios durante la encuesta realizada al taburete de peldaño.*

De los comentarios realizados por los usuarios, se transmitió la idea de que este sistema no proporcionaba sensación de mayor estabilidad, ya que los usuarios demandaban una mayor potencia.

*Taburete*

Los sistemas giroscópicos mecánicos también se probaron con elementos inestables distintos a escaleras, como fue el caso de los taburetes. En el PT5 este elemento dio buenos resultados con los *Super Precision Gyroscopes* con ejes largos, así pues en la encuesta se realizó con esta disposición.

En los resultados de las preguntas sobre la sensación de estabilidad antes y después de enchufar los giroscopios, se observó que la diferencia no era muy notable, por lo que los usuarios notaban un aumento de la estabilidad menor o menos evidente al enchufar los giroscopios. Estos resultados parecían indicar que la influencia del giroscopio en la estabilidad de sillas más altas de lo normal fue pequeña.

En este caso los usuarios también estarían dispuestos a pagar poco por este sistema giroscópico en el taburete, parece ser que la estructura de la silla o la posición sentada del usuario (que aporta mayor estabilidad) y la menor altura del elemento provocaban una menor sensación de estabilización.

Finalmente se valoraron de manera global los comentarios sobre como se podría mejorar este sistema. En la Tabla 24 se muestra el resumen de dichos comentarios.



**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

Taburete	Ejes	Poner giroscopios más pequeños o en otra posición, molestan mucho a la hora de subir. Eliminar vibración y ruido. Conseguir más potencia.
----------	------	---

Tabla 24: Resumen de los comentarios emitidos por los usuarios durante la encuesta realizada al taburete.

De los comentarios realizados por los usuarios, se transmite la idea de que este sistema no transmite mayor sensación de estabilidad, ya que los usuarios demandan una mayor potencia. Además impiden sentarse cómodamente en el taburete.

*Comparación entre los elementos estudiados*

En segundo lugar, se compararon los resultados entre los diferentes elementos, sacando una media de los dos giroscopios utilizados en cada elemento (o solo los resultados con un giroscopio según el caso).

La conclusión principal fue la confirmación de la tendencia observada en los apartados anteriores, y que consistió en que los giroscopios funcionaban mejor en elementos más elevados que en elementos más bajos. Resultado muy positivo para el proyecto, el cual busca estabilizar, en especial, elementos elevados con alto riesgo de caída fatal.

La mejora en la sensación de estabilidad fue claramente más elevada para las dos escaleras más altas: la escalera de apoyo de un tramo de aluminio y la escalera autoestable de aluminio.

Por otro lado, se observó que los encuestados no pagarían prácticamente nada de más por un sistema giroscópico en la escalera autoestable de aluminio pequeña, el taburete de peldaño o el taburete porque lo veían innecesario. Esto se debió a que estos elementos tienen menos riesgo de caídas fatales, son más económicos y, además, suelen ser más estables.

En cambio, sí estarían dispuestos a pagar de más por tener estos sistemas de estabilización en escaleras más elevadas, ya que por un lado la sensación de estabilidad al enchufar los giroscopios aumentaba, el riesgo de caída fatal era más elevado y al ser estos elementos de importe más elevado, veían asumible incrementar una cierta proporción para aumentar la seguridad.

*Comparación entre giroscopios*

En tercer lugar, se compararon los resultados obtenidos con los diferentes giroscopios promediando los resultados obtenidos con cada giroscopio en los diferentes elementos.

En cuanto a la sensación de mejora de la estabilidad al enchufar los giroscopios con respecto a los giroscopios apagados se observó que el mejor resultado se obtuvo con el *Kenyon Gyroscopic Stabilizer KS-8*, le siguió sin una diferencia muy grande, el *Gyroscope Golf Putting Aid* y finalmente el *Super Precision Gyroscope* con ejes.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

Además, los usuarios prácticamente no desembolsarían nada de más por el *Super Precision Gyroscope* con ejes. En cambio pagarían bastante más por el *Kenyon Gyroscopic Stabilizer KS-8* y el *Gyroscope Golf Putting Aid*, siendo la cantidad ligeramente mayor para el *Kenyon Gyroscopic Stabilizer KS-8*.



GENERALITAT  
VALENCIANA

**IVACE**  
INSTITUTO VALENCIANO DE  
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL



UNIÓN EUROPEA  
Fondo Europeo de  
Desarrollo Regional  
*Una manera de hacer Europa*

“Proyecto cofinanciado por los Fondos FEDER,  
dentro del Programa Operativo FEDER  
de la Comunitat Valenciana 2014 - 2020”

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

**PAQUETE DE TRABAJO 7.- DESARROLLO DE PROTOTIPOS DE LOS DISPOSITIVOS Y PROPUESTAS DE MEJORA Y OPTIMIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ESTABILIZACIÓN.**

Durante la realización del Paquete de Trabajo 7, se examinaron los mejores resultados obtenidos a lo largo del proyecto con los dispositivos y sistemas giroscópicos analizados para estudiar las posibles mejoras. Posteriormente, basándose en esas conclusiones, se desarrollaron prototipos mejorados de los dispositivos y sistemas giroscópicos realizados y estudiados.

Este trabajo se dividió en las Tareas 7.1 y 7.2. La Tarea 7.1 se centró en el desarrollo de un prototipo de dispositivo giroscópico MEMS para escaleras inteligentes, así como en la Tarea 7.2 se desarrolló el primer prototipo de sistema de estabilización activa para escaleras de apoyo y autoestables. El trabajo realizado en ambas tareas se encuentra ampliamente detallado en el E7.1.

A continuación se resumirá dicho trabajo realizado en cada una de estas tareas.

*Tarea 7.1.- Desarrollo de prototipos de dispositivos giroscópicos MEMS para escaleras inteligentes*

La Tarea 7.1 se dividió en cuatro grandes bloques:

- Escalera con dispositivo con giroscopio MEMS
- Diseño del nuevo prototipo
- Materialización del prototipo de dispositivo con giroscopio MEMS
- Estudio de integración en escaleras

1 Escalera con dispositivo con giroscopio MEMS

Partiendo de las principales conclusiones extraídas tras testar el dispositivo electrónico con giroscopio MEMS incorporado en las escaleras, obtenidas durante la realización del PT 6, se abordó el rediseño del dispositivo electrónico como actividad final del proyecto buscando:

- Minimizar el tamaño del dispositivo electrónico de cara a una futura integración en escaleras.

2 Diseño del nuevo prototipo

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

*Diseño electrónico.*

De cara a la minimización del tamaño conjunto del dispositivo se seleccionaron nuevos componentes para soldadura de tipo SMD (Surface Mounting Device) con el fin de integrarse en una PCB.

Una vez definidos los componentes se llevó a cabo el diseño electrónico del mismo, así como el ruteado de las pistas en una placa PCB, que minimizara el tamaño total del dispositivo.

La nueva PCB presentó unas dimensiones de 50 x 50 mm, con un espesor de 10 mm (debido principalmente a la altura del zumbador escogido).

A la PCB se le añadió una batería LiPo de 3'7V y 1.000mAh con unas dimensiones de 40 x 25 mm y un espesor de 10 mm, lo que redujo notablemente las dimensiones respecto de la batería del dispositivo anterior.

*Programación.*

La programación del dispositivo se llevó a cabo en lenguaje C. Los puntos clave de la misma fueron la obtención del ángulo del dispositivo respecto de un plano horizontal (el suelo) y las alertas de activación del sonido y las luces LED en función de si el ángulo medido sobre la escalera se encontraba dentro de norma o no.

*Diseño de envolvente.*

Para el diseño de la envolvente se diseñó una tapa y cama de metacrilato con el objetivo de dar visibilidad a los LEDs del dispositivo. Estas dos piezas (tapa y cama) se fijaron a la PCB mediante cilindros roscados y los correspondientes tornillos de apriete.

El diseño de la tapa y cama de metacrilato se llevó a cabo mediante el software coreIDRAW.

La fabricación se realizó en una cortadora/marcadora láser de la marca Trptec, modelo Speedy 360. Como material, se empleó metacrilato transparente de 2mm de espesor, suficiente para garantizar unas propiedades mecánicas mínimas de resistencia a la envolvente.

En la parte de la tapa se realizó un marcado del metacrilato para conseguir un efecto traslúcido y que la luz de los LEDs no fuera molesta. Por otro lado se dejaron un par de pequeñas ventanas sin marcar para la zona específica del LED y la zona del interruptor de encendido (on / off).

### 3 Materialización del prototipo de dispositivo con giroscopio MEMS

El nuevo dispositivo desarrollado constó de una PCB donde se integraban los componentes básicos (microcontrolador, giroscopio, LEDs y zumbador).

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

Este dispositivo funcionaba con una batería LiPo de 3.7V y 1.000mAh, que se conectaba mediante un conector JST de 2 pines (positivo y negativo).

Finalmente, para dotar de estabilidad, rigidez y facilitar su posterior montaje en escaleras se añadió la envolvente fabricada. El dispositivo completo alcanzó unas dimensiones totales de 50x50x40 mm, presentando una volumetría casi cúbica, tal y como se muestra en la Figura 24.



Figura 24: Dispositivo completamente montado.

#### 4 Estudio de integración en escaleras

Las escaleras objeto de estudio están fabricadas con perfiles de aluminio de 20 mm de espesor y 30-40 mm de ancho (variable en función del modelo de escalera). Las dimensiones del dispositivo desarrollado (50x50x40 mm) excedían ligeramente las de los perfiles de las escaleras.

Se realizaron pruebas para ubicar el dispositivo en diferentes posiciones de las escaleras tanto en el lado del espesor como en el ancho.

*Tarea 7.2.- Propuesta de mejoras de sistemas giroscópicos mecánicos de estabilización activa en escaleras y mobiliario inestable.*

La Tarea 7.2 se dividió en tres grandes bloques:

- Requisitos y mejoras a implementar
- Diseño del nuevo prototipo
- Estudio de integración en escaleras

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

1 Requisitos y mejoras a implementar

Con la intención de obtener una serie de requisitos y mejoras a implementar para realizar un primer prototipo de sistema de estabilización giroscópica mecánica para mueble, se analizaron detenidamente los resultados y conclusiones obtenidos en el Paquete de Trabajo 6

Se estudiaron los resultados obtenidos con cada elemento de mobiliario individualmente. En este estudio se observó claramente que con los giroscopios estudiados, sobre todo se obtuvieron buenos resultados cuando se utilizaban con elementos altos, como eran la escalera de apoyo de aluminio y la escalera autoestable de aluminio.

Estos resultados se consideraron buenos, ya que los sistemas de estabilización mecánica son más necesarios en elementos más altos y, por consiguiente, con más peligro de caídas con peor pronóstico.

Así pues, para seguir con los requisitos y mejoras a implementar en el prototipo, se continuó el análisis, centrándose en las dos escaleras que sí mejoran su estabilidad gracias a los sistemas giroscópicos estudiados.

En estas escaleras se estudiaron en la encuesta, y por diversos motivos explicados en el Paquete de Trabajo 6, el giroscopio *Kenyon Gyroscopic Stabilizer KS-8* y los *4 Gyroscope Golf Putting Aid*.

Para conocer las valoraciones de cada uno de estos giroscopios se consultó los resultados del apartado 2.3.7. “Comparación entre giroscopios” del E6.1. En este punto se observó que ambos giroscopios daban buenos resultados de valoración por parte de los usuarios, obteniendo el *Kenyon Gyroscopic Stabilizer KS-8* resultados ligeramente mejores. Sin embargo, el *Kenyon Gyroscopic Stabilizer KS-8* presentaba grandes inconvenientes como su elevado precio, junto con un equipamiento de batería asociado bastante limitante y un peso demasiado elevado. Por ello, y teniendo en cuenta que ambos recibieron buenas puntuaciones se decidió elegir el giroscopio *Gyroscope Golf Putting Aid* como modelo base para el prototipo.

No obstante, y para poder diseñar un mejor giroscopio se prestó atención especial a las opiniones de los usuarios con respecto a que cambiarían del diseño y ver que mejoras creían los usuarios encuestados que eran necesarias para este tipo de giroscopios. Por ello, se analizaron con detalle las encuestas en las que se utilizó el *Gyroscope Golf Putting Aid*.

De cada escalera se extrajo un resumen de las conclusiones para ver las ideas principales que tenían los usuarios sobre como mejorar este sistema.

- Apartado 2.3.1. “Escalera de apoyo de un tramo de aluminio (7 peldaños)”: minimizar la vibración y el ruido, por otro lado, integrar la batería y los cables para que no se vea.
- Apartado 2.3.2. “Escalera autoestable de aluminio (4 peldaños)”: minimizar la vibración y el ruido, así como integrarlo en la estructura/diseño de la escalera.

Por tanto, de las encuestas se sacaron 4 ideas principales a solucionar:

1. Vibración: disminuir la vibración.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

2. Ruido: disminuir el ruido.
3. Integración: integrar el giroscopio, el motor y la batería en un mismo elemento, formando parte de la estructura de la escalera lo máximo posible.
4. Potencia: aumentar la potencia del giroscopio para disminuir el número de éstos en la escalera.

Otro problema de los giroscopios Golf antes del prototipo:

5. Soporte de sujeción a la escalera: en este caso no fueron los usuarios encuestados los que observaron este problema, sino que apareció a la hora del montaje de los giroscopios en las escaleras. El soporte/mordaza con tornillos que llevaba el giroscopio para sujetar el sistema a la escalera era muy estrecho (ya que está diseñado para sujetarse en palos de golf). Por tanto, se necesitaba de una madera fuertemente inmovilizada al larguero de la escalera para poder sujetar los giroscopios y que no se movieran durante su uso, ya que esto podría disminuir su efecto. Obviamente este montaje no es viable para su uso en escaleras, por lo que se tenía que buscar una solución en el prototipo.

## 2 Diseño del nuevo prototipo

El diseño del nuevo prototipo se basó, como se ha comentado anteriormente, en la estructura de los *Gyroscopes Golf Putting Aid*, junto con la mejora de los 5 puntos a solucionar.

Los puntos: (1) de “vibración”, (2) de “ruido” y (4) de “potencia”, se solucionarían en gran parte si en lugar de ser 4 giroscopios, con los que se multiplica tanto la vibración como el ruido, se pudiera utilizar 1 giroscopio solamente. Este único giroscopio sería más grande y potente que cada uno de los *Gyroscopes Golf Putting Aid* por separado, de manera que con la potencia de 1 prototipo podamos sustituir los 4 *Gyroscopes Golf Putting Aid*.

En el prototipo se integró el motor en la estructura de éste, para mejorar el punto (3) en el que los usuarios pedían más “integración” del equipo.

Por último, el punto (5) de “soporte de sujeción a la escalera”, para poder sujetar el giroscopio a todo tipo de escaleras y superficies, se realizó con una mordaza más amplia que pudiera sujetarse a superficies más anchas e incluso más finas, dotándolas de tornillos de fijación que llegaran hasta el tope.

Con estos requisitos de diseño, la empresa INLEMAR se encargó de la realización del primer prototipo de giroscopio estabilizador de escaleras.

**“GYROSCOPE” – Desarrollo de prototipos basados en principios giroscópicos para disminuir el riesgo de vuelco en escaleras y elementos de mobiliario con baja estabilidad**

2 Estudio de integración en escaleras

Se realizó un pequeño estudio para comprobar la buena integración y funcionamiento del prototipo de giroscopio desarrollado.

Para ello, se incorporó en las dos escaleras altas en las que se obtuvieron buenos resultados en la encuesta y de las que se partió para obtener los requisitos del prototipo: la escalera de apoyo de un tramo y la escalera autoestable de aluminio.

Se realizaron dos pruebas de integración del prototipo, una para la escalera de apoyo de un tramo (7 peldaños) y otra para la escalera autoestable de aluminio (4 peldaños). En estos casos los análisis no se realizaron con un usuario encima de la escalera sino midiendo valores de fuerza con el dinamómetro para comprobar la diferencia de fuerza con el prototipo apagado o encendido.

*Escalera de apoyo de un tramo de aluminio con el nuevo prototipo.*

En el caso de la escalera de apoyo de un tramo de aluminio se observó una mejora en todas las fuerzas, siendo ésta ligera en  $F_1$  y  $F_2$ , y presentando un notable aumento en  $F_3$  donde dio un resultado muy bueno con una gran mejoría (el esquema de aplicación de fuerzas es el mismo que en la Figura 13).

*Escalera autoestable de aluminio con el nuevo prototipo.*

En la escalera autoestable de aluminio las fuerzas  $F_3$  y  $F_4$  presentaron muy buen resultado y un incremento importante. Las otras dos fuerzas permanecieron iguales, al igual que ocurría en pruebas anteriores, seguramente es debido a la dirección del eje del giroscopio, el cual presenta mayor resistencia cuando las fuerzas que se aplican intentan modificar la dirección de dicho eje (el esquema de aplicación de fuerzas es el mismo que en la Figura 14).