



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Diseño, desarrollo y prototipo de un dispositivo de medición de CO₂ para espacios interiores

Design, development and prototyping of a CO₂ measurement device for indoor spaces

Autor/es

Javier Gómez Carreño

Director/es

Pedro Abad Martín
Juan Antonio Tejero Gómez

Titulación del autor

Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto

ESCUELA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

2021

I. Resumen.

Diseño, desarrollo y prototipo de un dispositivo de medición de CO₂ para espacios interiores.

El proyecto que a continuación se expone surge del contexto actual en el que multitud de espacios se han de adaptar a las consecuencias de la pandemia producida por el virus SARS-CoV-2. Este virus, causa en los seres humanos la enfermedad COVID-19 y la propagación del mismo tiene lugar, principalmente, por medio de secreciones respiratorias. Es por ello que se plantean estos **objetivos** en torno a la definición del proyecto:

- *Facilitar la gestión del riesgo de contagio en espacios interiores.*
- *Diseñar, desarrollar y fabricar el prototipo de un medidor de CO₂.*
- *Realizar el diseño del circuito eléctrico y programación para el prototipo.*
- *Realizar el desarrollo del producto hasta un prototipo formal y funcional.*
- *Ha de ser optimizado reduciendo su coste en la medida de lo posible.*

El proceso de trabajo se orienta en torno a la **metodología Double Diamond** (desarrollada a comienzos de este siglo por el Design Council, UK). Esta metodología de diseño e innovación plantea la división del proyecto en cuatro fases, dos convergentes y dos divergentes (las cuales se desglosarán más adelante):

- | | |
|------------------------------|---|
| - Fase 1. "DISCOVER". | <i>Investigación y análisis</i> |
| - Fase 2. "DEFINE". | <i>Extracción de conclusiones y acotado</i> |
| - Fase 3. "DEVELOP". | <i>Generación de conceptos</i> |
| - Fase 4. "DELIVER". | <i>Desarrollo final</i> |

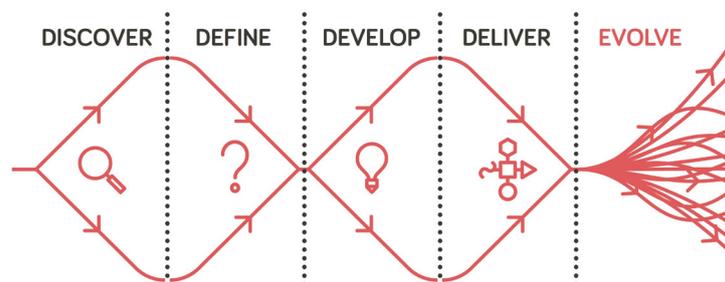


Figura 1. Diagrama double diamond.

Tal y como se expone en los objetivos, el **resultado principal** del proyecto ha de ser la fabricación de un prototipo formal y funcional con su pertinente desarrollo y documentación del mismo.

II. Índice.

A continuación se expone el índice de la **Memoria**.

En el documento complementario de **Anexos** se expone de un modo extendido el proceso realizado, así como documentos complementarios para la comprensión del desarrollo y las decisiones tomadas.

I. Resumen.	2
II. Índice.	3
III. Introducción.	4
IV. Secciones.	5
Fase 1: Investigación y análisis.	5
1.0. Introducción: Covid-19 y medición de CO ₂ .	
1.1. Análisis funcional.	
1.2. Análisis de entorno.	
1.3. Análisis de usuarios.	
1.4. Estudio de mercado.	
1.5. Análisis de componentes.	
Fase 2: Conclusiones y acotado.	12
2.1. Conclusiones.	
2.2. Acotado del proyecto.	
Fase 3: Generación de conceptos.	15
3.1. Análisis formal.	
3.2. Exploración formal.	
3.3. Prototipos rápidos.	
3.4. Propuestas conceptuales	
3.5. Ponderación y decisión.	
Fase 4: Desarrollo final.	23
4.1. Estudio de mercado: componentes.	
4.2. Prototipo funcional.	
4.3. Estudio de fabricación.	
4.4. Prototipo formal.	
4.5. Secuencia de uso.	
4.6. Futuras decisiones.	
V. Conclusiones.	30
VI. Referencias y bibliografía.	31

III. Introducción.

Desde el Departamento de Ingeniería Eléctrica se pretende desarrollar un dispositivo para medir el CO₂ de las aulas, laboratorios despachos y seminarios. La finalidad es obtener un dispositivo de bajo coste que permita cumplir las expectativas sanitarias actuales en cuanto al control de la acumulación de aerosoles en los espacios cerrados de la Universidad.

Al tener su origen en un área y ser enfocado su desarrollo desde la perspectiva de diseño, se busca demostrar la posibilidad de **colaboración** entre distintas áreas de cara a la ejecución de un trabajo final. Tratando de compartir conocimientos durante el desarrollo que nos permitan adquirir capacidades para abordar nuevos proyectos futuros.

Antes se ha mencionado la utilización de la **metodología Double Diamond**. Pero, cabe destacar también la utilización de diversos enfoques metodológicos y herramientas impartidas en el Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto, las cuales se comentarán más adelante.

A continuación se muestra el **diagrama de Gantt** seguido durante el desarrollo del proyecto:

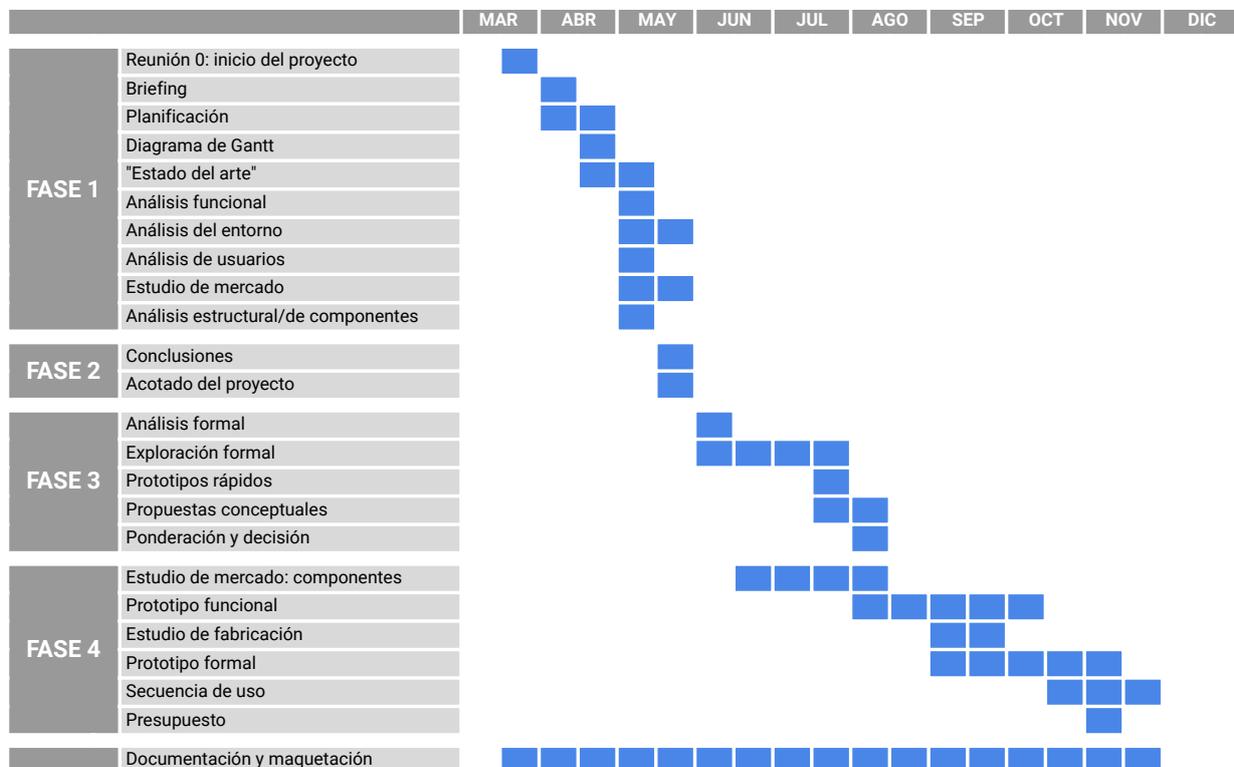


Figura 1. Diagrama de Gantt del proyecto.

Fase 1. Fase 1. Fase 1. Fase 1. Fase 1.
Fase 1. Fase 1. Fase 1. Fase 1. Fase 1. Fase
1. Fase 1. Fase 1. Fase 1. Fase 1. Fase 1

Investigación y análisis.

- 1.0. Introducción: Covid-19 y medición de CO2.
 - 1.0.A. Estudio normativas.
- 1.1. Análisis funcional.
- 1.2. Análisis de entorno.
- 1.3. Análisis de usuarios.
- 1.4. Estudio de mercado.
 - 1.4.A. Tabla estudio de mercado.
- 1.5. Análisis de componentes.

1.0. Introducción

Covid-19 y medición de CO₂

Vivimos en estos años una situación extraordinaria a escala global debida a la pandemia producida por el virus SARS-CoV-2. Este virus, causa en los seres humanos la enfermedad COVID-19 y la propagación del mismo tiene lugar, principalmente, por medio de secreciones respiratorias.

La transmisión por aerosoles puede producirse, sobre todo, en espacios interiores, en los que hay mucha gente y que están mal ventilados. Si en esos espacios hay personas infectadas durante mucho tiempo, estas microgotas respiratorias, llamadas aerosoles, pueden permanecer en el ambiente e infectar a otras personas de la misma estancia, aunque no estén tan cercanas a las personas infectadas. Esto puede ocurrir en reuniones de amigos o familiares, restaurantes, clases de gimnasia, oficinas u otros lugares, sobre todo si no se usa mascarilla, no se limita el aforo ni se realiza la ventilación necesaria.

Así pues, esta pandemia ha modificado considerablemente el desarrollo de actividades en espacios interiores alrededor de muchos países. Alzándose los medidores de CO₂ como facilitadores de la gestión de estos entornos. Son productos sencillos que son capaces de dar una medición de la cantidad de dióxido de carbono en el aire, lo que nos ayuda a tener una referencia acerca de la acumulación de aerosoles, dado que el CO₂, principalmente, proviene de la respiración de los individuos presentes.

Es cierto que se trataba de un producto ya existente, algo más orientado a entornos profesionales en los que era necesaria la monitorización de las variables físicas de un espacio. Pero, dada la solución que este tipo de dispositivos suponen para este problema, han surgido multitud de diseños diversos.



Figura 1. Ejemplos de medidores de CO₂ en el mercado.

1.1. Análisis funcional

Con la intención de identificar y enunciar de un modo claro y conciso las funciones del producto, así como descartar aquellas que no deberían ser incorporadas al producto, se plantea este análisis.

En este caso, se va a emplear la categorización de funciones según importancia para acotar el producto por medio de este análisis funcional. Por lo tanto, atendiendo a esta clasificación se podrían definir estas funciones del medidor de CO₂ en desarrollo:

Funciones principales o fundamentales.

- Facilitar la gestión del riesgo de contagio por medio de aerosoles del Covid-19 en espacios interiores gracias a la medición de la concentración de CO₂ en la estancia.

Se define la función principal de modo que facilite la identificación de aquellas funciones auxiliares. Pero también ayudando a detectar aquellas funciones que productos similares incorporan y no entran en consonancia con la definición de función principal planteada.

Funciones secundarias o auxiliares.

- Facilitar las mediciones realizadas en tiempo real al usuario.
- Mostrar valores registrados para facilitar la previsión y actuación.
- Alertar al usuario si el riesgo aumenta (visual y auditiva).
- Registrar dichas mediciones para su análisis.
- Garantizar el flujo de datos para una gestión y análisis más exhaustivos.

Durante el proceso se ha tenido en cuenta cuáles son los parámetros ambientales más importantes de cara a facilitar la gestión del riesgo de contagio. Existe en el mercado una masiva presencia de sensores de temperatura y humedad incorporados en los medidores de CO₂. Por ello, se busca entender si existe una correlación directa entre el riesgo de contagio y los niveles de temperatura y humedad de una estancia.

Multitud de productos en el mercado cuentan con medición de: temperatura, humedad, CO, TVOC (total volatile organic compounds), HCHO (formaldehído, CH₂O) o PM_{2,5} (materia particulada 2,5 micrómetros). Estas medidas paralelas se pasan a considerar gadgets (*ver Anexo 1.1. A. Funcional, pág. 9*), ya que no consisten en funciones secundarias, sino en segundas funciones. No complementan a la principal, aunque realicen mediciones. Ya que las mediciones que realizan no están relacionadas con el riesgo de transmisión de SARS-CoV-2 por medio de aerosoles.

1.2. Análisis de entornos

Se debe entender en el uso de un producto la interacción entre el mismo, el usuario y el entorno. Es por ello que de cara a diseñar es muy importante observar aquellos contextos de uso en los que se busca plantear una solución.

Entonces, para buscar dicha solución, debemos partir por:

¿En qué lugares es necesario controlar la acumulación de aerosoles?

- Espacios interiores
- Con afluencia de usuarios



Figura 1. Ejemplos de entornos.

Así pues, dentro de la definición de “espacio interior con afluencia de usuarios” entran numerosos entornos variados. La definición es realmente tan amplia que llega a englobar lugares con fines muy distintos: centros educativos, sanitarios, deportivos, medios de transporte, establecimientos comerciales, negocios de restauración, etc.

Aunque, por otro lado, teniendo en cuenta el producto a diseñar, se pueden enumerar los aspectos que **todos estos entornos** comparten:

- La estancia cuenta con **puertas y ventanas** (o instalación de ventilación).
- Distintas personas **entran, interactúan y salen** a lo largo del día.
- Al menos un individuo **responsable del entorno** (profesor, encargado, etc).

Además, se ha de tener en cuenta que hay **varios parámetros** que variarán en cada entorno, aumentando o disminuyendo el riesgo de contagio:

- **Nivel de afluencia:** mayor afluencia > mayor riesgo de contagio.
- **Tamaño del espacio:** mayor volumen del espacio > menor riesgo de contagio.
- **Tipo de actividad:** silencio > menor riesgo de contagio.
- **Ventilación del entorno:** mejor ventilación > menor riesgo de contagio.

Tras reflexionar al respecto con la información recopilada, se observa que el riesgo de contagio depende principalmente de factores ajenos al propio producto. Normalmente depende de la arquitectura del entorno, así como de la actividad que los usuarios realizan en el mismo y sus condiciones (*ver 1.0. Introducción, pág. 4*).

1.3. Análisis de usuarios

En el desarrollo de un proyecto de diseño es necesario llegar a dar satisfacción a las necesidades y exigencias del usuario empleando las herramientas adecuadas. Es por ello que, al atender a las necesidades del usuario, se deben estudiar el contexto y las características del mismo para dar lugar a una solución eficaz.

Cabe destacar que usuario es todo individuo que entra en relación con un producto dentro de sus diferentes ámbitos de uso, no es sólo aquel que lo emplea para el desarrollo de sus funciones principales.

(López Forniés, I. et al., 2016, p. 61)

Así pues, a la hora de diseñar el producto se han de tener en cuenta a diversos usuarios potenciales. Aunque se puede entender que, al hablar del medidor de CO₂, varios de estos perfiles convergen en ocasiones en un mismo individuo. Es decir, si tomamos como ejemplo un aula de docencia:

- **El profesor:** ejerce como usuario operador (al cargo del medidor de CO₂), como usuario beneficiario (comparte el beneficio directo del producto) y como usuario contra-beneficiario (comparte el riesgo potencial del uso).
- **El alumnado:** ejerce como usuario beneficiario (comparte el beneficio directo del producto), como usuario contra-beneficiario (comparte el riesgo potencial del uso) y como usuario para-usuario (ya que es el grupo que potencialmente podría influir negativamente sobre el producto).
- **La organización:** ejerce como usuario consumidor (al realizar la compra y basar su decisión en factores como el coste).
- **Los trabajadores de la empresa productora:** ejercen como usuarios productores (al intervenir en los distintos procesos relacionados).

Este es un ejemplo de clasificación en un ámbito concreto, pero realmente se puede ver un patrón común en cuanto a perfiles de usuarios que rodean este producto en sus potenciales entornos de uso. Por lo tanto, se puede hablar de:

- **Encargado:** usuario operador, beneficiario y contra-beneficiario.
- **Usuario medio:** usuario beneficiario, contra-beneficiario y para-usuario.
- **Comprador:** usuario consumidor (podría tratarse del propio encargado).
- **Trabajadores:** usuarios productores.



Figura 1. Ejemplos de usuarios.

1.4. Estudio de mercado

Con el objetivo de observar qué tipo de medidores de CO₂ se pueden encontrar en el mercado, así como entender qué características técnicas presentan dependiendo de su gama, se plantea este estudio. La pretensión inicial es desarrollar un producto a la altura de la gama media, pero optimizando su coste de fabricación. Por ello, se realiza una búsqueda de productos en diversos portales de venta, tanto en profesionales en electrónica como en otros menos específicos, buscando medidores de CO₂ con funciones y precios variados.

Por otro lado, se seleccionan los parámetros que pueden resultar interesantes de cara al análisis. Aquellos finalmente elegidos son:

- Aspectos generales: nombre, fabricante, dimensiones, peso, precio.
- Funcionalidades: mediciones que realiza (CO₂, CO, T^a, RH; junto al medio para realizarla, precisión y resolución de la misma), tipo de conectividad para el flujo de datos, si lo tiene (Bluetooth, Wi-Fi, USB u otro).
- Otros aspectos como: tipo de pantalla, tipo de alimentación, otras mediciones... Así pues, se cumplimenta la tabla con toda la información disponible recopilada.

ID PRODUCTO	MARCA (no siempre fabricante)	DIMENSIONES (mm)	PESO (kg)	PRECIO (€)	REGISTRO de mediciones en el tiempo	CONECTIVIDAD (flujo de datos)			PANTALLA	Tipo de ALIMENTACIÓN	
						Bluetooth	Wi-Fi	USB port			
2	CO260	EXTECH inst.	200 x 70 x 57	0,19	618,01€	Sí	No	No	Sí	LCD display	4 x AA bat.
10	TACKLY-03	FMF Technology	117 x 114 x 78	0,25	99,99€	No	No	No	No, sólo carga	LCD display	bat. litio 3000mAh
20	Detector de Gas	SODIAL	75 x 75 x 50	0,074	9,71€	No	No	Sí	No, sólo carga	No	AC adapt.

ID	PRECIO (€)	MEDICIONES										Tipo de ALERTA
		Medición CO ₂		Medición CO		Medición Temperatura		Medición Humedad		Min/Max display (CO ₂)		
		Tipo	Precisión y resolución	Tipo	Precisión y resolución	Tipo	Precisión y resolución	Tipo	Precisión y resolución			
2	618,01€	NDIR	±30ppm+5% y 1ppm	Sí	±20% y 1ppm	Termistor	±0,6°C y 0,1°C	S. Capacitivo	±3%RH y 0,1%RH	Sí	Visual y auditiva	
10	99,99€	NDIR	-	No	-	Termistor	-	S. Capacitivo	-	No	Visual	
20	9,71€	NDIR	-	No	-	Termistor	-	No	-	No	No especificado	

Figura 1. Fragmento ilustrativo de la tabla realizada para el Estudio de Mercado.

En este fragmento se pueden observar los parámetros comentados que se han tenido en cuenta. La selección realizada cuenta con 20 productos (para ver el estudio en mayor profundidad ver Anexos: 1.4. Estudio de mercado, pág 16).

Tras la organización de la información, se interpretan los datos presentes, de cara a extraer conclusiones que guíen los siguientes pasos. Cabe destacar que no se trata de un estudio estadístico exhaustivo, ya que la muestra tomada es limitada y no abarca la totalidad de productos que se encuentran en el mercado. Sino que por medio de esta limitada selección se pretenden extraer conclusiones acerca de lo más y menos deseable a trasladar a nuestro producto, así como detectar las diferencias que presentan en el mercado en relación al precio del producto. Estas conclusiones condicionarán las decisiones de la fase 2 en la que el proyecto será acotado.

1.5. Análisis de componentes

Este análisis se realiza paralelamente al estudio de mercado, mediante el cual se ha pretendido observar qué tipo de medidores de CO₂ se pueden encontrar en el mercado dependiendo de su gama. Pero, el objetivo ahora es contemplar, dentro de cada tipología de componentes, las diversas opciones que hay en el mercado.

El primer paso es realizar un diagrama que permita entender de un modo más directo los distintos componentes que un medidor de CO₂ convencional lleva incorporados (Figura 1). Para el desarrollo de este diagrama, se tiene en cuenta el análisis funcional realizado.

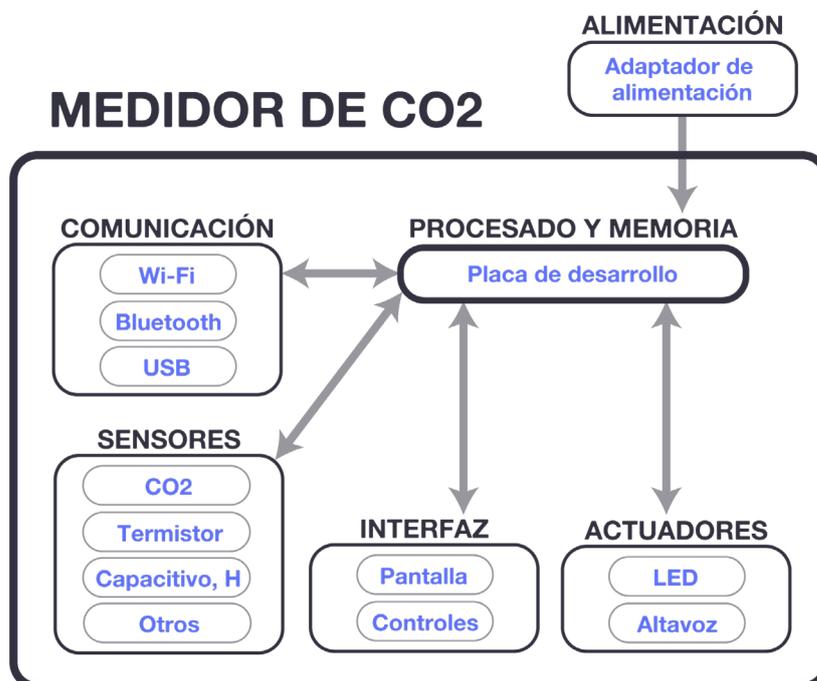


Figura 1. Diagrama componentes

En el Anexo 1.5. A. Componentes (pág 20) se expone este análisis, en el cual se exploran las opciones disponibles en el mercado en torno a sensores de CO₂, pieza central del medidor.

SENSORES*

- Sensor CO₂
- Ventilador
- Termistor *
- Sensor capacitivo de humedad *
- Otros sensores*

* No se comentan en profundidad por descarte en A. Funcional.

PROCESADO, MEMORIA Y ALIMENTACIÓN E.

- Placa de desarrollo (SBC)
- Baterías



INTERFAZ, ACT.

- Pantalla
- LEDs
- Zumbador

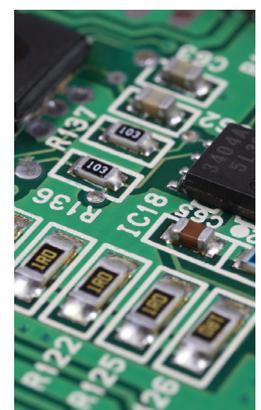
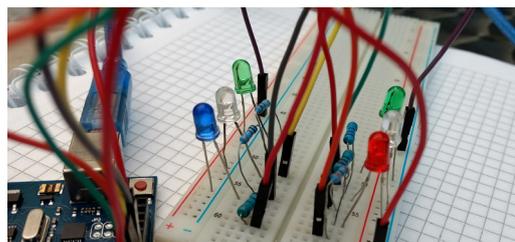


Figura 2. Componentes.

Fase 2. Fase 2. Fase 2. Fase 2. Fase 2.
Fase 2. Fase 2. Fase 2. Fase 2. Fase 2. Fase
2. Fase 2. Fase 2. Fase 2. Fase 2. Fase 2.

Conclusiones y acotado.

- 2.1. Conclusiones.
- 2.2. Acotado del proyecto.

2.1. Conclusiones

2.1.1. Funciones del producto

Función principal

- Facilitar la gestión del riesgo de contagio por medio de aerosoles del Covid-19 en espacios interiores gracias a la medición de la concentración de CO₂ en la estancia.

Funciones secundarias

- Facilitar las mediciones realizadas en tiempo real al usuario.
- Mostrar valores registrados para facilitar la previsión y actuación.
- Alertar al usuario si el riesgo aumenta (visual y auditiva).
- Registrar dichas mediciones para su análisis.
- Garantizar el flujo de datos para una gestión y análisis más exhaustivos si el usuario lo desea.

2.1.2. Especificaciones de diseño

Críticas

- Transportabilidad. Dimensiones y peso manejables.
- Información y notificación perceptible (ppm de CO₂).
- Cumplir función principal, al precio más bajo posible.

Deseables

- Adaptabilidad al entorno (posicionamiento) y versatilidad.
- Estética apta para diversos destinos.
- Fácilmente comprensible/usable. Diseño de mandos y menús.
- Resistencia al impacto por caída.
- Diseño optimizado (apilabilidad, packaging, etc.).
- Montaje intuitivo y ergonómico (producción).
- No susceptible a vandalismo, impidiendo un mal uso del producto.
- Empleo de canales de comunicación variados para alertar al usuario. Siempre que el coste de su inclusión sea pertinente.
- Prescindir de mediciones si no apoyan a la función principal.
- Transparencia hacia el usuario sobre especificaciones técnicas.
- Transmitir seguridad de un modo amable.
- Ser perceptible sin llamar excesivamente la atención.

2.2. Acotado del proyecto

Siguiendo la planificación del proyecto se debe avanzar el prototipo funcional con suficiente margen. Por ello, se limitan los componentes que aparecerán en el producto en base a las conclusiones extraídas a lo largo de la Fase 1 y los objetivos del proyecto (*Figura 1*). Para la generación de conceptos podrán aparecer en los mismos aquellos componentes expuestos previamente:

- Placa de desarrollo (SBC).
- Pantalla.
- Sensor NDIR.
- Diodos LED.
- Zumbador.
- Ventilador.
- Elementos auxiliares (R, cables, etc).

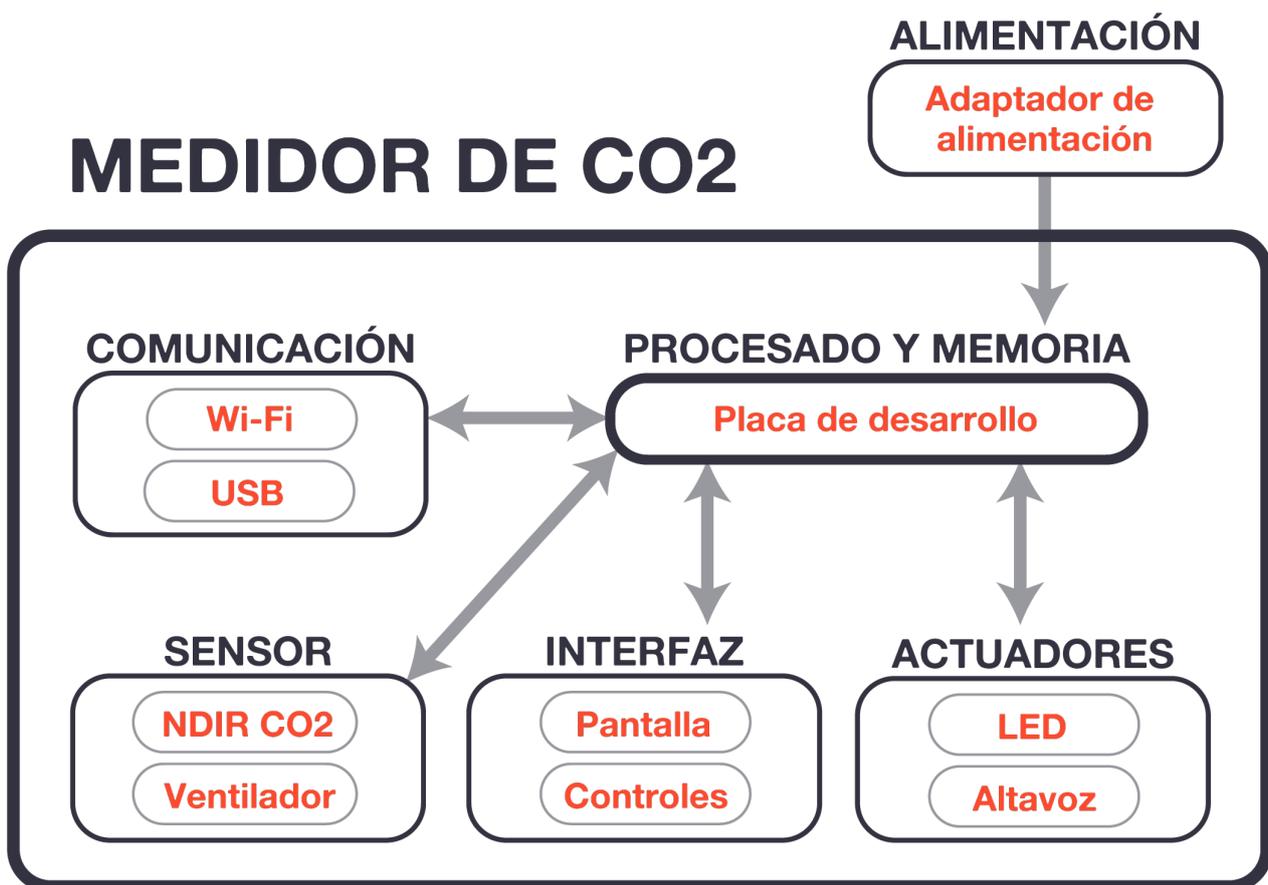


Figura 1. Diagrama componentes.

Fase 3. Fase 3. Fase 3. Fase 3. Fase 3.
Fase 3. Fase 3. Fase 3. Fase 3. Fase 3. Fase 3.
Fase 3. Fase 3. Fase 3. Fase 3. Fase 3. Fase 3.

Generación de conceptos.

- 3.1. Análisis formal.
- 3.2. Exploración formal.
- 3.3. Prototipos rápidos.
- 3.4. Propuestas conceptuales
- 3.5. Ponderación y decisión.

3.1. Análisis formal.

Al estudiar el alcance de un diseño de producto, siempre hablamos de necesidades del usuario y de la satisfacción de las mismas por medio de las funciones que incorpora. Pero, estos aspectos, nunca existen por sí solos, sino que guardan estrecha relación con otros: como la forma que tiene. Es por ello que se plantea este análisis con el objetivo de entender qué relación guardan en este tipo de productos su forma y su función.

Así pues, para el mismo, han sido seleccionados algunos de los productos analizados durante el Estudio de Mercado (ver Anexos, 1.4. Estudio de mercado, pág. 16). Se ha realizado la selección con la intención de incluir soluciones formales variadas. A continuación se exponen las conclusiones del estudio (el análisis se puede encontrar en los Anexos, 3.1. A. Formal, pág. 28).



Figura 1. Producto A.



Figura 2. Producto B.



Figura 3. Producto C.



Figura 4. Producto D.

Así pues, se listan a continuación aquellas conclusiones extraídas del análisis de estos productos, de cara a tenerlas en cuenta en la exploración formal:

- Los **materiales, colores y texturas** ayudan a diferenciar las diferentes zonas del producto. Dando a entender al usuario cómo ha de ser usado el mismo. Pero también logrando llamar la atención en una zona concreta.
- La **relación entre las piezas** del producto (fabricación y montaje) dan pinceladas al usuario acerca de cuán complejo es aquello que tiene en sus manos.
- Los **estrechamientos** son un modo efectivo de indicar la zona de agarre en productos móviles.
- La **jerarquización** del espacio (en la zona de interacción) es importante para una clara lectura e interpretación del producto.
- La **simplicidad** mal organizada puede llegar a transmitir caos.
- La utilización de **materiales** no convencionales resalta, y puede provocar que se conciban unos valores asociados al producto sólo por su presencia.
- Las **proporciones** nos dan una primera idea de cómo va a ser el uso.
- El **contraste** ayuda a diferenciar partes del producto.

3.2. Exploración formal.

Para tratar de generar alternativas formales variadas y evitar en cierta medida la fijación en los productos observados en los análisis previos, se realizan varios paneles de influencias. Se eligen para ello varios productos con cierta relación: móviles, relojes, discos duros portátiles y, también, medidores de CO₂.



Figura 1. Móviles.



Figura 2. Relojes.



Figura 3. Medidores CO₂.



Figura 4. Discos duros portátiles.

3.3. Prototipos rápidos.

Con la intención de evaluar algunas de las formas propuestas en el apartado anterior, se realizan prototipos rápidos en poliestireno expandido de alta densidad. Se pretende comenzar a concebir desde una vía práctica cómo la forma del producto condicionará aspectos de uso y ergonomía, de cara a ayudar definir propuestas conceptuales a continuación.

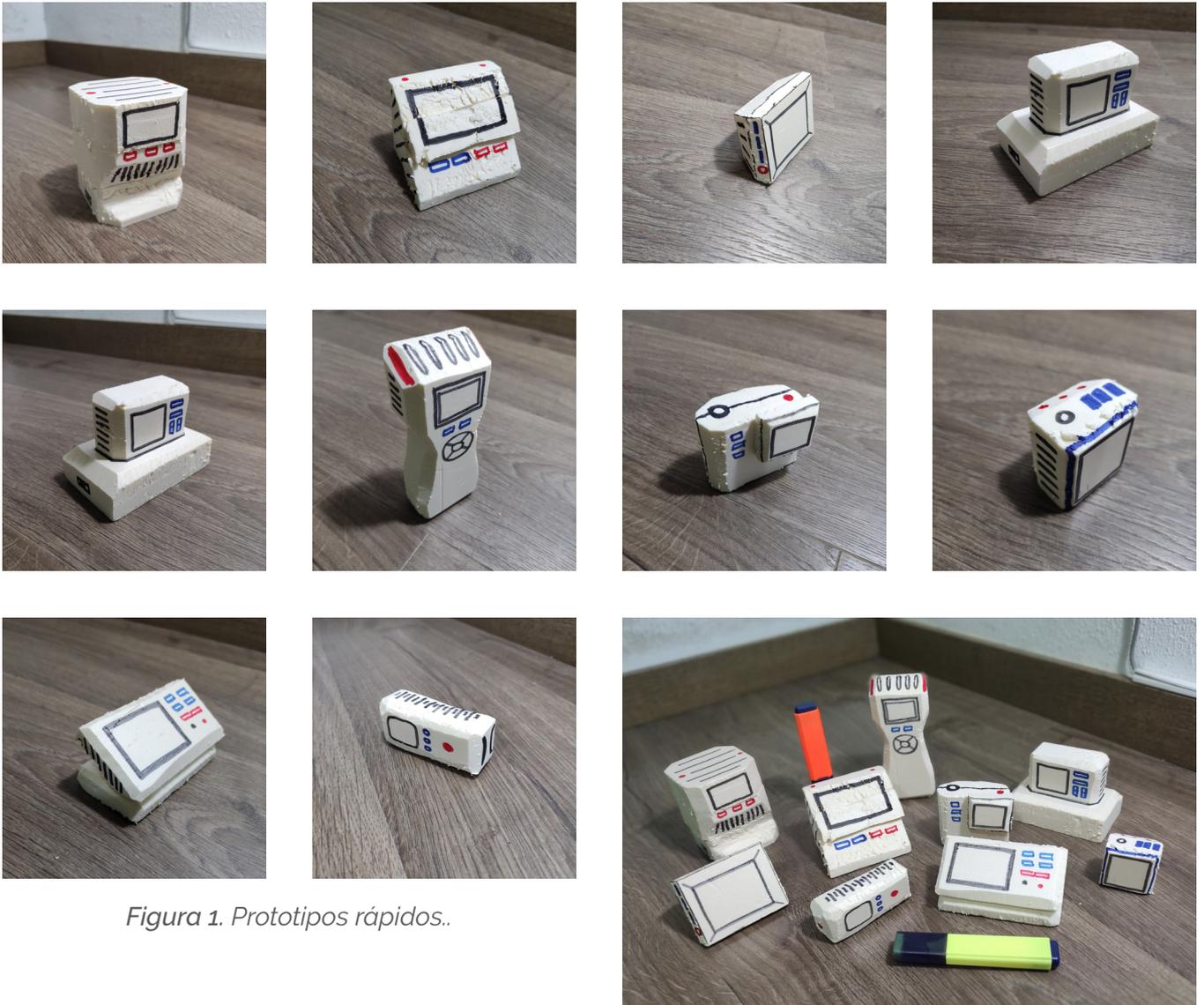


Figura 1. Prototipos rápidos..

3.4. Propuestas conceptuales.

Teniendo en cuenta lo comentado en los apartados anteriores, se procede a generar 3 propuestas conceptuales. Tras ello, se definirán varios parámetros a evaluar entre ellas, con el objetivo de decidir un concepto para desarrollar en profundidad.

Estos conceptos propuestos son:

- **Concepto A.**

EDP Críticas. Económico, sincero y una herramienta portable resistente.

- **Concepto B.**

EDP Críticas. Versátil, cómodamente transportable y fácil de interpretar.

- **Concepto C.**

EDP Críticas. Fácilmente comprensible, intuitivo y sencillo.

Concepto A

Económico - Transparente - Portátil

Se trata de un concepto inspirado en las carcasas que presentan productos como las cámaras GoPro. Mediante un polímero transparente se logra transmitir esa idea de sinceridad, pero a su vez invita a descubrir el producto. Por otro lado, sus posibilidades de anclaje y posicionamiento dan a entender el carácter portátil del producto.

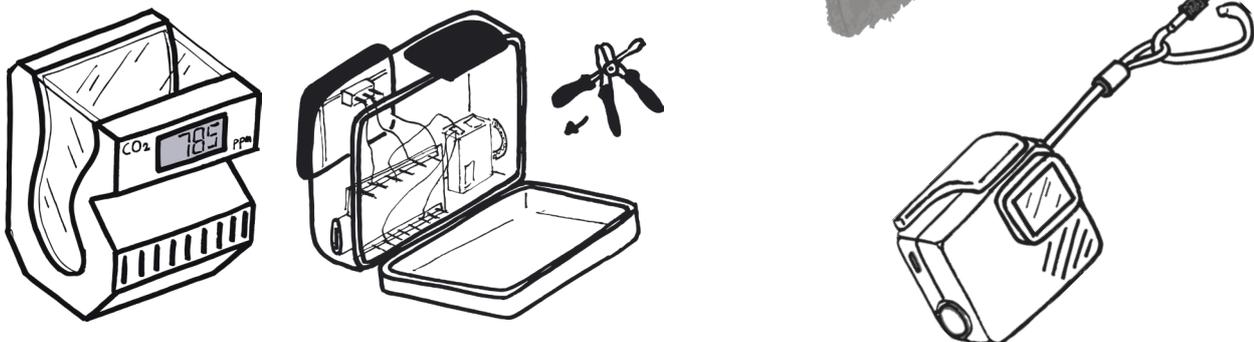


Figura 1. Ilustraciones concepto A.

Concepto B

Versátil - Visual - Portátil

Este concepto busca ser un diseño compacto, fácil de guardar y transportar, pero con una notable presencia visual. Lográndolo por medio de una gran pantalla y una gestión de datos que busca facilitar al usuario (independientemente de su conocimiento) la interpretación de las variaciones del nivel de ppm de CO₂.

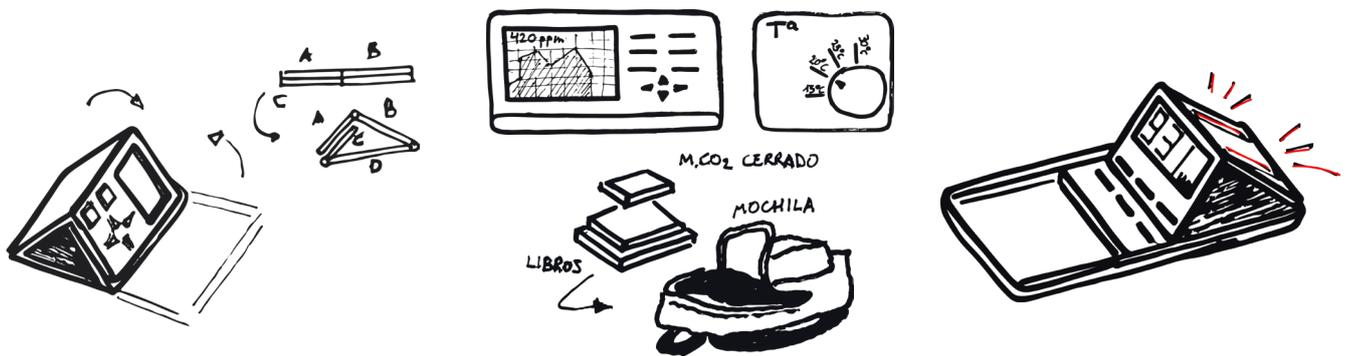
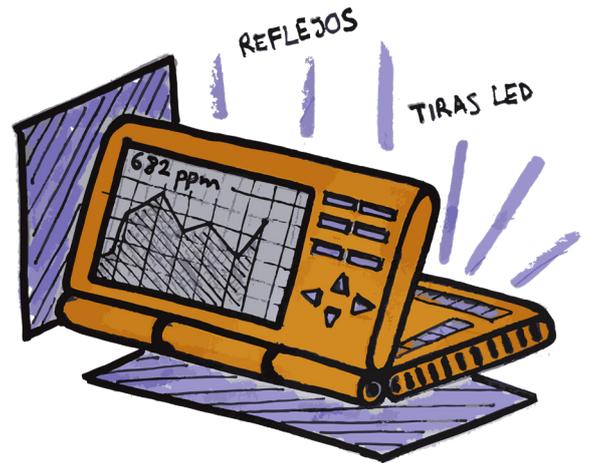


Figura 2. Ilustraciones concepto B.

Concepto C

Sencillo - Visual - Intuitivo

Este concepto está inspirado en las diversas formas que las superficies con información visual han tomado a lo largo de la historia, desde marcos y lienzos a la gran pantalla. Se pretende lograr un producto compacto, sencillo y fácilmente comprensible y usable.

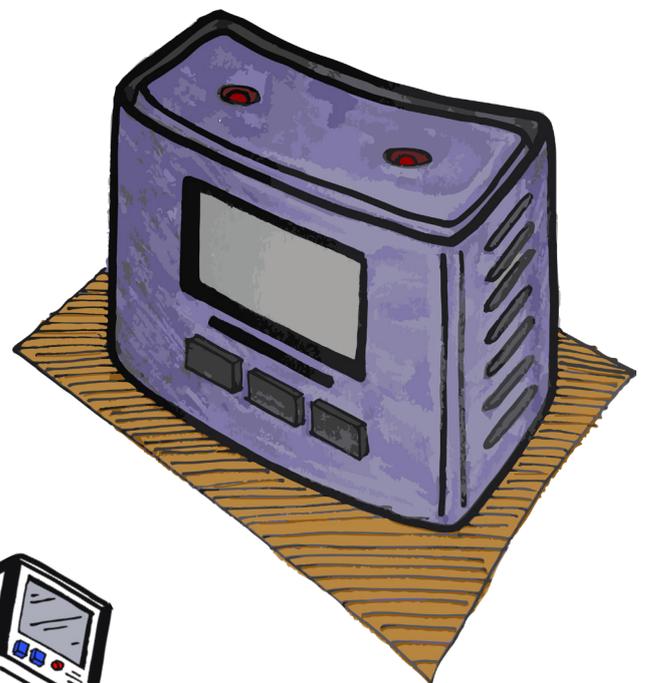
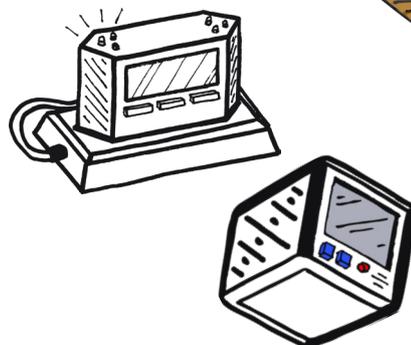
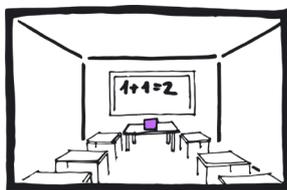


Figura 3. Ilustraciones concepto C.

3.5. Ponderación y decisión.

Como se ha comentado, se exponen ahora los criterios de ponderación que se van a evaluar en las 3 propuestas. Estos criterios han sido fijados teniendo en cuenta el objetivo primordial del proyecto: cumplir la función principal definida, al precio más bajo posible.

Figura 1. Leyenda tabla pond.

Entre ellos, se atiende sobre todo a la repercusión en el precio de aspectos como: nº de componentes, volumen de material a utilizar y dificultad técnica de fabricación.

Pero también van a condicionar la decisión la estética y adaptabilidad de los conceptos.

Leyenda		
Componentes electrónicos	3 pts	El nº de componentes está reducido al mínimo.
	2 pts	El nº de componentes se podría reducir.
	1 pts	Hay componentes que no apoyan las funciones.
Optimización carcasa	3 pts	La cantidad de material y volumen es adecuada.
	2 pts	Se podría optimizar (volumen, nº materiales, etc).
	1 pts	Uso excesivo de material.
Dificultad técnica	3 pts	Fabricación y montaje sencillos.
	2 pts	Fabricación y/o montaje simplificables.
	1 pts	La complejidad eleva su precio considerablemente.
Estética visual	3 pts	Producto visualmente atractivo.
	2 pts	Adecuada al concepto.
	1 pts	Estética no adecuada, ni atractiva.
Adaptabilidad	3 pts	Se adapta a diversas ubicaciones coherentemente.
	2 pts	Cuenta con varias opciones de posicionamiento.
	1 pts	El producto está destinado a un único destino.

Figura 2. Tabla ponderación.

Así pues, el concepto seleccionado es el **Concepto C**.

Este será desarrollado en mayor profundidad durante la siguiente fase del proyecto.

Tabla de ponderación - Elección de concepto						
Conceptos	A	Económico	B	Versátil	C	Sencillo
		Transparente		Visual		Visual
		Portátil		Portátil		Intuitivo
Componentes electrónicos		2		2		2
Optimización carcasa		2		2		3
Dificultad técnica		3		2		3
Estética visual		2		2		2
Adaptabilidad		2		2		3
TOTAL		11		10		13

Fase 4. Fase 4. Fase 4. Fase 4. Fase 4.
Fase 4. Fase 4. Fase 4. Fase 4. Fase 4. Fase 4.
Fase 4. Fase 4. Fase 4. Fase 4. Fase 4. Fase 4.

Desarrollo final.

- 4.1. Estudio de mercado: componentes.
 - 4.1.A. Especificaciones técnicas.
- 4.2. Prototipo funcional.
 - 4.2.A. Evolución diagramas.
 - 4.2.B. Relación componentes.
 - 4.2.C. Código desarrollado.
- 4.3. Estudio de fabricación.
- 4.4. Prototipo formal.
 - 4.4.A. Especificaciones.
- 4.5. Secuencia de uso.
- 4.6. Futuras decisiones.

4.1. E. de Mercado: componentes.

De cara a comenzar el desarrollo del prototipo funcional, se realiza un estudio de mercado para realizar la compra de los componentes presentes en el concepto elegido: SBC, sensor NDIR, zumbador, pantalla, diodo LED y resistencia. Tras el mismo (*Anexos, 4.1. E. Mercado: componentes, pág. 38*), se muestra a continuación la selección realizada:

Estudio de Mercado: Componentes	
Nombre	Precio [€]
SBC (NodeMCU v2)	2,79
NDIR (MH-Z19B)	17,74
OLED (WinWin)	2,41
Módulo Buzzer	1,05
Diodo LED rojo	0,02
Resistencia eléctrica	0,01
TOTAL	24,02€

Así pues, el coste de los componentes electrónicos seleccionados para la fabricación del prototipo asciende a **24,02€**.

Figura 1. Recopilación de componentes elegidos.

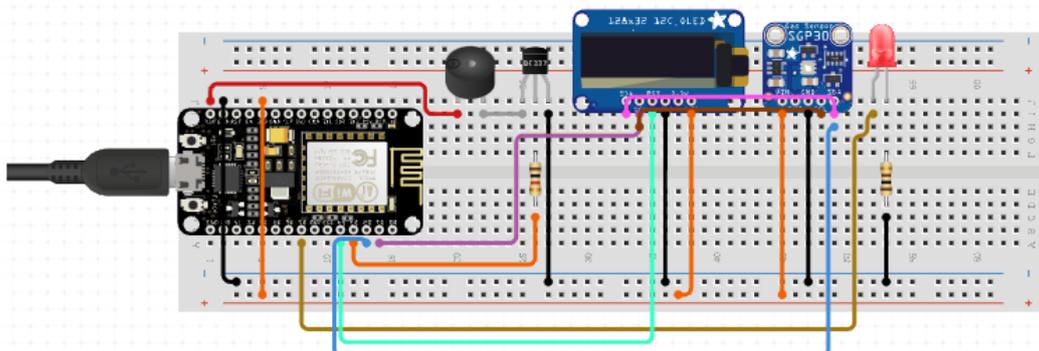


Figura 2. Ilustración esquemática del montaje.

4.2. Prototipo funcional.

Habiendo realizado la compra de los componentes electrónicos seleccionados, se empiezan a realizar las primeras pruebas de componentes (*Figura 1*) y se va avanzando el prototipo (*Figura 2*).

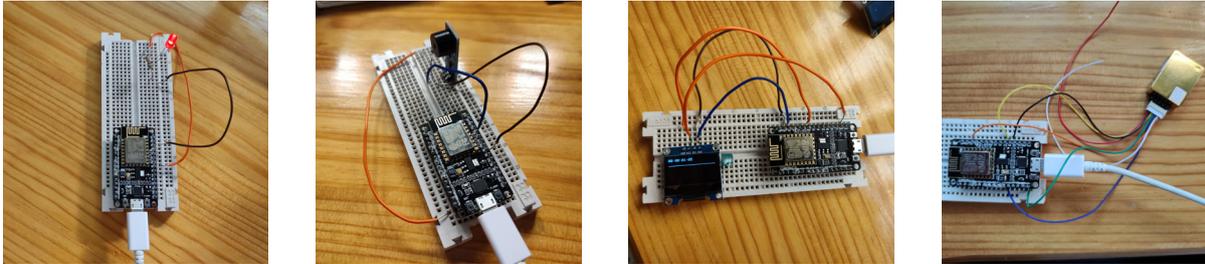


Figura 1. Pruebas iniciales.

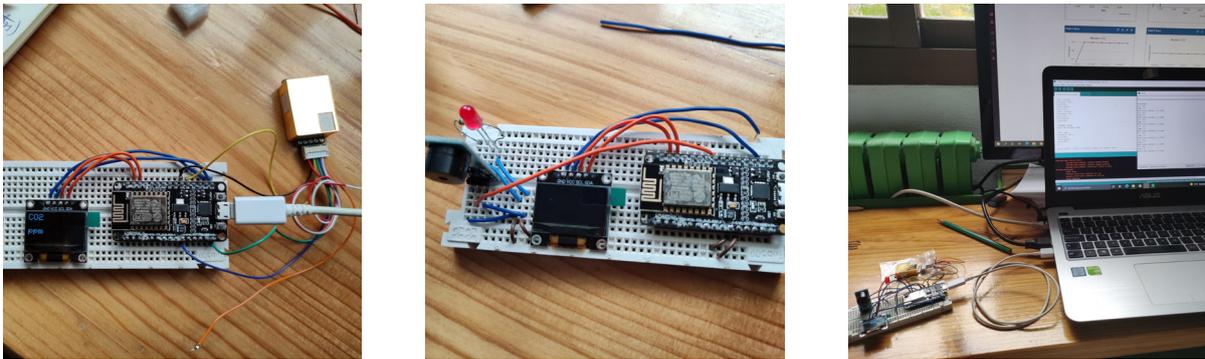


Figura 2. Avances del prototipo.

Durante este proceso, se van estudiando las posibilidades que el conjunto de componentes nos ofrece. Así pues, se empiezan a tomar las primeras decisiones en torno al desarrollo del prototipo:

- **Se elimina el control manual del producto físico.** Con el objetivo de resultar sencillo e intuitivo. Pero también con la intención de dar más protagonismo a la pantalla y al potencial de la gestión de datos para usuarios dedicados.
- **No se incluye un interruptor general en el prototipo.** Dado el contexto de utilización del mismo y aumento de gastos asociados a la modificación del circuito, se decide junto a los directores del proyecto descartar esta opción.

Así pues, este es el resultado del proceso:

- El sensor de CO₂ mide.
- Las mediciones se muestran en la pantalla OLED.
- Las mediciones se envían a la nube.
- Se alerta al usuario vía auditiva y visual.
- Desde la página web se pueden visualizar los datos tomados.

4.3. Estudio de fabricación.

Paralelamente al desarrollo del prototipo funcional, se empieza a desarrollar el plano formal del producto. Para comenzar, se deben tomar algunas decisiones en torno a los materiales y procesos de fabricación a tener en cuenta. Dado que:

- Con la realización de prototipos se plantea un **proceso iterativo** hasta llegar al producto final. En el cual se resuelvan las problemáticas que puedan surgir durante este proceso.
- Se busca que este **prototipo final** se asemeje en la medida de lo posible en materiales, procesos y aspectos formales al futuro producto. Pero entendiendo que el prototipo es en sí mismo parte del proceso que nos llevará a dicho producto final.

Se eligen **materiales poliméricos para la fabricación**, contemplando los distintos tipos de procesos que existen a nuestra disposición. Dados los costes de fabricación asociados a procesos con este tipo de materiales como la inyección de plástico (coste de moldes), se decide que en el proceso de prototipado se van a contemplar principalmente **métodos de fabricación aditiva**. Se exploran las distintas posibilidades (ver Anexos). Por lo tanto, se decide emplear para el prototipo y para el producto final:

PROTOTIPO

- Fabricación: PolyJet. Basado en "material jetting".
- Impresora 3D: Objet EDEN 350V.
- Material: RGD450 (Rigur).
- Material de soporte: FullCure 705 non-toxic gel-like.

En este caso se ha podido acceder al mismo gracias a la colaboración de Jesús Santolaria, profesor del Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación de la EINA. De no haber sido así, se habría optado por métodos más económicos del mercado.

PRODUCTO FINAL *(estimando unas 30ud fabricadas)*

Opción A

- Fabricación: Colada al vacío. Aprovechamiento de las nuevas tecnologías para facilitar la fabricación de moldes. Maestro mediante SLA, fabricación de molde en silicona y colada de resina de poliuretano.
- Material: Resina de poliuretano (poliol + isocionato).

Opción B

- Fabricación: Sinterizado láser (SLS, Selective Laser Sintering). Basado en fusión de cama de polvo.
- Material. Existen distintas opciones, como: poliamidas, poliuretano (termoplástico, elastómero), entre otros. El catálogo depende de los proveedores de materiales, y también de la máquina de fabricación concreta a utilizar. Es por ello que se deja la decisión para más adelante, ya que será el factor económico el mayor condicionante.

4.4. Prototipo formal.

Teniendo en cuenta las proporciones deseadas y la necesidad de dar un espacio interior suficiente a dichos componentes, se van construyendo las piezas. Desde el principio de este proceso se busca realizar la carcasa en 2 únicas piezas: base y tapa.

Por ello, se busca ubicar los componentes electrónicos en la pieza base, para evitar dificultades en el montaje. Para ello, se definen distintos métodos de anclaje de componentes, acorde a las condiciones y posición de cada uno de ellos (ver Anexo 4.4. Prototipo formal, pág. 58)

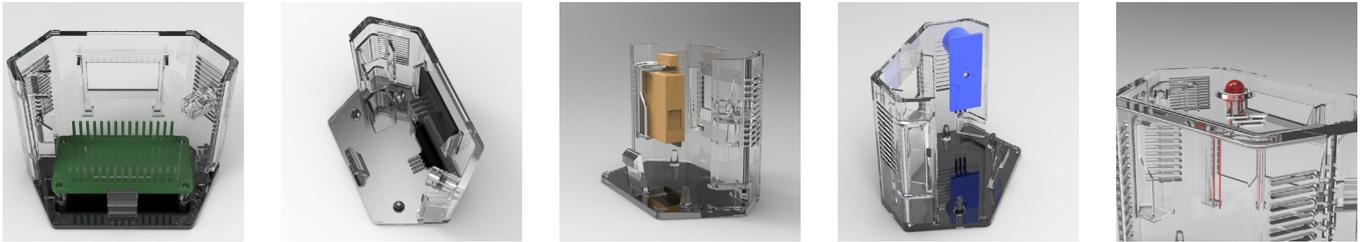


Figura 7. Anclajes de componentes en el interior.

Por otro lado, se plantean soluciones para la unión de ambas partes de la carcasa. Teniendo en cuenta el deseo de permitir al usuario el mantenimiento del producto si fuera necesario, se contemplan dos posibilidades:

- Torretas + *nut pocket*, presente en el anclaje del zumbador (Figura 7)
- Clipaje de piezas

Tras la toma de decisiones, este es el resultado final de las piezas. Los planos se pueden observar en el Anexo 4.4. Prototipo formal, pág. 58.

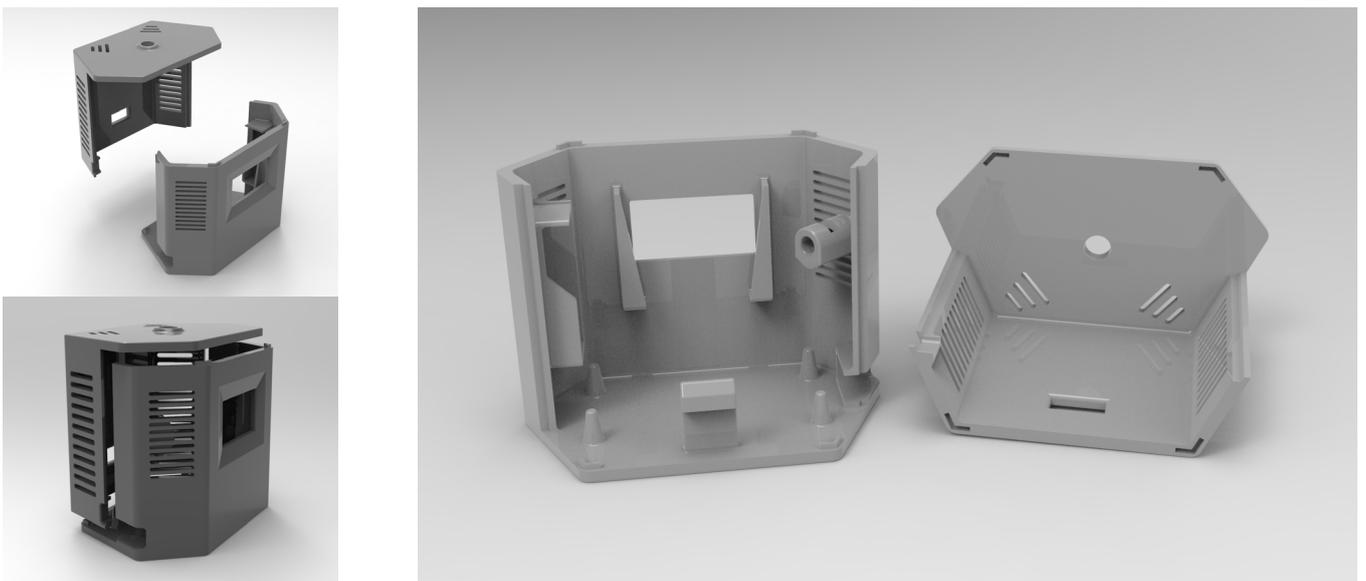


Figura 8. Piezas que conforman la carcasa.

4.5. Secuencia de uso.

En este apartado, con la intención de someter al producto a un examen de usuario, se plantean unas pruebas de uso del prototipo final. Se trata de: validar el correcto funcionamiento y satisfacción de las funciones, así como recibir feedback en cuanto a cualquier aspecto reseñable que el usuario detecte.

Así pues, se centra el análisis en el periodo entre la extracción del producto de su almacenamiento, hasta su retorno a dicho espacio. Esta secuencia de uso se expone a continuación (Figura 1).

Secuencia de Uso - el producto a examen						
ETAPAS	EXTRACCIÓN	USO				ALMACENAJE
PASOS	Se coge el producto	Se conecta	Bajo nivel de CO2	Alerta nivel de CO2	Gestión de datos	Se guarda el producto
INTERACCIÓN	Extracción del producto manualmente y transporte hasta su posicionamiento.	Conexión del producto a su fuente de alimentación eléctrica.	El producto muestra en pantalla la medición de CO2, mientras se mantiene por debajo de 750 ppm de CO2 no alerta al usuario.	El producto muestra en pantalla la medición de CO2, al superar las 750 ppm de CO2, alerta al usuario mediante sonido y luz.	Cuando el usuario lo desea, accede a la página web desde la que puede gestionar los datos tomados.	Almacenaje del producto una vez ha concluido su uso.
OBSERVACIONES	Negativas	-	Se necesita suministrar corriente eléctrica para funcionar.	El tamaño de la pantalla es un poco pequeño.	-	Si el usuario no está interesado ni experimentado en la gestión de datos, puede resultar superfluo.
	Positivas	Ligero y manejable por su peso y proporciones.	-	Te da seguridad el ver que está funcionando y la luz está apagada.	Como te avisa, puedes actuar tras la alerta y abrir puertas y ventanas u otras medidas.	-

Figura 1. Tabla: secuencia de uso.

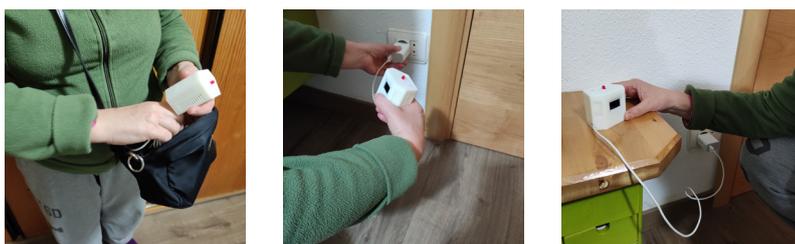


Figura 2. Primeros 3 pasos de la secuencia.

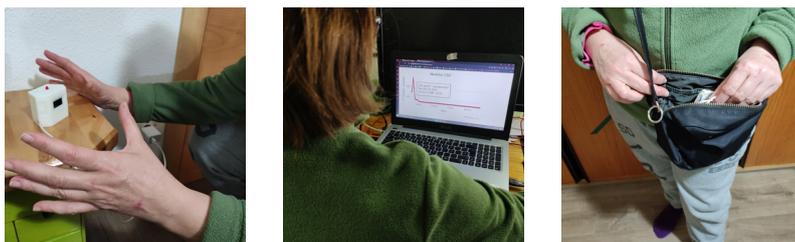


Figura 3. Últimos 3 pasos de la secuencia.

Así pues, tras someter el prototipo a examen, estas son las conclusiones extraídas más importantes:

- El tamaño de la pantalla es un poco pequeño.
- Si el usuario no está interesado ni experimentado en la gestión de datos, puede resultar superfluo.

Estas parten de las observaciones negativas del usuario, que son principalmente las que nos van a permitir plantear nuevas soluciones y alternativas de cara al producto final.

4.6. Futuras decisiones.

Como en el Anexo 4.6. Futuras decisiones (pág. 63) se expone, se plantean dos opciones para la fabricación del futuro producto final, evolución de este proyecto. Estas, a su vez, están condicionadas por dos decisiones a tomar en el desarrollo de un proyecto futuro:

- **Presupuesto disponible**

- Opción B: sinterizado láser*

En el caso de poder acceder económicamente a ambos procesos de fabricación, el sinterizado láser sería la opción más conveniente. Esto es debido a que el tiempo de trabajo y de posprocesado de cada una de las piezas es mucho menor (ver Anexo____), lo cual reduciría los costes de otros aspectos. En caso contrario, para una tirada corta la *Opción A* resultaría más económica.

Por otro lado, el establecimiento de un presupuesto de cara al desarrollo final del producto permitiría tomar decisiones finales sobre aspectos formales y componentes (ver Anexo, final des formal____). Esto, junto con la compactación del diseño interno del producto repercutiría en:

- **Posibilidad de estilización formal del diseño.**

Las proporciones del prototipo están sujetas al espacio del alojamiento interior mínimo para el montaje del mismo.

- **Decisión: tamaño de pantalla.**

Un presupuesto definido facilitaría decidir la inversión a realizar en este componente, una de las piezas centrales del producto.

- **Decisión: plataforma de gestión de datos.**

Un presupuesto definido facilitaría decidir qué se hace con el apartado digital del producto. Se podría decidir entre alguna de las opciones estudiadas y sus tarifas, o desarrollar una plataforma particular.

- **Número de piezas a producir**

- Opción A: colada al vacío*

Si la tirada supera las unidades planteadas, los moldes de silicona que se plantean en la opción A no aguantarían tanto uso. Por lo que se deberían fabricar varios en base al volumen de producción, lo que aumentaría el coste de esta vía.

- Opción B: sinterizado láser*

En el caso de la fabricación por SLS a mayor volumen de producción, menos coste unitario de producción. Esto está relacionado con la posibilidad de apilar los modelos 3D previamente a la impresión. Dado que el proceso de fabricación nos lo permite.

V. Conclusiones.

Diseño, desarrollo y prototipo de un dispositivo de medición de CO₂ para espacios interiores.

El **desarrollo de medidores de CO₂ específicos está en auge**, fruto de la pandemia producida por el virus SARS-CoV-2. Esto ha causado por un lado una creciente entrada de nuevos diseños en el mercado. Pero también es notable la gran variabilidad que esto ha provocado en los precios del mercado de productos y componentes. Por ello este proyecto resulta útil para entender los costes que el desarrollo de este tipo de productos acarrearán. Ya que lo que en el mercado encontramos está sujeto a una alta fluctuación.

En cuanto al diseño planteado respecto al mercado, la intención era tratar de *imitar a los productos de gama alta, al precio de los productos más económicos*. Y eso es lo que se ha logrado con este prototipo.

Por otro lado, cabe destacar la **utilidad de los procesos de prototipado** utilizados durante el desarrollo que han permitido ir definiendo en detalle el diseño. Plantear un prototipo formal y funcional como punto final del proyecto ha permitido ir tomando decisiones basadas no solo en la observación o conceptualización. Además, fabricar un prototipo como este permite analizar su diseño profundamente para plantear **nuevas mejoras** de cara al producto final.

Se han cumplido los **objetivos del proyecto** de un modo adecuado. Se parte de la consideración de que siempre hay aspectos que se pueden mejorar u optimizar en el proceso tomado. Pero, dejando eso a un lado, uno de los principales problemas en el proceso ha sido la exposición de la documentación técnica y del prototipo formal. En este tipo de aspectos agiliza el trabajo un buen tratamiento de la información documentada en sucio, lo cual ha conllevado más tiempo del esperado. Dejando eso a un lado, los resultados han satisfecho los objetivos planteados.

VI. Bibliografía.

Referencias

Ministerio de sanidad. Gobierno de España. (2020, noviembre). Evaluación del riesgo de la transmisión de SARS-CoV-2 mediante aerosoles. Medidas de prevención y recomendaciones. https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/ccayes/alertasActual/nCov/documentos/COVID19_Aerosoles.pdf

López Forniés, I., Manchado Pérez, E., & Sanz Segura, R. (2016). Métodos y proceso de diseño (1ª ed.). Prensas de la Universidad de Zaragoza.

Homologar medidor de CO₂. (2020, 18 noviembre). Omologic. Recuperado 2021, de <https://omologic.es/homologar-importar-medidor-co2-marcado-ce/>

¿Qué es el mercado CE? (s. f.). Mercado-CE (Dekra). Recuperado 2021, de <https://www.marcado-ce.com/acerca-del-marcado-ce/que-es-marcado-ce.html>

Unión Europea. (2021, 26 marzo). Mercado CE: obtención del certificado, requisitos de la UE. Your Europe. Recuperado 2021, de https://europa.eu/your-europe/business/product-requirements/labels-markings/ce-marking/index_es.htm

Placas de desarrollo. (s. f.). Solectro. Recuperado 2021, de <https://solectroshop.com/es/10-placas-de-desarrollo>

Del Valle Hernández, L. (s. f.). NodeMCU y el IoT: Tutorial paso a paso desde cero. Programar Fácil. Recuperado 2021, de https://programarfácil.com/podcast/nodemcu-tutorial-paso-a-paso/#NodeMCU_el_kit_de_desarrollo_para_elIoT

How does an NDIR CO₂ sensor work? (2021, 5 enero). CO₂ Meter. Recuperado 2021, de <https://www.co2meter.com/blogs/news/6010192-how-does-an-ndir-co2-sensor-work>

Comparativa sensor CCS811 vs NDIR MH Z19B. (2020, 14 noviembre). Zierzo2. Recuperado 2021, de <https://www.zierzo2.es/2020/11/14/sensor-ccs811-vs-mhz19b/>

Definición: Ventilador. (2015, 12 agosto). Alegsa. Recuperado 2021, de <https://www.alegsa.com.ar/Dic/ventilador.php>

¿Qué es el buzzer (zumbador) y cómo funciona? (2018, 15 octubre). Ingeniería Mecafenix. Recuperado 2021, de <https://www.ingmecafenix.com/electronica/el-buzzer/>

Webgrafía

Fase 1: Investigación y análisis.

Webs consultadas durante la búsqueda de información general y durante la selección de productos y componentes de cara a los análisis.

<https://programarfacil.com/podcast/nodemcu-tutorial-paso-a-paso/>

<https://solectroshop.com/es/10-placas-de-desarrollo>

<https://www.placasdedesarrollo.com>

<https://tienda.bricogeek.com/wifi/1033-nodemcu-v3-wifi-esp8266-ch340.html>

<https://www.amazon.es/nodemcu-v3/s?k=nodemcu+v3>

<https://www.placasdedesarrollo.com/#:~:text=Las%20placas%20de%20desarrollo%20son%20dispositivos%20que%20cuenta,sensores%20externos%2C%20haciendo%20uso%20de%20la%20electr%C3%B3nica%20digital.>

<https://es.farnell.com/integrated-device-technology/zmod4410ai3v/sensor-de-gas-tvoc-co2-ndir-5000ppm/dp/3588802?st=ndir>

https://www.amazon.es/EVTSCAN-di%C3%B3xido-infrarrojo-anal%C3%B3gica-0-5000ppm/dp/B08ZNMNG23/ref=sr_1_5?__mk_es_ES=%C3%85M%-C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&dchild=1&keywords=ndir+sensor+electronic&qid=1622623936&sr=8-5

https://www.amazon.es/KEYESTUDIO-Quality-Arduino-Monoxide-Numeric/dp/B086HC5M6N/ref=sr_1_10?__mk_es_ES=%C3%85M%-C3%85%C5%BD%C3%95%-C3%91&dchild=1&keywords=ndir+sensor+arduino&qid=1622623954&sr=8-10

https://tienda.bricogeek.com/sensores-gas/1512-sensor-de-co2-ndir.html?search_query=sensor+ndir+co2&results=1

<https://es.aliexpress.com/i/4001122072228.html?spm=a219c.12057483.top.3.38e729708ZjNKR>

<https://es.aliexpress.com/item/4000126585363.html>

https://www.ecured.cu/Sensor_capacitivo#:~:text=Sensor%20capacitivo%201%20Funcionamiento.%20Desde%20el%20punto%20de,inconvenientes.%20...%204%20Normativa.%20...%205%20Transductores.%20

<http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-08-05-sensores-de-humedad.pdf>

<https://comofunciona.co.com/un-termistor/>

<https://comofunciona.co.com/wp-content/uploads/2016/12/Como-funciona-un-termistor.jpg>

<https://hardzone.es/tutoriales/rendimiento/tecnologia-oled-caracteristicas/>

<https://www.tuexperto.com/2018/03/08/como-funciona-la-luz-oled-mejora-los-angulos-vision/>

<https://solectroshop.com/es/blog/lcd-led-oled-conoces-la-diferencia-y-que-son-n88>

<https://blog.ielectro.es/2017/06/30/lcd-led-oled-qlcd-y-uled-entiende-las-diferencias-sin-morir-en-el-intento/>

<https://es.rs-online.com/web/p/pantallas-para-arduino/8646815>

<https://programarfácil.com/blog/arduino-blog/ssd1306-pantalla-oled-con-arduino/>

<https://es.aliexpress.com/item/4001122072228.html?spm=a219c.12057483.detail.3.1e4e69d6S5W86N>

Fase 4: Desarrollo final.

Webs consultadas durante el desarrollo de los aspectos funcionales del prototipo.

https://naylampmechatronics.com/blog/56_usando-esp8266-con-el-ide-de-arduino.html

https://naylampmechatronics.com/blog/56_usando-esp8266-con-el-ide-de-arduino.html

<https://naylampmechatronics.com/espressif-esp/153-nodemcu-v2-esp8266-wifi.html>

<https://lowvoltage.github.io/2017/07/09/Onboard-LEDs-NodeMCU-Got-Two>

<https://lowvoltage.github.io/2017/07/09/Onboard-LEDs-NodeMCU-Got-Two>

<https://www.zierzo2.es/>

<https://eina.unizar.es/sensorizar>

<https://descubrearduino.com/thingspeak/>

<https://solectroshop.com/es/10-placas-de-desarrollo>

<https://www.placasdedesarrollo.com/>

<https://leantec.es/tienda/nodemcu-v3-lua-wemos-wifi-modulo-ch340-desarrollo-basado-esp8266-esp12e/>

<https://es.farnell.com/integrated-device-technology/zmod4410ai3v/sensor-de-gas-tvoc-co2-ndir-5000ppm/dp/3588802?st=ndir>

<https://github.com/strange-v/MHZ19>

Webs consultadas durante el estudio de materiales y procesos de fabricación:

<https://make.3dexperience.3ds.com/processes/binder-jetting>

<https://www.ineo.es/es/tecnologias/modelado-deposicion-fundida-fdm>

<https://formlabs.com/es/blog/que-es-sinterizado-selectivo-laser/>

<https://www.ineo.es/es/tecnologias-menuoff/sinterizado-laser-sls-menuoff>

<https://www.ineo.es/es/tecnologias/estereolitografia-sla>

<https://www.tridimx.com/tecnologias/>

<https://www.materialise.com/es/manufacturing/tecnologia-de-impresion-3d/coladas-al-vacio>

<https://pantur.es/fabricacion-additiva-3d/tecnologias/moldes-silicona/>

<https://www.ineo.es/es/tecnologias/colada-vacio>

https://filament2print.com/es/blog/121_como-calculas-el-coste-de-piezas-impresas-en-.html

<https://www.3dnatives.com/es/amotool-coste-fabricacion-metal-250920202/>