

---

# PROYECTO DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE BALDOSAS PIEZOELÉCTRICAS EN UN GRAN CENTRO COMERCIAL

---

Document:

Memoria

Autor/Autora:

Eric Punzano Avilés

Director/Directora - Codirector/Codirectora:

MARCEL MACARULLA MARTÍ

Titulación:

Grado en ingeniería electrónica y automática

Convocatoria:

Primavera/Prórroga, 2022.

TREBALL DE FI D'ESTUDIS

I declare that, the work in this Master Thesis / Degree Thesis (choose one) is completely my own work,

No part of this Master Thesis / Degree Thesis (choose one) is taken from other people's work without giving them credit,

all references have been clearly cited,

I'm authorised to make use of the company's / research group (choose one) related information I'm providing in this document (select when it applies).

I understand that an infringement of this declaration leaves me subject to the foreseen disciplinary actions by The Universitat Politècnica de Catalunya - BarcelonaTECH.

Eric Punzano Avilés

26/04/2022

Student name

Signature

Date

## Dedicatorias

Tras la elaboración de este proyecto me gustaría dar las gracias a mi familia por el apoyo mostrado durante estos meses de conocimiento y aprendizaje durante el transcurso del mismo.

A mi padre Jose y mi madre Silvia por darme soporte cuando lo he necesitado proporcionándome apoyo moral y de herramientas para la fabricación del prototipo.

También a mi novia María por el apoyo moral y la paciencia mostrada durante estos meses.

Además, a mi actual empresa “EGO appliance control” por haberme proporcionado conocimientos fundamentales para poder desarrollar este trabajo.

Y por último, a mi ex empresa IKEA SABADELL la cual me ha inspirado como escenario idóneo para la implementación de este proyecto gracias a un concurso de mejoras que hubo en 2017 que me permitió generar la idea que actualmente he desarrollado y madurado en el actual proyecto.

## Índice

|   |    |
|---|----|
| Resumen .....   | 8  |
| Motivación .....  | 8  |
| Objetivo .....  | 9  |
| Alcance .....   | 9  |
| <b>1.Capítulo 1: Introducción</b> .....                                   | 10 |
| 1.1. Piezoelectricidad .....  | 10 |
| 1.1.1. Material piezoelectrico .....                                      | 10 |
| 1.1.2. Efecto piezoelectrico .....  | 11 |
| <b>2.Capítulo 2 :Diseño del prototipo de baldosa piezoeléctrica</b> ..... | 14 |
| 2.1. Antecedentes sobre elementos pasivos y su matemática .....           | 14 |
| 2.1.1 Diseño de un puente rectificador de diodos.....                     | 14 |
| 2.1.2 Condensadores.....  | 14 |
| 2.1.2.1 Funcion de carga y descarga.....                                  | 15 |
| 2.1.2.2 Tipos de condensadores.....                                       | 16 |
| 2.1.2.2.1 Condensador de cerámico.....                                    | 16 |
| 2.1.2.2.1 Condensador de poliéster.....                                   | 17 |
| 2.1.2.2.1 Condensador de electrolítico.....                               | 17 |
| 2.2. Planning de desarrollo de la baldosa piezoeléctrica.....             | 18 |
| 2.3. Elección de componentes y test .....                                 | 21 |
| 2.3.1 Piezoeléctrico.....   | 21 |
| 2.3.2 Condensador .....   | 23 |
| 2.3.3 Nexo entre capas .....  | 26 |
| 2.3.4 Carga lumínica .....  | 28 |
| 2.3.5 Batería DC.....   | 28 |
| 2.3.6 Boost converter .....   | 29 |
| 2.3.7 Célula fotovoltaica .....   | 30 |
| 2.4. Circuito electronico y fases del mismo .....                         | 31 |
| 2.5 Segundas fuentes .....  | 32 |
| 2.6. Validación mediante simulación.....                                  | 32 |

|   |    |
|---|----|
| 2.7 Diseño y proceso de elaboración .....                             | 33 |
| 2.7.1 Capa superior o tapa .....                                      | 33 |
| 2.7.2 Capa pulsadora .....  | 34 |
| 2.8. Calidad y validación del producto.....                           | 36 |
| 2.8.1 Parte mecánica .....  | 36 |
| 2.8.2 Parte Electrónica .....   | 41 |
| 2.9. Resultados energeticos .....                                     | 40 |
| 2.10. Imagenes finales del prototipo .....                            | 41 |
| 3. <b>Capítulo 3</b> :Ejecución en planta del proyecto .....          | 43 |
| 3.1 Antecedentes de la empresa cliente (IKEA SABADELL) .....          | 43 |
| 3.2 Calculo baldosas a incorporar e inversión económica .....         | 43 |
| 3.3 Planning ejecución en planta .....                                | 46 |
| 3.4 Beneficios energéticos del sistema .....                          | 47 |
| 4. <b>Capítulo 4</b> :Presupuesto del proyecto .....                  | 48 |
| 5 . <b>Capítulo 5</b> : Manual de mantenimiento para el usuario ..... | 49 |
| 6. <b>Capítulo 6</b> :Conclusiones. ....                              | 50 |
| 6.1.Conclusiones sobre el prototipo .....                             | 51 |
| 6.2.Conclusiones respecto al proyecto cliente .....                   | 52 |
| 7 <b>Capítulo 7</b> :.Bibliografías .....                             | 53 |
| 8. <b>Capítulo 8</b> : Anexo.....                                     | 53 |

## Lista de figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Modelo eléctrico sensor piezoelectrico 1 (Fuente :TFG Kevin Tena) .....  | 11 |
| Figura 2: Impedancia en funcion de la frecuencia.....  | 12 |
| Figura 3 :Función impedancia.....  | 12 |
| Figura 4:Modelo eléctrico sensor piezoelectrico 2.....   | 13 |
| Figura 5: Puente rectifica.....  | 14 |
| Figura 6: Función intensidad 1 .....   | 15 |
| Figura 7: Carga y descarga condensador 1 .....   | 15 |
| Figura 8:Condensador cerámico Fuente:<br><a href="http://electronicaazyc.cl/condensadores/1915129-condensador-ceramico-220-nf-400-v-224-022-mf.html">http://electronicaazyc.cl/condensadores/1915129-condensador-ceramico-220-nf-400-v-224-022-mf.html</a> ..... | 16 |
| Figura 9: Condensador Poliester Fuente:<br><a href="http://www.geekbotelectronics.com/producto/capacitor-de-poliester-1uf/">http://www.geekbotelectronics.com/producto/capacitor-de-poliester-1uf/</a> .....   | 17 |
| Figura 10: Condensador electrolítico Fuente: <a href="https://mocubo.es/p/14013-condensador-electrolitico-35v-1000uf-pack-de-10.html">https://mocubo.es/p/14013-condensador-electrolitico-35v-1000uf-pack-de-10.html</a> .....                                   | 17 |
| Figura 11: Esquema eléctrico 1 .....   | 17 |
| Figura 12 : Foto capa superior .....   | 41 |
| Figura 13 : Prototipo perfil .....   | 41 |
| Figura 14 : Plano cenital prototipo .....  | 42 |
| Figura 15 : Plano cenital protot.....  | 42 |
| Figura 16 : Imagen lámina piezoeléctrico Fuente: Interruptores Piezoeléctricos   Comprar Interruptores Piezoeléctricos   RS (rs-online.com).....   | 21 |
| Figura 17 : Imagen lámina piezoeléctrico 3 .....   | 21 |
| Figura 18 : Carga y descarga condensador 2 .....   | 22 |
| Figura 19 : Formula carga final condensador .....  | 23 |
| Figura 20: Puente LCR .....  | 24 |
| Figura 21: Taco Puente entre capas .....   | 21 |
| Figura 22:Imagen prototipo.....  | 26 |
| Figura 23:Imagen carga condensador prototipo.....  | 27 |
| Figura 24:Imagen carga condensador prototipo 2.....  | 27 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 25:Imagen LED roj.....   | 28 |
| Figura 26:Valores umbral LED's .....  | 28 |
| Figura 27:Batería 3,3 V.....  | 29 |
| Figura 28: Imagen convertidor DC/DC .....   | 29 |
| Figura 29:Imagen convertidor DC/DC 2 .....  | 29 |
| Figura 30:Celula fotovoltaica .....   | 30 |
| Figura 31:Muelle de compresión.....   | 36 |
| Figura 32 :Ficha técnica muelle Fuente : Muelle de compresión de 100 mm y 1,8 mm de $\varnothing$ · LEROY MERLIN.....       | 36 |
| Figura 33 :Capa metacrilato .....   | 37 |
| Figura 34 :Capa metactrilato 2 .....  | 37 |
| Figura 35 : Capa metactrilato 3 .....   | 37 |
| Figura 36 : Capa metactrilato 4.....  | 38 |
| Figura 37 :Ley de Boltzmann .....   | 37 |
| Figura 38 :Prototipo finalizado .....   | 38 |
| Figura 39 : Prototipo finalizado perfil.....  | 41 |
| Figura 40 : Prototipo finalizado perfil 2 .....   | 41 |
| Figura 41 :Localización baldosas centro comercial .....   | 45 |
| Figura 42 curva piezoelectrico Fuente: Piezoelectric Film Sensors - Properties and Applications (azosensors.com) 2017 ..... | 45 |

### **Lista de tablas**

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1 : Planning Desarrollo 1 .....  | 18 |
| Tabla 2 : Planning Desarrollo 2.....   | 19 |
| Tabla 3 : Planning Desarrollo 3.....   | 19 |
| Tabla 4 : Planning Desarrollo 4.....   | 20 |
| Tabla 5 : Gastos en personal.....      | 44 |
| Tabla 6 : Resumen del presupuesto..... | 47 |

## Resumen

Ante la actual crisis energética que vive la sociedad debida entre otros motivos a la limitación de los recursos naturales, se propone una alternativa limpia y sostenible como es la piezoelectricidad para abastecer lumínicamente grandes centros o lugares de transito continuo como puede ser un centro comercial o un aeropuerto.

En este caso, nos hemos centrado en simular una empresa que diseña, produce e implementa baldosas piezoeléctricas para la superficie de todo IKEA Sabadell.

Crearemos de forma artesanal un prototipo discutiremos los resultados y simularemos su implementación en dicho centro. A continuación, veremos la viabilidad del mismo en este proyecto académico, así como sus ventajas y desventajas.

## Motivación

Tras conocer diferentes disciplinas y ámbitos durante estos 4 años, el ámbito que más me ha fascinado para desarrollarme es el de la realización de proyectos y procesos industriales, anteriormente realicé también un grado superior sobre automatismos y robótica industrial y puedo decir que es la disciplina que más disfruto trabajando.

El Segundo motivo por el cual me he decantado por este Proyecto es el siguiente:

Estuve aproximadamente 5 años trabajando en una gran empresa llamada IKEA Sabadell 2017-2021, y un día esta empresa lanzó un concurso para los trabajadores para potenciar las energías limpias y decrementar la contaminación de la manera más ingeniosa posible. Tuve la gran suerte de presentarme a él y ganar.

Entonces, mi ilusión con este proyecto es tras el esbozo presentado a la empresa darle continuidad con el máximo rigor y ver la viabilidad del mismo con este Proyecto final de grado. Además, desde hace un año trabajo en el sector de la electrónica en “EGO appliance control” y he aprendido mucho sobre procesos de elaboración de procesos electrónicos y considero que los conocimientos adquiridos durante este último año me permiten realizar un trabajo con el rigor suficiente de un proceso real.



## Objetivo del Proyecto

El objetivo de este proyecto es diseñar y un construir un prototipo de baldosa piezoeléctrica y estudiar la viabilidad de la implantación de dichas baldosas en un centro comercial de dimensiones grandes y conocer sus resultados, para ello, diseñaremos dichas baldosas y conoceremos sus propiedades y el efecto que provoca junto a su ganancia.

Después realizaremos un estudio económico para saber la cantidad de producción de las mismas para su implementación y realizaremos un presupuesto simulado. En siguiente lugar, calcularemos los tiempos de ejecución del proyecto y finalmente veríamos los resultados energéticos en un periodo x para conocer el ahorro que supone dicho sistema.

Para ello, simularemos que somos una empresa electrónica (ERPUN S.L) que se dedica al diseño y producción de baldosas piezoeléctricas cuyo cliente (IKEA SABADELL) nos ha pedido un estudio económico y su posterior instalación de baldosas piezoeléctricas por toda la tienda para así poder ver los resultados energéticos del mismo.

En este proyecto, veremos todos los procesos por los cuales pasa la elaboración de un producto desde la aprobación del mismo, diseño, producción, validación y finalmente la validación en planta del mismo simulando un proceso real.

## Alcance

El punto de partida del proyecto es el taller de casa donde tenemos las herramientas necesarias para llevar a cabo la construcción del prototipo. Además, mi empresa actual me proporciona las herramientas necesarias para el diseño del circuito. Para la parte más ofimática realizaré dicho trabajo desde el escritorio doméstico.

Para alcanzar los objetivos propuestos, el alcance del proyecto considera:

Desde el punto de vista del hardware:

- Análisis del hardware de un circuito con elementos pasivos y cargas.
- Definición de la arquitectura de la arquitectura del hardware.
- Montaje y diseño de la parte mecánica del mismo.
- Desde el punto de vista de la realización de proyectos: Definición de roles del diseño y ejecución como en una empresa real.
- Balance económico del proyecto y viabilidad del mismo.
- Beneficios energéticos para el cliente a medio-largo plazo.

## **CAPÍTULO 1. Introducción**

### **1.1 Piezoelectricidad**

A continuación, se dará una breve introducción sobre la energía piezoeléctrica:

#### **1.1.1 Material piezoeléctrico**

Un material piezoeléctrico<sup>1</sup> es aquel que produce una carga eléctrica cuando una tensión mecánica es aplicada (el material es apretado o estirado). Por el contrario, una deformación mecánica (el material se expande o contrae) se produce cuando se aplica un campo eléctrico. El efecto se forma con cristales que no tienen un centro de simetría.”

El efecto piezoeléctrico es un efecto en el cual la energía es convertida de forma mecánica a eléctrica. Fue descubierto en 1880 por los hermanos Curie. En específico cuando una presión (piezo significa presión en Griego) se aplica sobre un cristal polarizado, la deformación mecánica resulta en una carga eléctrica.

Relativa insensibilidad a la temperatura, factores elevados de conversión de energía eléctrica y energía mecánica, entre otros atributos, hacen que estos materiales se les pueda dar un gran uso (Pisando y generando).

Esta tecnología se basa en el uso de los cristales piezoeléctricos que, al ser sometidos a deformaciones mecánicas, generan cargas positivas y negativas, y presentan variaciones electromagnéticas, lo que a su vez produce una diferencia de potencial.

Existen varias aplicaciones para estos cristales piezoeléctricos una de ellas son los sensores piezoeléctricos, que básicamente trabajan bajo una fuerza aplicada en el cristal o cual sea el material piezoeléctrico —los sensores piezoeléctricos son sistemas electromecánicos que reaccionan a la compresión.

Dicho lo anterior se puede decir que los sensores piezoeléctricos funcionan como transformadores que con la acción mecánica se origina una carga eléctrica (que dura

---

<sup>1</sup> Revista científica especializada en material Piezoeléctrico [Piezo Terminology & Glossary | PIEZO.COM](https://www.piezo.com/terminology-glossary/) (última consulta 24/04/2022)

algunos segundos). Esta energía se almacena en baterías para su posterior uso, lo que se describió anteriormente es llamado efecto piezoeléctrico directo.

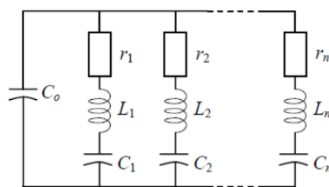
El efecto piezoeléctrico Indirecto se da de forma contraria donde no se altera la masa del material piezoeléctrico, lo que se hace es una variación de las ondas electromagnéticas, dicha variación tiene como consecuencia una variación mecánica. En pocas palabras se comienzan a producir oscilaciones armónicas que corresponden a determinadas frecuencias, esto hace que las agujas de los afinadores se muevan, existen muchas aplicaciones de tipo indirecto, estas corresponden a aplicaciones sonoras en su mayoría.

### **1.1.2 Efecto piezoelectrico**

**Efecto piezoeléctrico directo**<sup>2</sup>. Este es el caso más aplicado de la piezoelectricidad, se da cuando la variación mecánica genera voltaje en las diferentes terminales, esta variación puede ser de compresión la cual genera una reducción entre la distancia de los dipolos, por ello es que se produce la variación de densidad de carga en los extremos y se produce el voltaje. Este voltaje está ligado a la fuerza de compresión, entre más se deforme el material, mayor voltaje se obtendrá del mismo. Como se puede observar en la figura 23 se muestra el efecto piezoeléctrico directo y se hace una comparación con respecto a la estructura piezoeléctrica sin ninguna deformación.

**Efecto piezoeléctrico indirecto.** El efecto inverso en la piezoelectricidad sucede cuando se aplica un campo eléctrico o un voltaje en los extremos de un material piezoeléctrico, lo que genera un cambio dimensional o una deformación en dicho material. Esto se produce porque la densidad de la carga aplicada obliga a que el material varíe sus dimensiones con respecto a la dirección del campo, las cargas positivas generan una atracción entre los polos negativos y los dipolos, por este motivo el efecto es contrario.

**Circuito equivalente.** Los materiales piezoeléctricos expuestos a campos de tipo variable tendrán una respuesta de armonía con dicho campo, con base en esa hipótesis se tiene que, si se conectan dos placas metálicas a un generador de señales de tipo seno, el material piezoeléctrico deberá responder con un movimiento oscilatorio, dónde intentará igualar la variación de voltaje de la señal.



*Figura 1: Modelo eléctrico piezoeléctrico 1 (Fuente : [TFG Kevin Tena Torrecilla](#))*

Dado lo anterior se puede definir que el comportamiento de los materiales piezoeléctricos se parecen al comportamiento de un circuito RLC (circuito compuesto

<sup>2</sup> TFG Kevin Tena Torrecilla Implementación de sensores piezoeléctricos para la generación eléctrica bajo calzada: aplicaciones en el Aeropuerto de Barcelona(Consultado 24-03-2022)

por una bobina, un condensador y una resistencia en conexión serie a la fuente), en este circuito se anula el efecto que pueda tener la bobina y el condensador sobre la corriente cuando se trabaja con la frecuencia de resonancia (frecuencia característica de voltaje alterno), eso implica que el factor de calidad el cuál se denota con la letra  $Q$  debe ser muy alto (Valores típicos de entre 1y 10).

### Modelo matemático del efecto piezoeléctrico.

Para comenzar con este análisis se muestra la impedancia característica en el caso de que el material piezoeléctrico se encuentre cerca del primer armónico; como se observa en la figura se puede evidenciar el modelo de un circuito aproximando su frecuencia fundamental y el resultado de su reactancia en función de la frecuencia.

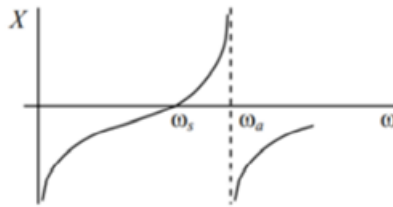


figura 2: impedancia-frecuencia 1

Teóricamente, la impedancia del circuito de la que se observa en la figura es:

$$Z = \frac{X_{C0}(X_{L1}+X_{C1})}{X_{C0}+X_{C1}+X_{L1}}$$

figura 3 : función impedancia 1

Para abarcar los demás factores que intervienen en el comportamiento del piezoeléctrico, observar la figura 4.

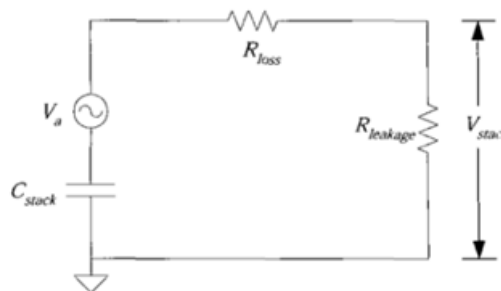


Figura 4 : modelo eléctrico piezoeléctrico 3

Dónde:

$C_{Stack}$ : Capacitancia de apilamiento

$$C_{Stack} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{h_{piezo}}$$

$\epsilon_0$ : Permisividad libre del espacio libre,  $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} [F/m]$

$\epsilon_r$ : Permisividad relativa del piezo

$A$ : Area tansversal del piezo

$h_{piezo}$ : Espsor del Piezo

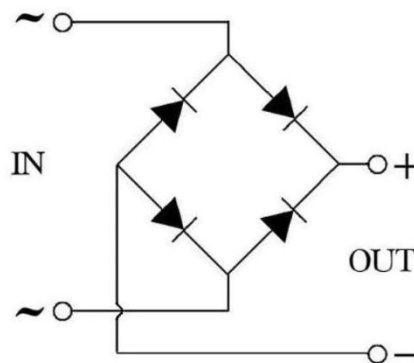
$R_{Loss}$ : Resistencia por pérdidas

## **CAPÍTULO 2. Diseño del prototipo baldosa piezoeléctrica**

### **2.1 Antecedentes sobre elementos pasivos y su matemática**

A continuación, se detallará cada uno de los componentes conceptual y matemáticamente de nuestro prototipo.

#### **2.1.1 Diseño de un puente rectificador de diodos**



*Figura 5: puente rectificador 1*

Componente utilizado para convertir la semi onda negativa de la senoidal en positiva para aplicaciones como la rectificación de la onda.

#### **2.1.2 Condensadores**

Como se había mencionado con anterioridad se incluirá dentro del circuito un condensador con el fin de acumular el voltaje generado por los discos piezoeléctricos, sin embargo, en el mercado se consiguen condensadores de diferentes tipos, tamaños y con diferentes funciones. A continuación, se explica brevemente cuál es el condensador más apropiado para este sistema. Para contextualizar un poco el fundamento de los condensadores, se tiene que estos son dispositivos que almacenan el campo eléctrico en forma de energía, cada condensador dependiendo de sus características físicas posee un tiempo de carga y de descarga.

### 2.1.2.1 Función de carga y descarga

Donde la corriente inicial. Por lo tanto, se ve que la carga del capacitor y la corriente decaen exponencialmente a una rapidez caracterizada por la constante de tiempo:

$$I(t) = -\frac{dq}{dt} = \frac{Q}{RC} e^{-\frac{t}{RC}} = I_0 e^{-\frac{t}{RC}}$$

Figura 6: Función intensidad 1

En la figura 7, se presentan las curvas de carga y descarga de un condensador en función del tiempo.

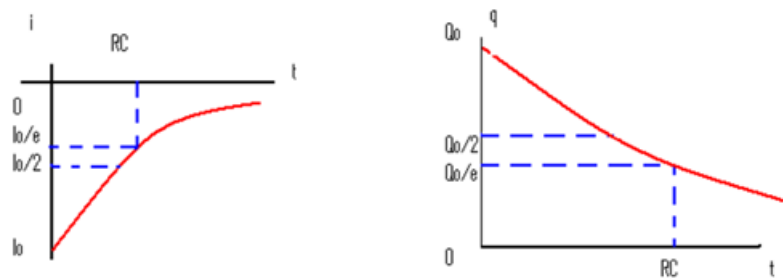


Figura 7: Carga y descarga condensador 1

Cuando  $\tau$  es pequeña, el capacitor se carga rápidamente; cuando es más grande, la carga lleva más tiempo, si la resistencia es pequeña, fluirá mejor la corriente y el capacitor se carga en menor tiempo. Por otro lado, si la capacitancia es muy pequeña el condensador se descarga demasiado rápido, en cambio si esta es muy grande el tiempo de descarga aumenta y el condensador se descarga lentamente ya que, según la ecuación  $T=RC$ , el tiempo de carga y descarga es directamente proporcional a la capacitancia del condensador.

### **2.1.2.2 Tipos de condensadores**

A continuación, se exponen algunos de los condensadores considerados para el proyecto por sus características internas:

#### **2.1.2.2.1 Condensador<sup>3</sup> de cerámica**



*Figura 8: Condensador cerámico 1*

Fuente: <http://electronicazyc.cl/condensadores/1915129-condensador-ceramico-220-nf-400-v-224-022-mf.html>

- Se fabrican en valores de fracciones de pico Faradios hasta nano Faradios .
- Tienen el inconveniente que son muy sensibles a la temperatura y a las variaciones de voltaje.
- La constante dieléctrica de estos elementos es muy alta (de 1000 a 10,000 veces la del aire).

---

<sup>3</sup> Web sobre material electrónico [Condensador Cerámico - OnubaElectrónica.es \(onubaelectronica.es\)](http://OnubaElectrónica.es) (consultado 18-03-2022)



#### **2.1.2.2.2 Condensador de poliéster**



Figura 9: Condensador de poliester 1

Fuente: <http://www.geekbotelectronics.com/producto/capacitor-de-poliester-1uf/>

- Sustituyen a los capacitores de papel, solo que el dieléctrico es el poliéster. 61
- Tienen la ventaja de tener muy poca pérdida y excelente factor de potencia.
- Se fabrican en el rango de nano Faradios (nF ).

#### **2.1.2.2.3 Condensador electrolítico<sup>4</sup>**

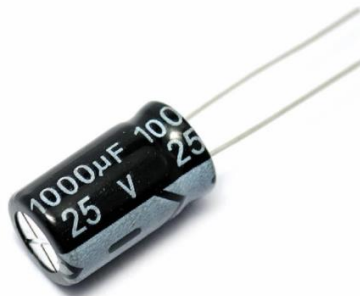


Figura 10: Condensador Electrolítico 1

Fuente: <https://mocubo.es/p/14013-condensador-electrolitico-35v-1000uf-pack-de-10.html>

- Estos condensadores pueden tener capacitancias muy altas.
- Tienen el inconveniente de que tienen alta corriente de fuga y un voltaje de ruptura bajo.
- Son polarizados y hay que tener cuidado a hora de conectarlos.
- Se fabrican en el rango de micro Faradios (uF ).

---

<sup>4</sup> TFG Carles Batlle Basseda , CONFECCIÓD'UN APARELL DE RECÀRREGA DE CONDENSADORS INACTIUS EN EL TEMPS (Consultado 18-03-2022)

## 2.2 Plannning de desarrollo baldosa piezoeléctrica

Hasta ahora, hemos estado realizando la parte que corresponde al diseño del prototipo, pero este, no es más que un eslabón de la cadena de todo el proceso, lo llamamos “elaboración del proyecto. Esta primera fase, incluye la construcción del prototipo y posteriormente la validación del mismo. Una vez se confirma que el prototipo cumple con los estándares requeridos pasaríamos a la segunda fase que sería la de “PRODUCCIÓN “donde se fabricaría de forma cíclica para obtener las unidades requeridas por nuestro cliente (IKEA SABADELL)..En esta fase también habría calidad de la producción pero nosotros nos centramos en la calidad del prototipo que será expuesto en el siguiente capítulo.

Este sería el proceso en el tiempo de la construcción del producto hasta que finalmente se producen las unidades necesarias para el mismo. Sería en total 5 meses.

- Diseño hardware electrónica (3 semanas)
- Diseño modelado (CAD) (3 semanas)
- Producción prototipo (1 semana)
- Validación del proyecto (Calidad del prototipo) (3 semanas)
- Producción en masa (4 semanas)
- Ejecución en planta (IKEA SABADELL) ( 2 semanas)

| Planned | Project Nr. | Subproyectos | Realizadas | Tasks | Who | 03/01/2022 | 04/01/2022 | 05/01/2022 | 06/01/2022 | 07/01/2022 | 10/01/2022 | 11/01/2022 | 12/01/2022 | 13/01/2022 | 14/01/2022 | 17/01/2022 | 18/01/2022 | 19/01/2022 | 31/01/2022 | 01/02/2022 | 02/02/2022 | 03/02/2022 | 04/02/2022 | 07/02/2022 | 08/02/2022 | 09/02/2022 | 10/02/2022 | 11/02/2022 | 14/02/2022 | 15/02/2022 | 16/02/2022 | 17/02/2022 | 18/02/2022 | 21/02/2022 | 22/02/2022 | 23/02/2022 | 24/02/2022 | 25/02/2022 |
|---------|-------------|--------------|------------|-------|-----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
|         |             |              |            |       |     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |

# Proyecto de diseño de un sistema de baldosas en un gran centro comercial

[illegible]

*Tabla 2 : Planning desarrollo 2*

[illegible]

*Tabla 3 : Planning desarrollo 3*

## Proyecto de diseño de un sistema de baldosas en un gran centro comercial

[illegible]

*Tabla 4 : Planning desarrollo 4*

## 2.3 Elección de componentes y test

Tras realizar un estudio para optimizar al máximo en rendimiento de la baldosa se decide analizar qué tipo de elementos son los adecuados para el diseño del mismo:

Para el diseño de nuestro prototipo partimos de la premisa de que queremos elementos con las siguientes propiedades: Precios económicos y a la vez que permitan un rendimiento adecuado para el mismo.

### 2.3.1 Piezoeléctrico

En primer lugar tenemos que elegir que piezoeléctrico<sup>5</sup> es el que conviene para implementar en nuestro proyecto, tras analizar el mercado podemos ver que tenemos dos tipos, la lámina piezoeléctrica convencional utilizada mayormente para aplicaciones de música electrónica con las siguientes características:



Figura 16 : Imagen lámina piezoeléctrica

#### Información del producto

|   |           |  |         |
|---|-----------|--|---------|
| <input type="checkbox"/> Función del Transductor: | Diaphragm | <input type="checkbox"/> Capacitancia:     | 25000pF |
| <input type="checkbox"/> Tipo de Elemento:        | Piezo     | <input type="checkbox"/> Diámetro Externo: | 27mm    |
| <input type="checkbox"/> Frecuencia Resonante:    | 4.2kHz    | <input type="checkbox"/> Altura Externa:   | 0.45mm  |

Fuente: [Interruptores Piezoeléctricos | Comprar Interruptores Piezoeléctricos | RS \(rs-online.com\)](#)

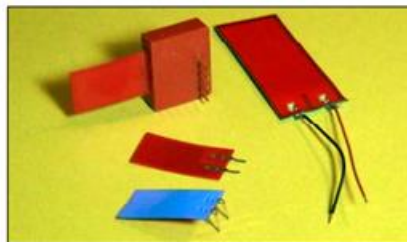
La segunda opción que tenemos es la siguiente:



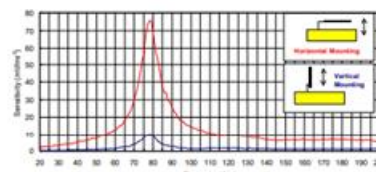
Figura 17 : Imagen lámina piezoeléctrico 3

#### Piezoelectric Film Sensors

Pro-Wave now presents a series of mechno-electrical sensors and detectors produced by advanced piezoelectric polymer film technology. The polymer film of polyvinylidene fluoride (PVF2) exhibits a conspicuous piezoelectric effect and also has high compliance comparing with other piezoelectric crystals or ceramic materials. Because of its superior piezoelectric strain constant (g value), 10-20 times larger than piezoelectric ceramic, it is an ideal sensing material for converting mechanical to electrical energy.



#### Frequency response



#### Features

Características Piezoelectric Film sensors Fuente: [Piezoelectric Film Sensors - Properties and Applications \(azosensors.com\)](http://Piezoelectric Film Sensors - Properties and Applications (azosensors.com)) 2017

Figura 42 curva: Lámina piezoeléctrico

Como podemos observar, en términos de eficiencia este segundo tiene una respuesta en frecuencia mayor que el primero y se utiliza más en aplicaciones de generación de energía que el cerámico, la única desventaja es que el precio del producto sube considerablemente y no podríamos alcanzar el objetivo de realizar un prototipo económico y asequible económicamente en el mercado ya que deberíamos implementar varias de estas láminas y sería inviable.

Por este motivo, decidimos apostar por el primero por su bajo precio en el mercado y su rendimiento más que suficiente para el caso.

Una vez tenemos disponible la lámina decidimos realizar pruebas de deformación con un tester en sus terminales para analizar su respuesta y su resistencia a la deformación. Hay que tener en cuenta que encima de la baldosa irá el peso de un cuerpo humano en su pisada.

Por eso motivo se decide hacer pruebas de resistencia mediante la deformación y ver también la generación eléctrica del mismo.

Podemos ver que resiste bien a los cambios de forma y no experimentan defectos con los test aplicados.

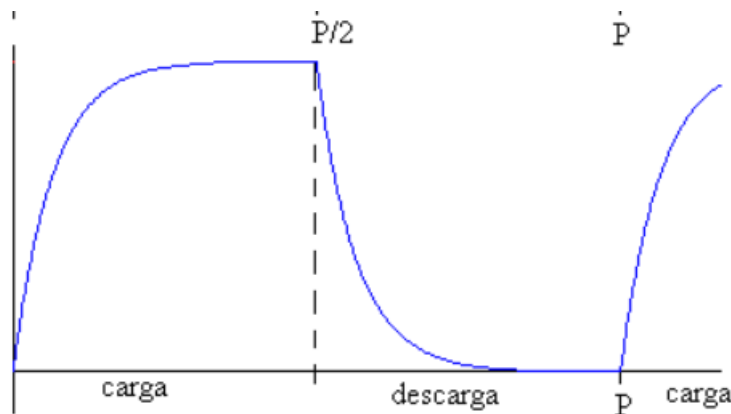
### **2.3.2 Condensador**

El siguiente elemento crítico que debemos elegir es el tipo de condensador que se utilizará:

Para ello, tenemos 3 opciones como hemos comentado anteriormente, el condensador cerámico, el electrolítico y el poliéster. Decidimos estudiar cada uno de ellos y nos decidimos por el electrolítico por su mayor capacidad que el resto, aunque tenga la desventaja de tener mayor volumen generalmente.

Para dimensionar dicho condensador probamos con dos capacidades diferentes de 10 micros y 100 micros y hacemos simulaciones y pruebas para saber cuál sería el más conveniente para nuestro sistema:

El patrón que sigue dicho condensador es el siguiente:



*Figura 18 : Carga y descarga condensador 2*

Podemos calcular el tiempo de carga y descarga al partir de la siguiente formula

$$\tau = R \times C.$$

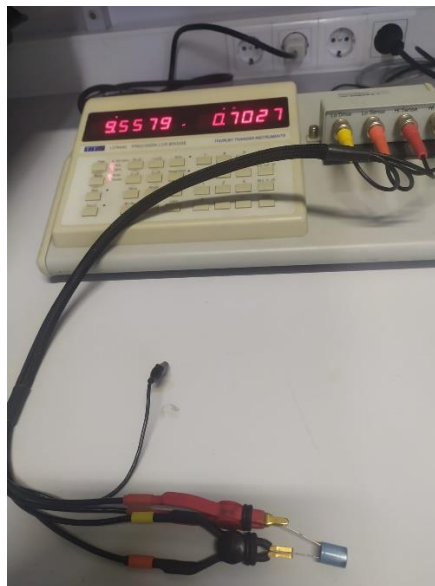
La carga final del condensador seguirá la siguiente formula

$$q_1 = CV_0 \left( 1 - \exp\left(\frac{-t}{RC}\right) \right)$$

*Figura 19 : Formula carga final condensador*

- **Prueba con 10 micros :** Ponemos una lamina piezoeléctrica en serie con un diodo y posteriormente un condensador de 10 microsF y en paralelo ponemos el tester en continua y vemos los tiempos de carga y descarga del mismo :

El ensayo consiste en presionar de forma cíclica y constante la lámina piezoeléctrica y ver el incremento de voltaje en los terminales del condensador .. en primer lugar .. verificamos el valor capacitivo del condensador mediante puente LCR



*Figura 20 : Puente LCR*

Vemos que efectivamente el valor es el 9,5579 microFaradios , perdidas despreciables con respecto el valor ideal .

Podemos ver como el valor de tensión del condensador se incrementa de forma exponencial y llega rápidamente a 3 o 4 voltios, el condensador puede almacenar hasta 50 voltios por definición.



**Prueba con 10 micros:** Realizamos el mismo procedimiento para dicho condensador, podemos observar mediante el experimento que le carga es más lenta y llegamos a los 4 voltios con más esfuerzo, aunque también es cierto que la descarga también es más lenta ya que se rige por la fórmula que hemos mencionado anteriormente

$$\tau = R \times C$$

Al subir la C los tiempos de carga y descarga serán más grandes. Por lo tanto, decidimos implementar el condensador electrolítico de 10 microFaradios ya que debería ser perfectamente funcional para nuestros requerimientos.

A continuación, evaluamos el resto de elementos:

Para conseguir la máxima eficiencia en nuestro circuito evaluamos si es mejor realizar una conexión en serie o en paralelo de nuestras láminas piezoeléctricas, realizamos el mismo ensayo que para el condensador, pero esta vez manteniendo fijo el valor de **C=10microFaradios** hacemos dos subensayos diferentes:

1) Láminas en paralelo:

Ponemos en paralelo 6 piezoeléctricos a continuación de un diodo que rectifique la onda de corriente alterna y posteriormente el condensador y el tester en sus terminales:

2) Láminas en serie:

Ponemos en paralelo 6 piezoeléctricos a continuación de un diodo que rectifique la onda de corriente alterna y posteriormente el condensador y el tester en sus terminales.

Tras realizar dicho ensayo, vemos los siguientes resultados:

Cuando ponemos en paralelo los piezoeléctricos vemos como el voltaje es más o menos parecido a cuando lo ponemos en serie, del orden de 1,5 V aproximadamente cuando presionamos las láminas de forma simultánea, sin embargo, la intensidad es mucho menor en paralelo, y en serie la carga es mucho mayor cuantas más láminas pones en el sistema en esta conexión.

Podemos concluir que, en paralelo, a mayor número de piezoeléctricos mayor intensidad equivalente tendremos. Así que decidimos diseñar el circuito en paralelo para obtener el mayor número de intensidad posible.

De esta manera ya podemos establecer una relación entre la fuerza de la pisada y el voltaje generado. De manera provisional, situamos la placa superior de metacrilato sobre la capa inferior que presionará los piezoeléctricos.

### **2.3.3 Nexo entre capas**

El elemento que hará de nexo entre una y otra es el siguiente elemento:



*Figura 21 : Taco puente entre capas*

Son tacos de pata de silla de un diámetro inferior a los 15 mm, son ideales porque inciden directamente sobre la superficie del piezoeléctrico y la pisada abarca el máximo rango de área. Estos tacos irán pegados con pegamento sobre cada piezoeléctrico y la parte superior incidirá directamente sobre la placa de metacrilato.

El resultado provisional es el siguiente:



*Figura 22 : Imagen Prototipo*

De esta manera podemos hacer las primeras pruebas con pisada, y podemos establecer una relación entre pisada y voltaje generado en el condensador. Realizaremos las conexiones electrónicas de manera provisional en una Protoboard de Arduino y a continuación analizamos los datos obtenidos.

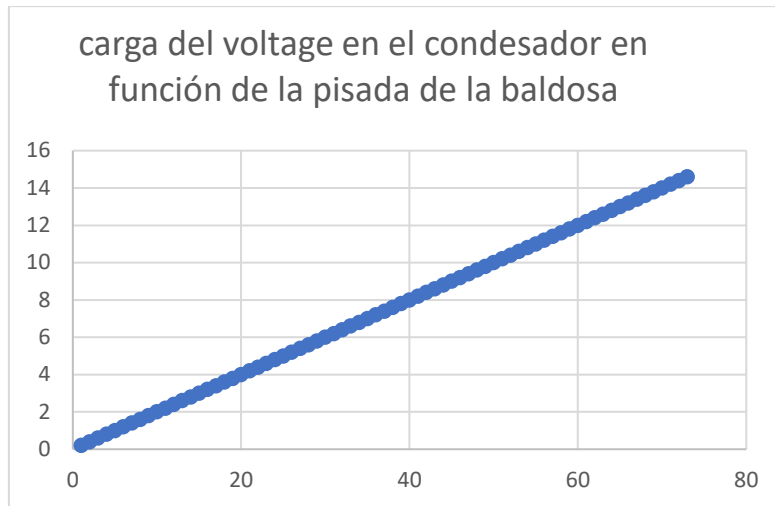


Figura 23 : Imagen carga condensador prototipo

**Eje x: número de pisadas**  
**Eje y: Voltaje en el condesado**

A continuación vemos que pasa si cargamos al máximo el condensador que tiene un límite 50 V. Si realizáramos 256 pasos de manera consecutiva llegaríamos a la saturación del condensador con un valor exacto de 256 voltios.

En el momento que dejemos de pisar se comenzaría a producir la descarga del condensador de manera lenta y obtendríamos la siguiente curva en función del tiempo:

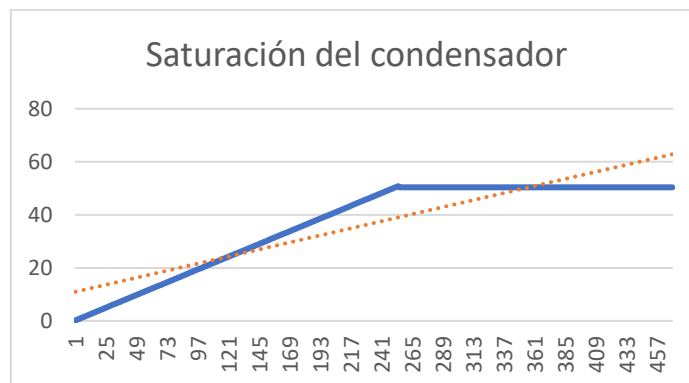


Figura 24 : Imagen carga condensador prototipo 2

**X:Pisadas**  
**Y:Voltage**

En el momento que dejemos de pisar se comenzaría a producir la descarga del condensador de manera lenta y obtendríamos la siguiente curva en función del de una pisada constante a nivel de fuerza:

### 2.3.4 Carga lumínica

A continuación, decidimos poner una carga en paralelo al condensador para saber cuánto tardará en descargarse el mismo cuando le aplicamos en este caso un LED en sus terminales. Empezaremos con un led rojo, cuyo potencial umbral es de 1,8-2,2 V, importante ponerle una resistencia en serie para que absorba los picos de corriente no deseados en caso de que los hubiera.



Figura 25 : Imagen Led Rojo LED'S

| Alimentación: 12V                   |      |           |  |
|-------------------------------------|------|-----------|--|
| tipo de led                         | Vled | corriente | resistencia                              |
| azul / blanco<br>alta luminosidad   | 3,7V | 20 mA     | (calculado: 415 ohm)<br><b>390 ohm</b>   |
| rojo<br>alta luminosidad            | 1,2V | 20 mA     | (calculado: 540 ohm)<br><b>560 ohm</b>   |
| rojo<br>tipo indicatore             | 1,2V | 5 mA      | (calculado: 2160 ohm)<br><b>2200 ohm</b> |
| verde / amarillo<br>tipo indicatore | 1,6V | 5 mA      | (calculado: 2080 ohm)<br><b>2200 ohm</b> |

Figura 26 : Valores umbral

Cuando tenemos cargado nuestro condensador alrededor de 5 a 7 voltios cerramos el interruptor que habilita la salida del led, vemos que el led se enciende y se apaga de forma repentina, vemos que el tester pasa de 5 voltios a 1,2 voltios de forma prácticamente inmediata, esto es porque la carga generada por los piezoeléctricos es tan pequeña que rápidamente el LED consume el potencial. Este problema nos hará replantear una situación para poder encender una carga durante más tiempo.

### 2.3.5 Batería DC

Dado la problemática de la carga insuficiente nos vemos en la obligación de buscar una alternativa para poder activar una carga de forma continua. La solución será poner un en paralelo a los condensadores una batería extraíble que una vez cargada pueda utilizarse dicha potencia para la aplicación que se considere. En este caso podría ser para la iluminación de la tienda. Para ello, utilizaremos una batería de Litio de 3,7 voltios que será la siguiente:



**Acerca de este producto**

- Apto para Wltoys V636 V686 V686G JJRC V686 Quadcopter Drone
  - 1 pieza de batería de 730 mAh 3,7 V
  - Dimensiones de la batería: 53x27x8 mm - Peso: 22 gramos
  - Todas las baterías y cargadores han pasado la prueba de calidad y pueden garantizar un uso a largo plazo.
- [Ver más detalles](#)

Figura 27 : Batería 3,3 V

De manera que tendremos una alimentación continua al menos durante unas horas .

### **2.3.6 Boost converter**

Además, para salidas que requieran de más voltaje le vamos a incorporar en paralelo un boost de manera que podemos llegar incluso a los 28 Voltios de tensión máxima. El boost será el siguiente:



- Es un mini regulador de voltaje DC-DC con entrada DC 2~24V y salida 5~28V.
  - Equipped with MT3608 voltage booster chip with high conversion efficiency up to 93%.
  - Antes de comenzar a ver cambios en el voltaje de salida, es posible que deba ajustar el potenciómetro del trimmer en el módulo en sentido antihorario en más de 10 vueltas.
  - Este es un módulo convertidor de refuerzo, por lo que el voltaje de salida debe ser al menos 2V más alto que el voltaje de entrada.
  - Ampliamente utilizado para la batería de almacenamiento, transformadores de potencia, fuente de alimentación regulable ajustable de bricolaje, equipos industriales, salida de 5V, 9V, 12V, 28V, etc.
- [Ver más detalles](#)

Figura 28 : Imagen convertidor DC/DC

Este boost irá incorporado en un terminal de la baldosa de manera que los pines queden cerca de la aplicación a la cual quiera conectarse.



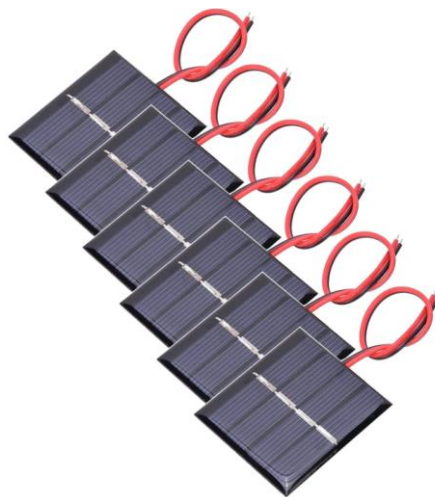
Figura 29 : Imagen convertidor DC/DC 2

El usuario final tendrá la posibilidad de regular dicho voltaje desde 3,7 voltios hasta 24 voltios según la aplicación que se desee. En este caso, como estamos encarando el proyecto hacia la aplicación de IKEA SABADELL se utilizaría el voltaje máximo de 28 V y posteriormente se utilizarían métodos de amplificación para alimentar la red eléctrica de la tienda que está a 230 V. Pero ese capítulo lo veremos posteriormente.

### **2.3.7 Célula fotovoltaica**

Para optimizar el diseño del mismo, se ha incorporado un valor añadido a nuestro proyecto y es el hecho de aprovechar la energía lumínica proveniente de la energía artificial de la tienda. De manera que la baldosa generaría no solo por la pisada del cliente sino también por la energía proveniente de los focos. Para ello, incorporaremos 6 células fotovoltaicas en nuestro prototipo. Esta energía generada es directamente generada en corriente continua, por lo tanto, no necesita rectificadores que polaricen la tensión y esta irá directamente hacia un condensador de 10 microfaradios y posteriormente a la batería global de la baldosa que almacenará la energía total generada.

Estas células fotovoltaicas son las siguientes:



#### **Detalles del producto**

Dimensiones del paquete : 18.6 x 11.4 x 2.1 cm; 90 gramos

Producto en Amazon.es desde : 8 agosto 2021

Fabricante : GTIWUNG

ASIN : B097GS2CL8

Referencia del fabricante : T470

País de origen : China

*Figura 30 : Célula fotovoltaica*

Permiten obtener una potencia de 0.3 W y 3 V con la máxima iluminación. Pese a que no es igual de eficiente con energía lumínica artificial que con la luz del sol podría suponer un extra energético a tener en cuenta.

## 2.4 Circuito electrónico y fases del mismo

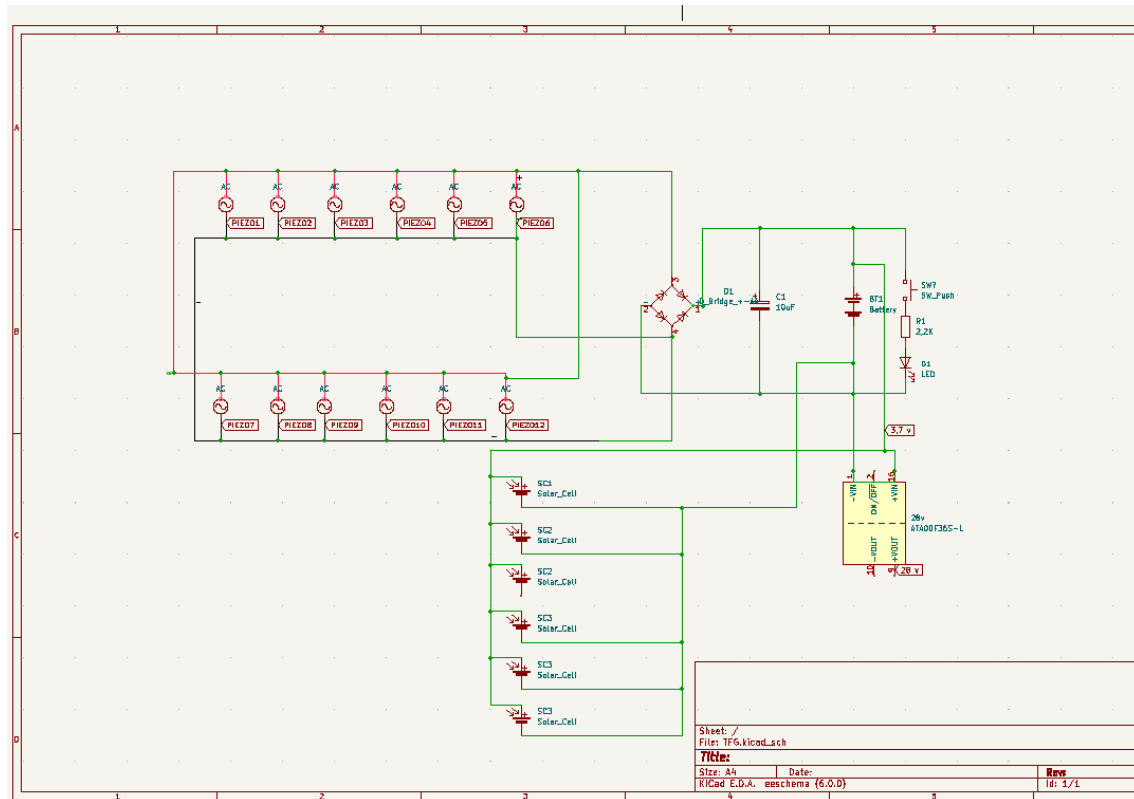


Figura 11: Esquema eléctrico <sup>6</sup>

Como podemos ver en el siguiente esquema, el diseño tiene 4 fases:

- 1) **Generación:** Esta parte está comprendida entre los piezoeléctricos y las células fotovoltaicas. Son los elementos de donde obtendremos la energía.
- 2) **Normalización:** Es la fase en la cual transformamos la energía al tipo de señal que queremos. En este caso transformamos de AC a DC. Esta fase está comprendida en el puente de diodos.
- 3) **Amplificación:** Una vez tenemos la forma de onda deseada la amplificamos mediante un convertidor DC /DC Boost para así conseguir el voltaje deseado a la carga. En este caso, tenemos una salida de 28 Voltios.
- 4) **Salida auxiliar 3,8 V:** Se ha incorporado un interruptor que acciona un LED para demostrar que se activa una carga al partir de la energía generada con el mismo.

<sup>6</sup> Ver en profundidad en el documento PLANOS

## **2.5 Segundas fuentes**

Para asegurar una producción fiable en la empresa de nuestras baldosas piezoeléctricas la metodología de la empresa incluye un proceso de búsqueda de segundas fuentes que significa lo siguiente:

En caso de que uno de nuestros proveedores de materias primas falle, la empresa se asegura la producción mediante el diseño de las placas con otras fuentes que puedan asegurar la misma función.

Por ejemplo, nuestro proveedor de condensadores nos deja de abastecer por un problema x. Nuestra labor en este caso es asegurar que cada uno de los componentes electrónicos pueda ser substituido por otro del mismo valor de otra empresa.

Para ello, realizaremos los test correspondientes de validación junto a las primeras fuentes y las segundas fuentes. Si ambos pasan los correspondientes test. Entonces tendremos dos elementos para elegir para la misma función. Entonces, nuestro departamento de administración se encargará de elegir cual es el adecuado para entrar a producción. Normalmente el criterio será el más económico para abaratar el proyecto lo máximo posible.



## **2.6 Validación mediante simulación**

Para asegurar un comportamiento eléctrico adecuado realizamos una simulación de nuestro circuito eléctrico en el simulador “CAD e Simu” y comprobamos la viabilidad de nuestro diseño :

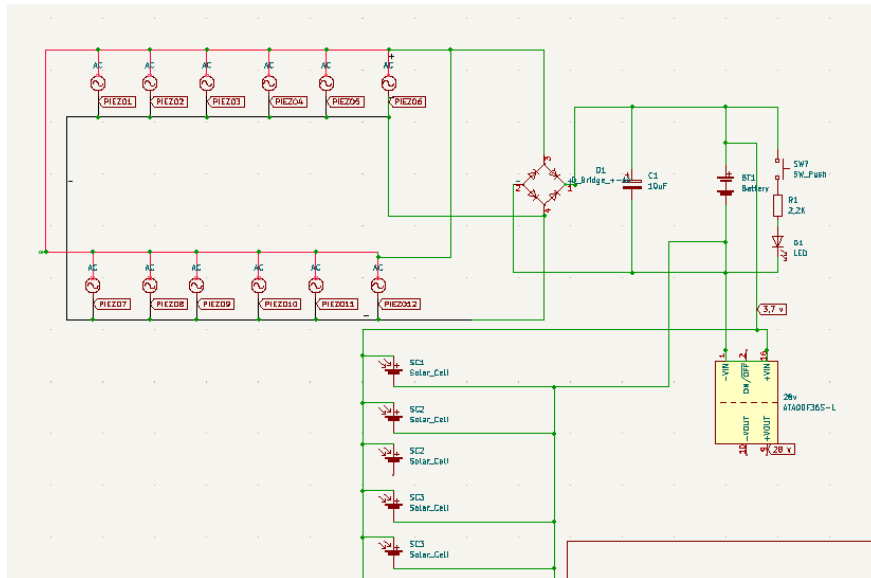


Figura 11: Esquema eléctrico 2

Tras la simulación podemos confirmar la carga de la batería y la encendido de la carga lumínica a raíz de la energía generada. También que tenemos los 28 Voltios en los bornes 9 y 10.

## **2.7 Diseño y proceso de elaboración**

El diseño de la baldosa piezoeléctrica se divide en dos etapas ya que con anterioridad y basados en pruebas de ensayo y error, se identifica la manera más eficiente de aprovechar este sistema es seccionando la estructura en diferentes capas, una encima de otra. A continuación, se exponen las características y los elementos con los cuales se componen las mismas:

### **2.7.1 Capa superior o tapa (capa 2)**

Esta capa representa la parte superficial de la baldosa donde el usuario interactuará mediante la presión de la pisada. Se ha elegido un material lo suficientemente resistente para evitar el desgaste del mismo como es el metacrilato, Serán 2 placas de metacrilato de 4 mm de grosor unidas a la capa uno mediante unos muelles de

compresión que pueden aguantar un peso máximo de 14 kg, por esta razón pondremos uno en cada esquina para tener una estabilidad adecuada para el mismo.



*Figura 12 : Foto capa superior 1*



*Figura 39 : Prototipo finalizado perfil*

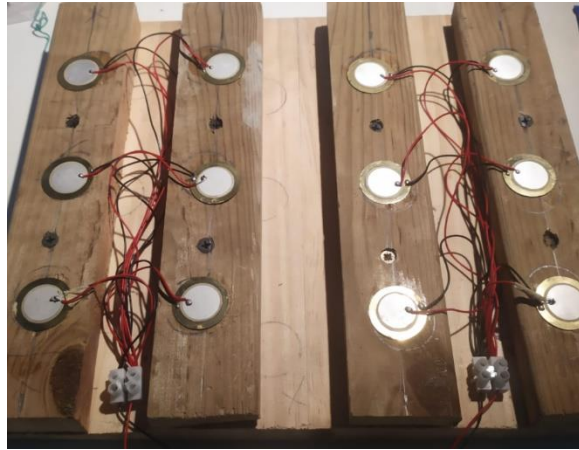
### **2.7.2 Capa pulsadora (capa 1):**

Esta capa representa la base de madera que contendrá en su interior la electrónica del proyecto:



*Figura 13 : Prototipo perfil*

Como podemos observar es una base de madera que incorpora unas tiras de madera por encima donde irán encima las 12 láminas de piezoeléctrico, de esta manera, tendremos 3 carriles que podremos utilizar como carriles donde irá el cableado y la electrónica. Los dos laterales incorporan dos regletas que se conectarán entre e irán al carril central donde estarán las PCB's con los elementos soldados. A continuación, vemos un plano cenital del mismo:



*Figura 14 : Plano cenital prototipo*

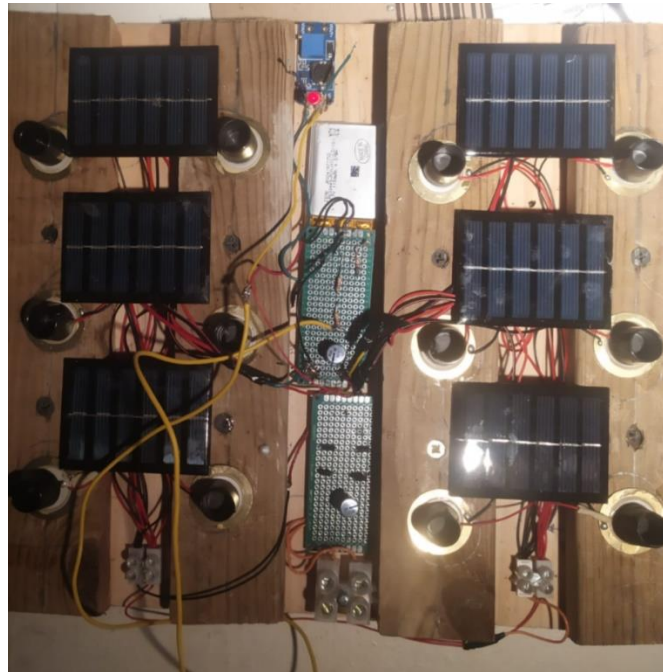
A continuación, veremos la electrónica del mismo:

En el carril central vemos las PCB's :

En la PCB 1 tenemos los positivo y negativo de las láminas que van directas a 4 diodos que formaran el puente de diodos, posteriormente conectaremos el condensador electrolítico ,este realizará la descarga a la batería de litio.

En la PCB 2 (en el centro) tenemos la conexión de las células fotovoltaicas en paralelo que irán

Al segundo condensador que, junto al anterior, irán a alimentar a la batería de litio. Además, tenemos en paralelo un diodo led con un interruptor y dos resistencias para no quemar el mismo junto con una resistencia equivalente de 2,2 kHoms.



*Figura 15 : Plano cenital prototipo 2*

## **2.8 Calidad y validación del producto (Hardware)**

Una vez tenemos el prototipo listo iniciamos un plan de validación del mismo para darle más rigor y validez a nuestro producto:

Iniciaremos un proceso de calidad que focalizaremos en el hardware de nuestro prototipo.

Para ello, realizaremos una serie Test para comprobar la estabilidad y la robustez tanto de la electrónica como de la parte más mecánica.

### **2.8.1 Validación de la parte mecánica:**

Para valorar la calidad de los materiales uno de los test que realizaremos será valorar la capacidad de los muelles que separan la capa 1 de la capa 2.



*Figura 31 : Muelle de compresión*

#### **Ficha técnica**

|                               |     |                                     |                      |
|-------------------------------|-----|-------------------------------------|----------------------|
| Número de unidades consumidor | 1   | Tipo de producto                    | Muelle de compresión |
| Diámetro (en mm)              | 1.8 | Diámetro exterior del cable (en mm) | 1.8                  |

*Figura 32 : Ficha técnica muelle*

Fuente : [Muelle de compresión de 100 mm y 1,8 mm de Ø · LEROY MERLIN](#)

Estos muelles cuando se les somete a 2 kg de forma perpendicular alcanzan su valor máximo de compresión. Para comprobar la fiabilidad realizaremos un test de carga que estará al 120 % de lo permitido para valorar la robustez de los muelles y darle ese margen de seguridad .

Nuestro prototipo contiene 4 muelles que si multiplicamos por el máximo permitido serian  $28 \times 4 = 112\text{kg}$  , si le aplicamos el criterio del 120 % tendríamos 134 kg .

El test consiste en los siguiente:

1)Medimos con pie de rey las distancias iniciales a mínima y máxima compresión ,

Aplicamos 1200 ciclos de pisada con el 120 % de lo permitido, de esta manera garantizamos un factor de seguridad para los muelles.

**2)** Una vez realizados los 1200 ciclos volvemos a comprobar con pie de rey las compresiones mínimas y máximas y hacemos un gráfica comparativa de las distancias pretest y post-test. .

**3)** Si los valores difieren en mas de 1 mm significa que los muelles han superado su límite elástico y tendríamos unos muelles defectuosos ya que no han recuperado como deberían. Esto sería un problema ya que la vida útil de la baldosa se reduciría mucho. Por ello , uno de los elementos que incorpora el mantenimiento es un cambio cíclico de los mismos para alarga el tiempo de vida .

**4)** Por lo contrario, si los muelles no han sufrido ninguna deformación confirmamos que los muelles estarían validados y serian aptos para su incorporación.

### Validación de la capa superior (capa de metacrilato)

Dado las características del test anterior, podemos aprovechar para ver lo defectos producidos en la capa superior de metacrilato una vez se le ha aplicado 1200 ciclos.

Pre test :



*Figura 33 : Capa metacrilato*

Post test :



*Figura 34 : Capa metacrilato 2*

Vemos que tras 1200 ciclos la placa sufre un deterioro en forma de grietas en la zona central, que es donde se aplicó la presión mayoritariamente. Para corregir este problema realizaremos una corrección del mismo. La placa tiene un grosor de 4 mm, la ampliaremos el grosor a 16 mm poniendo 3 apiladas de manera que la superficie gane más consistencia y robustez ante la presión que se pueda ejercer.



*Figura 35 : Capa metacrilato 3*

A continuación, volveremos a realizar el test y veremos la diferencia entre la capa de 4 mm y la de 16 mm.



*Figura 36 : Capa metacrilato 4*

Podemos ver como las grietas descienden notablemente así que validamos la placa superior para nuestro prototipo.

### 2.8.2 Parte electrónica

Para validar la electrónica la teoría nos dice que tendríamos que realizar test que comprobar el tiempo de vida de nuestro producto. Para ello utilizaremos la ley física de que dice que cuando le aplicas calor a la temperatura envejeces el producto de forma rápida. De esa manera, meteríamos en una cámara climática nuestro prototipo a unas condiciones determinadas de calor y humedad durante una serie de horas y simularíamos que el producto se haya envejecido aproximadamente de 10 a 15 años de vida. Este procedimiento es denominado en la industria electrónica como LIFE TEST.

La ley <sup>7</sup> es la siguiente:

$$A_T = \exp \left\{ \frac{E_a}{K_B} \left[ \frac{1}{T_{Use}} - \frac{1}{T_{Stress}} \right] \right\}$$
$$\ln(t_f) = C + \frac{E_a}{K_B T}$$

Notation

A<sub>T</sub>=Temperature acceleration factor  
T<sub>stress</sub>=Test temperature (°K)  
T<sub>use</sub>=Use temperature (°K)  
E<sub>a</sub>=Activation energy  
k<sub>B</sub>= 8.6173x10<sup>-5</sup>eV/°K(Boltzmann's  
C=constant)

Figura 37 : Ley de Boltzmann

De esta manera que podemos establecer una relación entre temperatura y tiempo de vida acelerado del producto.

Le aplicaríamos 500 h en una cámara climática a 85 grados y 93 por ciento de humedad. Y al finalizar, veríamos los resultados y compararíamos entre un ejemplar al que no se le ha aplicado el test y el ejemplar aplicado. Si vemos que la electrónica no ha resultado afectada del mismo podríamos dar el producto por validado y listo para entrada en producción.

---

<sup>7</sup> Clasical and quantum cosmology ,Gianluca Calcagni 2017 (Consultado 24-04-2022)



## **2.9 Resultados energéticos**

La idea es aprovechar energéticamente aquellos momentos del día cuando no hay tantos clientes como por ejemplo la hora de comer, o las horas nocturnas, donde la luz sigue estando encendida, pero sin embargo solo la pisan trabajadores del turno nocturno. De manera que la baldosa seguiría siendo generadora. De esta manera podemos concluir que la potencia global de la baldosa será la siguiente:

$$P_{total} = P_{\text{piezoeléctricos}} + P_{\text{células fotovoltaicas}}$$

De manera más desglosada sería:

$$P_{total} = (P_{\text{piezoeléctrico 1}} + P_{\text{piezoeléctrico 2}} .. P_{\text{piezoeléctrico 12}}) + (Potencia_{\text{célula 1}} + Potencia_{\text{célula 2}} .. Potencia_6);$$

Por otra parte, uno de los objetivos específicos del presente proyecto consiste en analizar y calcular la eficiencia del prototipo, su potencia generada, ajustes y adecuaciones necesarias, para tener un punto de comparación con el costo frente a otras fuentes de energías renovables. Teóricamente, la energía por paso se puede calcular de la siguiente manera:

$$E_{total} = E_{defor} + E_{elec}^8$$

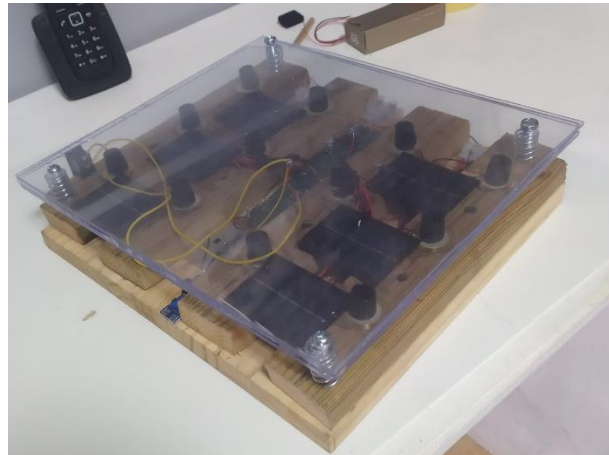
Siendo mayor la energía cuanto mayor es la deformación del piezoeléctrico .Es decir , cuanto mayor es el peso sobre la baldosa siempre que no supere los límites elásticos de los componentes del prototipo .

---

<sup>8</sup> TFG Kevin Tena Torrecilla Implementación de sensores piezoeléctricos para la generación eléctrica bajo calzada: aplicaciones en el Aeropuerto de Barcelona(Consultado 24-03-2022)

## **2. 10. Imágenes finales del prototipo**

En la siguiente ilustración vemos la baldosa al 95 % a falta del logo de la empresa en la parte superior. Como podemos observar, tenemos en la parte superior los tacos negros sobre el piezoeléctrico y en sus costados las células fotovoltaicas correspondientes de 3 V junto a todos a las PCB's en la parte central y otros componentes electrónicos y cableado.



*Figura 38 :Prototipo finalizado*

Podemos observar como en la parte lateral tenemos un interruptor , este mismo se utilizará para encender un led de 3 V para demostrar que hemos cargado la batería correspondiente .

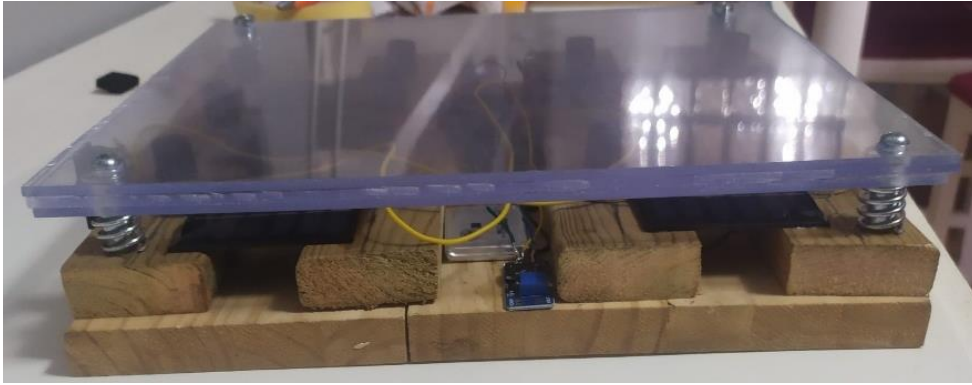
También podemos apreciar 2 de los muelles que realizaran la carrera de la capa superior.



*Figura 39 : Prototipo finalizado perfil*

## Proyecto de diseño de un sistema de baldosas en un gran centro comercial

En el otro lateral tenemos la salida de 28 voltios en esos terminales azules en el carril central que corresponde a la salida del Boost .



*Figura 40 : Prototipo finalizado perfil 2*

## **CAPÍTULO 3. Ejecución en planta del proyecto**

### **3.1. Antecedentes de la empresa cliente (IKEA SABADELL)**

IKEA Sabadell <sup>9</sup> produce energía para consumo propio. Esta instalación, en la cubierta, consta de 480 paneles solares que producen unos 158.000 kWh anuales.

Aproximadamente el 50 por ciento de la energía consumida por la empresa para iluminación viene de las energías renovables, concretamente de la instalación de placas fotovoltaicas en sus tejados. La idea de empresa es seguir decrementando el consumo de energía eléctrica global de un 5 a un 10 por ciento y buscar una alternativa limpia y renovable. Ahí es donde entra ERPUN..S.A con el proyecto de placas fotovoltaicas y convertirse en una empresa pionera en uso de energías renovables .

---

<sup>9</sup> Datos energéticos IKEA , [Ikea venderá placas solares residenciales en España en 2021 – pv magazine España \(pv-magazine.es\)](https://pv-magazine.es/ikea-vendera-placas-solares-residenciales-en-espana-en-2021) (consultado 23-02-2022)

### 3.2 . Calculo baldosas a incorporar

A continuación, vamos a realizar el diseño de sistema de baldosas piezoeléctricas en planta (IKEA SABADELL).

Tenemos en cuenta que el área total es de 36.000 metros cuadrados. "IKEA Sabadell" nos ha pedido que incorporemos dichas baldosas tanto por el recorrido que realiza el cliente como por el almacén donde solamente pasan trabajadores diariamente. Las condiciones del acuerdo son que tenemos un presupuesto adaptable pero lo importante es que dichas baldosas deban situarse en el máximo área posible para garantizar que a la larga la inversión económica pueda rentabilizarse con resultados energéticos.

Lo primero que deberíamos saber, es que la tienda tiene dos plantas. Show Room y MARKET.

Y luego almacén de Stock y parking. Si calculamos el área ocupable por baldosas la superficie se reduce al 40 % ya que la mayoría son zonas de acceso limitado y no merece la pena situarlas en trasteros u otras zonas de difícil acceso.

Aproximadamente, según estudios IKEA Sabadell recibió la visita de 3.600.000 personas durante el año 2021 lo cual es un indicador para saber cuánta energía podríamos generar mediante nuestro sistema de forma anual. Si ponemos el caso siendo pesimistas que al menos el 70 por ciento sigue el recorrido de forma canónica podríamos saber cuánto rentable podría ser nuestro sistema.

En lo referente a la inversión, el número de baldosas a incorporar sería el siguiente: **57** en la planta superior y **49** en la planta inferior (105 en total) . Por lo tanto, si sabemos que una baldosa tiene el precio **82,46€**, el gasto solo en el producto sería **82,46 €/unidad \* 105 unidades = 8648,3 €**. El resto de gastos sería en el número de horas invertidas en técnicos para su ejecución. Se detalla en el siguiente Excel:

| COSTES TRABAJADORES EN NÓMINA                      | PRECIO/HORA | HORAS TOTALES | PRECIO TOTAL DEPARTAMENTO | PRECIO TOTAL EMPLEADOS |
|--|-------------|---------------|---------------------------|------------------------|
| <b>INGENIEROS</b>                                  |             |               |                           |                        |
| INGENIERO DE DISEÑO HARDWARE (ELECTRÓNICA )        | 10 €        | 130 h         | 1.300,00 €                |                        |
| INGENIERO DE CALIDAD (DEPARTAMENTO DE VALIDACION ) | 10 €        | 150 h         | 1.500,00 €                |                        |
| INGENIERO DE CAD (DEPARTAMENTO DE CAD )            | 10 €        | 130 h         | 1.300,00 €                |                        |
| <b>TECNICOS DE PRODUCCIÓN</b>                      |             |               |                           |                        |
| OPERARIO 1   | 9 € /HORA   | 160 h         | 1.440,00 €                |                        |
| OPERARIO 2   | 9 € /HORA   | 160 h         | 1.440,00 €                |                        |
| OPERARIO 3   | 9 € /HORA   | 160 h         | 1.440,00 €                |                        |
| <b>TECNICOS EIECUCIÓN EN PLANTA</b>                |             |               |                           |                        |
|  | 9 € /HORA   | 90 h          | 810,00 €                  |                        |
|  | 9 € /HORA   | 90 h          | 810,00 €                  |                        |
|  |             |               |                           | <b>10.040,00 €</b>     |

Tabla 5 : Gastos en personal

Por lo tanto, podemos decir que precio total de la inversión de nuestro cliente será :

La suma del coste **de diseño + producción + ejecución** será: **18780,76 €**

### Plano cenital Ikea Sabadell <sup>10</sup>con la instalación baldosas<sup>11</sup> piezoeléctricas



Figura 41 : Localización baldosas IKEA SABADELL

Fuente : [Ejecutivo Agresivo: El secreto del éxito de Ikea: el Producto](#)

<sup>10</sup> Imagen extraída de : [Ejecutivo Agresivo: El secreto del éxito de Ikea: el Producto](#)

<sup>11</sup> Un cuadrado negro representa un ejemplar de baldosa piezoeléctrica.

### **3.3 Planning ejecución en planta**

Tal y como se ha especificado en apartados anteriores, la temporalidad fijada para la instalación de las baldosas en la empresa cliente tiene un tiempo de 2 semanas, esto implica que por cada día que nos pasemos del límite tendremos una penalización económica dado que las pérdidas por cada día que está cerrado son cuantiosas así que no podemos demorarnos más de la cuenta.

Por este motivo, realizamos un planning para ordenar las tareas correspondientes hasta la completa instalación:

Tareas:

- 1) Transporte baldosas hasta empresa cliente y herramientas correspondientes y almacenamiento (2 h)
- 2) Acondicionamiento de la superficie donde se pondrá las baldosas: Esto conlleva realizar pequeños boquetes donde se introducirán las baldosas a lo largo de todo el recorrido. Habrá que realizar también un canal donde introducir la toma eléctrica general porque hay que recordar que todas las baldosas de la tienda estarán introducidas en paralelo y por lo tanto tendrán una fase y un neutro común. ( 72 h)
- 3) Acondicionamiento eléctrico de la tienda (72 h )
- 4) Instalación de las baldosas “In situ” (144 h)
- 5) Puesta en marcha y prueba final de la instalación (8 h)
- 6) Posibles incidencias finales ( 6 h)

### **3.4 Beneficios energéticos del sistema**

Una vez diseñamos las baldosas a incorporar podemos hacer una estimación de energía generada a corto plazo.

Sabemos que, de media, la empresa IKEA SABADELL recibe la visita de entre 2000 y 10000 personas diarias.

Si sabemos que la baldosa generará de media aproximadamente 200 miliWatts por pisada. Podemos establecer que de media la empresa generará aproximadamente:

**Energía generada diaria = 5000 personas x 105 x 0,2 W = 105.000 W**

Aproximadamente de media la empresa generaría 105000 W dependiendo de algunos parámetros como, por ejemplo, si es día entre semana o fin de semana que normalmente la empresa tiene más afluencia de clientes y paseantes.

Al partir de aquí, la empresa nos ha dicho que esta potencia irá destinada a la iluminación de la tienda de manera que esta energía se almacenará en una gran batería que posteriormente convertirá la energía a la normalizada a 230 V para poder iluminar la tienda.



# CAPÍTULO 4. Presupuestos del proyecto

Aunque esta información esta detallada en un documento aparte. Aquí se muestra un breve resumen del mismo.

| Concepto   | Empresa            | Coste unitario / unidad   | Unidades   | Precio total concepto        |
|--|--------------------|---------------------------|------------|------------------------------|
| Madera maziza 30 cm2x 5cm                        | LeroyMerlin        | 19,99 €                   | 1          | 19,99 €                      |
| Capa acrílico metacrilato 30cm2x8mm              | LeroyMerlin        | 4,99 €                    | 3          | 14,97 €                      |
| Regletas monofásicas de plástico                 | Amazon             | 0,40 €                    | 2          | 0,80 €                       |
| Condensador 10uF electrolítico 50V               | Euroelectric       | 0,50 €                    | 2          | 1,00 €                       |
| Láminas piezoeléctricos                          | Aliexpress         | 0,30 €                    | 12         | 3,60 €                       |
| cable 1,5 mm2 rojo                               | Mouser electronics | 1,00 €                    | 1          | 1,00 €                       |
| cable 1,5 mm2 negro                              | Mouser electronics | 1,00 €                    | 1          | 1,00 €                       |
| LED de baja potencia blanco 3,7 V                | Mouser electronics | 0,65 €                    | 2          | 1,30 €                       |
| muelles de compresión                            | LeroyMerlin        | 2,55 €                    | 6          | 15,30 €                      |
| Tornillería                                      | LeroyMerlin        | 0,10 €                    | 5          | 0,50 €                       |
| Regleta monofásicas de plástico                  | LeroyMerlin        | 0,65 €                    | 3          | 1,95 €                       |
| celulas fotovoltaicas                            | OTMUNG-ES          | 2,00 €                    | 6          | 12,00 €                      |
| Resistencia 2,2 KΩ                               | Mouser electronics | 0,35 €                    | 1          | 0,35 €                       |
| Interruptor 10 x 10 mm2                          | Mouser electronics | 0,70 €                    | 1          | 0,70 €                       |
| Diodo 625-1N5818-E3                              | Mouser electronics | 0,50 €                    | 4          | 2,00 €                       |
| PCB placa base 3 x 7 cm                          | Mouser electronics | 1,50 €                    | 2          | 4,00 €                       |
| Batería de litio DC 3,7 V                        | Mouser electronics | 5,95 €                    | 1          | 1,00 €                       |
| Modulo Boost DC/DC                               |                    | 2,00 €                    | 1          | 1                            |
| Coste total                                      |                    |                           |            | 82,46 €                      |
| COSTE TOTAL UNIDADES REQUERIDAS CLIE             |                    |                           |            | 104                          |
| COSTES TRABAJADORES EN NÓMINA                    |                    |                           |            | PRECIO/HORA                  |
| HORAS TOTALES                                    |                    |                           |            | PRECIO TOTAL DEPARTAMENTO    |
| PRECIO TOTAL EMPLEADOS                           |                    |                           |            |                              |
| INGENIEROS                                       |                    |                           |            |                              |
| INGENIERO DE DISEÑO HARDWARE (ELECTRÓNICA )      | 10 €               | 130 h                     | 1.300,00 € |                              |
| INGENIERO DE CALIDAD (DEPARTAMENTO DE VALIDACION | 10 €               | 150 h                     | 1.500,00 € |                              |
| INGENIERO DE CAD (DEPARTAMENTO DE CAD )          | 10 €               | 130 h                     | 1.300,00 € |                              |
| TECNICOS DE PRODUCCIÓN                           |                    |                           |            |                              |
| HORAS TOTALES                                    |                    | PRECIO TOTAL DEPARTAMENTO |            |                              |
| OPERARIO 1                                       | 9 € /HORA          | 160 h                     | 1.440,00 € |                              |
| OPERARIO 2                                       | 9 € /HORA          | 160 h                     | 1.440,00 € |                              |
| OPERARIO 3                                       | 9 € /HORA          | 160 h                     | 1.440,00 € |                              |
| TECNICOS EJECUCIÓN EN PLANTA                     |                    |                           |            |                              |
| PRECIO/HORA                                      |                    | HORAS TOTALES             |            |                              |
| 9 € /HORA  |                    | 90 h                      | 810,00 €   |                              |
| 9 € /HORA  |                    | 90 h                      | 810,00 €   |                              |
|  |                    |                           |            | 10.040,00 €                  |
|  |                    |                           |            | PRECIO TOTAL GLOBAL PROYECTO |
|  |                    |                           |            | 18.780,76 €                  |

Tabla 6: Resumen en presupuesto

Cabe destacar que en los precios no está aplicado el tanto por ciento de IVA .<sup>12</sup>

<sup>12</sup> Vease PDF presupuesto para verlo en mayor profundidad y detalle

## **CAPÍTULO 5. Manual de mantenimiento para el usuario**

Para no favorecer el desgaste mecánico de las mismas se deberá realizar una revisión anual de las mismas para comprobar el deterioro mecánico de los elementos:

Algunos de los elementos críticos que podrían tener desgaste mecánico durante su vida útil son los muelles que conectan la capa superior con la inferior, se deberán analizar la calidad de los mismos y si han sufrido deterioro se deberán substituir por otros.

Los piezoeléctricos tienen una vida útil aproximadamente de 5 años, por lo tanto para no llegar al límite, se deberá substituir cada 4 años las 12 láminas de la baldosa por otros nuevos.

Respecto la parte electrónica hay algunos componentes pasivos que podrían verse perjudicados con el paso del tiempo, por eso se estima un calendario preventivo para los mismos sin que se espere a que deje de funcionar.

En cuanto a los condensadores, se estima que la vida útil de un electrolítico depende de la humedad y temperatura donde trabaje, ya que con la temperatura estos se secan y pierden capacidad en la mayoría de los casos, se notan porque se hinchan y/o el plástico q los recubre se contrae. Se calcula que después de 10.000 h, sería el momento ideal para substituirlos. Por otros de 10 microFaradios.

## **CAPÍTULO 6.CONCLUSIONES**

### **6.1 CONCLUSIONES RESPECTO AL PROTOTIPO**

- Mediante la elaboración del prototipo hemos podido comprobar que es posible generar energía eléctrica de una forma limpia y sostenible y en consecuencia dejar de depender de las multinacionales eléctricas, aunque sea de forma parcial.
- Durante la elaboración del proyecto se ha podido enriquecer los conocimientos de electrónica de forma notable debido a los múltiples experimentos realizados con elementos pasivos e instrumentación electrónica.
- En el presente trabajo se decidió utilizar el sensor PZT-5, el cual es el por sus características físicas es el más acorde para la generación de energía, ya que este presenta normalmente especificaciones superiores en cuanto a constantes piezoeléctricas y factores de acoplamiento.
- Se llegó a la conclusión de que la mejor forma de conectar las láminas piezoeléctricas es en paralelo para favorecer el rendimiento del mismo.
- El área transversal del piezoeléctrico es otro punto que toma relevancia a la hora de construir un modelo como este, ya que durante las pruebas realizadas se encontró que un sensor con un área pequeña presenta un mejor funcionamiento que uno de área grande, ya que estos generan mayores voltajes y menor capacitancia, de igual forma al ser más pequeños son más gruesos, es por esto que se hacen los más adecuados para generar el mayor diferencial de potencia posible, sin embargo el mercado en el país es muy reducido en cuanto a materiales piezoeléctricos, complicando la búsqueda del mejor sensor, a pesar de esto finalmente se logra utilizar sensores piezoeléctricos de diámetro.
- Después de varias pruebas realizadas con diferentes condensadores se deciden utilizar condensadores electrolíticos ya que estos permiten grandes valores de capacitancia, en el orden de los micro faradios, haciendo de igual forma que su tiempo de carga y descarga sea el indicado, en comparación con condensadores con valores de capacitancia más bajos, que estén en el orden de los nano faradios o pico faradios.

## **6.2 CONCLUSIONES RESPECTO AL PROYECTO CLIENTE**

- Después de realizar el estudio económico podemos estimar que la empresa IKEA podría aumentar su independencia energética en un 4 % a corto plazo e incrementándose progresivamente a medio largo plazo, además, la inversión se recuperaría en aproximadamente meses debido al ahorro en la factura de la luz .
- La empresa se convertiría en ser de las primeras multinacionales que apuestas por una tecnología limpia y sostenible que podría ser un precedente que impulse a otras empresas a animarse a realizar proyectos similares.
- Cosas a mejorar en el actual proyecto:
  - Con un presupuesto más adecuado se hubiera utilizado un tipo de piezoeléctrico más eficiente en términos energéticos, pero se correspondería con un valor final en términos económicos notablemente más alto.

## CAPÍTULO 7. Bibliografías

### PIEZOELECTRICIDAD

[1] «A Short History of Ferroelectricity». Talari.com. 4 de diciembre de 2009. Consultado el 4 de mayo de 2016.

[2] ↑ Brewster, David (1824). «Observations of the pyro-electricity of minerals». *The Edinburgh Journal of Science* 1: 208-215.

### CONDENSADORES

[3] El efecto de los condensadores no ideales. Documento técnico de Murata.

[4] Glenn Zorpette (enero de 2005). «Super Charged: A Tiny South Korean Company is Out to Make capacitors Powerful enough to Propel the Next Generation of Hybrid-Electric Cars». *IEEE Spectrum*. 42 No. 1. Archivado desde el original el 22 de octubre de 2007.

[5] Electrochemistry Encyclopedia: Electrochemical capacitors; Their Nature, Function, and Applications

### VALIDACION PRODUCTOS ELECTRONICOS

[6] Callister, W. D. *Fundamentals of Materials Science and Engineering*, 2nd ed. Wiley & Sons. pp. 252.

[7] Riehle, Manfred & Elke Simmchen. Dt. Verlag für Grundstoffindustrie Stuttgart, ed. *Grundlagen der Werkstofftechnik* (en alemán) (2. edición). p. 250.

[8] Orowan Bowing Archivado el 28 de septiembre de 2011 en Wayback Machine.

### IKEA SABADELL

[8] «IKEA». *Deutsche Welle*. 7 de diciembre de 2020. Consultado el 25 de febrero de 2021.

[9] «IKEA Group Yearly Summary». Consultado el 15 de febrero de 2016.

[10] «Diario Cinco Días». Consultado el 29 de mayo de 2014.

## **CAPÍTULO 8 -ANEXO**

Para el actual trabajo tengo el consentimiento expreso de las empresas mencionadas en el mismo incluyendo la correspondiente información e imágenes sensibles.