

Proyecto Fin de Carrera
Ingeniería Industrial

DESARROLLO DE SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE CONDICIONES AMBIENTALES BASADO EN ARDUINO

Autor: Luis Uruñuela Salcedo

Tutor: José María Maestre Torreblanca

Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2016



1. Introducción	4
2. Calidad de Aire Interior	6
2.1 Introducción.....	6
2.2 Tipos De Contaminantes Ambientales	6
2.3 Enfermedad Profesional.....	9
3. Síndrome del Edificio Enfermo (SEE).....	10
3.1 Características Comunes A Los Edificios Enfermos.....	10
3.2 Síntomas Y Diagnóstico	11
3.3 Posibles Factores De Riesgo	12
3.4 Como Efectuar Las Investigaciones Asociadas A Un Edificio.....	31
3.5 Normativa.....	36
4. Arduino	48
4.1 ¿Qué Es Arduino?	48
4.2 ¿Por Qué Arduino?.....	48
4.3 Placas Arduino.....	50
4.4 El Software de Arduino (IDE).....	51
4.5 Funciones Básicas	54
5. Arduino UNO	56
5.1 Descripción General	56
5.2 Energía.....	57
5.3 Entradas y salidas	58
5.4 Programación	60
5.5 Protección	60
5.6 Comunicación	60
5.7 Reseteo Automático (Software).....	61
6. Descripción del Dispositivo	62
6.1 Sensores	62
6.2 Pantalla LCD	69
6.3 Encapsulado	71
6.4 Interfaz Gráfica.....	76
6.5 Calibración	83
7. Resultados e Interpretaciones.....	84
7.1 Biblioteca ESI	84
7.2 Dormitorio	87
7.3 Oficinas GPTech	91
7.4 Comparación de Resultados	96
8. Posibles Aplicaciones y Mejoras	98
8.1 Mejora Módulo Tarjeta SD.....	99
9. Conclusiones del Proyecto	102
10. Bibliografía	104
11. Anexos	106
11.1 Código Arduino.....	106
11.2 Código Matlab	112

1. Introducción

El trabajo es una de las principales actividades de nuestra vida. A través de él se generan los ingresos necesarios para desarrollar buena parte de las labores de nuestra vida cotidiana y ésta ha de desempeñarse en unas condiciones de seguridad que permitan preservar la salud e integridad física y psíquica de todos los que la desarrollan.

De la realización del trabajo en condiciones inadecuadas pueden derivarse consecuencias negativas para la salud que se manifiestan, en más ocasiones de las deseables, como accidentes y enfermedades que, en ocasiones, se prolongan a lo largo de un amplio periodo de tiempo. Las pérdidas económicas (menor productividad en las empresas y mayor gasto público en atención sanitaria y prestaciones) que conllevan las enfermedades profesionales repercuten directamente en la rentabilidad de las empresas y en las rentas familiares de los trabajadores afectados.

Por tanto se planteó la realización de este proyecto cuyo objetivo principal sería desarrollar y construir un dispositivo con los siguientes requisitos mínimos:

- Cuantificar de manera precisa las condiciones ambientales en un determinado puesto de trabajo.
- Tener un bajo coste de fabricación.
- Bajo consumo de energía.
- Ser un dispositivo poco voluminoso.

Para ello se planteó la utilización de la plataforma Arduino junto con el uso de diferentes sensores capaces de medir las variables más representativas de las condiciones ambientales. Gracias a la utilización de la plataforma Arduino nos permite obtener un dispositivo capaz de cumplir con los requisitos mínimos exigidos, además de aportarnos versatilidad y modularidad. Además, es capaz de realizar medidas con bastante precisión y nos permite monitorizar las diferentes variables para luego poder analizarlas y sacar conclusiones.

Comenzaremos con una introducción al concepto de Calidad de Aire Interior, continuaremos con la definición de lo que la OMS (Organización Mundial de la Salud) reconoció en 1982 como “Síndrome del Edificio Enfermo”. Describiremos los fundamentos de los diferentes factores ambientales que afectan a la salubridad del ser humano, así como la obtención de los índices óptimos. A continuación nos introduciremos en el mundo Arduino y para concluir este documento, realizaremos una explicación de los resultados obtenidos junto con diferentes propuestas para una posible mejora del mismo.

2. Calidad de Aire Interior

2.1 Introducción

En el ámbito de las condiciones de trabajo tiene cada vez mayor incidencia el aspecto relacionado con la calidad del aire en locales dedicados a oficinas y servicios generales, es decir, en los que no se realizan actividades de tipo industrial. La sintomatología presentada por los afectados no suele ser severa y, al no ocasionar un exceso de bajas por enfermedad, se tiende a menudo a minimizar los efectos que, sin embargo, se traducen en una situación general de discomfort. En la práctica estos efectos son capaces de alterar tanto la salud física como la mental del trabajador, provocando un mayor estrés y con ello una disminución del rendimiento laboral. Para describir estas situaciones, cuando los síntomas llegan a afectar a más del 20% de los ocupantes de un edificio, se habla del "Síndrome del Edificio Enfermo".

La calidad del aire en el interior de un edificio es función de una serie de parámetros que incluyen la calidad del aire exterior, la compartimentación, el diseño del sistema de aire acondicionado, las condiciones en que este sistema trabaja y se revisa y la presencia de fuentes contaminantes y su magnitud.

Evidentemente, el aire del interior de un edificio no debe contener contaminantes en concentraciones superiores a aquellas que pueden perjudicar la salud o causar discomfort a sus ocupantes. Estos contaminantes incluyen los que pueden estar presentes en el aire exterior que se introduce en el edificio y los originados por las actividades interiores, el mobiliario, los materiales de construcción, los recubrimientos de superficies y los tratamientos del aire. Las situaciones de riesgo más frecuentes para sus ocupantes son: la exposición a sustancias tóxicas, radioactivas e irritantes, la inducción de infecciones o alergias, las condiciones termohigrométricas no confortables y los olores molestos. [2]

2.2 Tipos De Contaminantes Ambientales

El número de posibles contaminantes ambientales es enorme ya que pueden tener muy diversos orígenes. Aunque el problema es difícil de abordar, se intenta sistematizar a partir de una clasificación de los contaminantes:

- **Contaminantes químicos**

- Los propios ocupantes del edificio. El ser humano produce de forma natural dióxido de carbono (CO₂), vapor de agua, partículas y aerosoles biológicos, siendo a la vez responsable de la presencia de otros contaminantes.
- Los materiales de construcción, decoración del edificio y mobiliario.
- Materiales usados para el trabajo de oficina, en las instalaciones o para el mantenimiento.
- Contaminantes procedentes del exterior del edificio.

El polvo presente en un aire interior está formado por partículas tanto orgánicas como inorgánicas, muchas de las cuales pueden clasificarse como fibras. El polvo total dependerá de la ventilación, la limpieza, la actividad en la zona y el grado de presencia de humo de tabaco.

- **Contaminantes biológicos**

- Agentes infecciosos: se transmiten fácilmente en ambientes cerrados como por ejemplo, gripe, resfriados comunes, sarampión, etc.
- Antígenos: es toda sustancia que al penetrar en un organismo animal dotado de un sistema inmunológico maduro es capaz de provocar una respuesta inmunitaria específica. los presentes en el aire pueden causar enfermedades tales como neumonitis hipersensitiva, rinitis alérgica y asma alérgico, entre otras.
- Toxinas: son sustancias segregadas por algunos microorganismos que producen efectos nocivos en los organismos vivos atacados. La mayor parte de las toxinas presentes en el aire provienen de los hongos.

Son, por el momento, muy pocos los límites ambientales existentes para estos contaminantes. Por otra parte tampoco se conocen los efectos de ciertas sustancias sobre el organismo cuando la exposición es a muy bajas concentraciones y durante largos periodos de tiempo. Todo lo cual dificulta el establecimiento de límites.

La OMS en unas Guías para el establecimiento de la Calidad del Aire recomienda unos valores para proteger la salud pública para 28 sustancias, algunas de las más significativas para el SEE se recogen en la Tabla 1.

COMPUESTO		VALOR DE REFERENCIA (PROMEDIO PONDERADO EN EL TIEMPO)	PERIODO DE TIEMPO
COMPUESTOS ORGANICOS	Cloruro de metileno	3 mg/m ³	24 horas
	Estireno	800 µg/m ³	24 horas
	Formaldehído	100 g/m ³	30 minutos
	Sulfuro de Carbono	100 g/m ³	24 horas
	Tetracloroetileno	5 mg/m ³	24 horas
	Tolueno	8 mg/m ³	24 horas
	Tricloroetileno	1 mg/m ³	24 horas
COMPUESTOS INGORGANICOS	Cadmio	1 – 5 ng/m ³	1 año (áreas rurales)
		10 – 20 ng/m ³	1 año (áreas urbanas)
	Dióxido de Azufre	500 µg/m ³	10 minutos
		350 µg/m ³	1 hora
	Dióxido de Nitrógeno	400 µg/m ³	1 hora
		150 µg/m ³	24 horas
	Monóxido de Carbono	100 mg/m ³	15 minutos
		60 mg/m ³	30 minutos
		30 mg/m ³	1 hora
		10 mg/m ³	8 horas
	Ozono	150 µg/m ³	1 hora
		100 – 120 µg/m ³	8 horas
	Plomo	0.5 – 1 µg/m ³	1 año

Tabla 1: Valores de referencia para algunas sustancias no cancerígenas en aire según OMS

2.2.1 CO₂ Como Indicador De Calidad De Aire

Para el CO₂, que la mayoría de autores no consideran como un contaminante dado su origen humano, y que sí se usa como indicador de la calidad del aire interior para establecer el correcto funcionamiento de los sistemas de ventilación, el estándar ASHRAE 62-1989 de la American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, recomienda un límite de 1000 ppm para satisfacer criterios de confort (olor).

Este mismo estándar sugiere, para aquellos contaminantes químicos que no tienen establecido un valor de referencia propio, una concentración de 1 /10 del valor recomendado (TLV) para ambientes industriales por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). Sin embargo los valores para contaminación ambiental son mucho más bajos, por ejemplo, 1130 de los valores límites (Ley de protección del medio ambiente atmosférico, Art. 46.IV) o $40/168 \times 1 /100$ TLV (Ameg). [2]

2.3 Enfermedad Profesional

El artículo 116 del Texto Refundido de la Ley General de Seguridad Social (R.D. 1/94), define como enfermedad profesional: *“toda enfermedad contraída a consecuencia del trabajo ejecutado por cuenta ajena, en las actividades que se especifican en el cuadro que se apruebe por las disposiciones de aplicación y desarrollo de esta ley, y que esté provocado por la acción de elementos o sustancias que en dicho cuadro se indiquen por cada enfermedad profesional”*. El cuadro al que hace referencia dicha definición viene recogido en el Real Decreto 1995/78, de 12 de mayo y sus modificaciones posteriores: R.D. 2821/1981 y Resolución de 30 de septiembre de 1993.

Las enfermedades contraídas como consecuencia del trabajo y que no estén contempladas como enfermedades profesionales serán consideradas, a efectos legales, como accidentes de trabajo.

Desde el punto de vista técnico-preventivo, se habla de enfermedad derivada del trabajo, no de enfermedad profesional. Se entiende por **enfermedad derivada del trabajo** *“aquel deterioro lento y paulatino de la salud del trabajador, producido por una exposición crónica a situaciones adversas, sean éstas producidas por el ambiente en que se desarrolla el trabajo o por la forma en que éste está organizado”*. [1]

Los factores que determinan una enfermedad profesional se reflejan en la Figura 1:

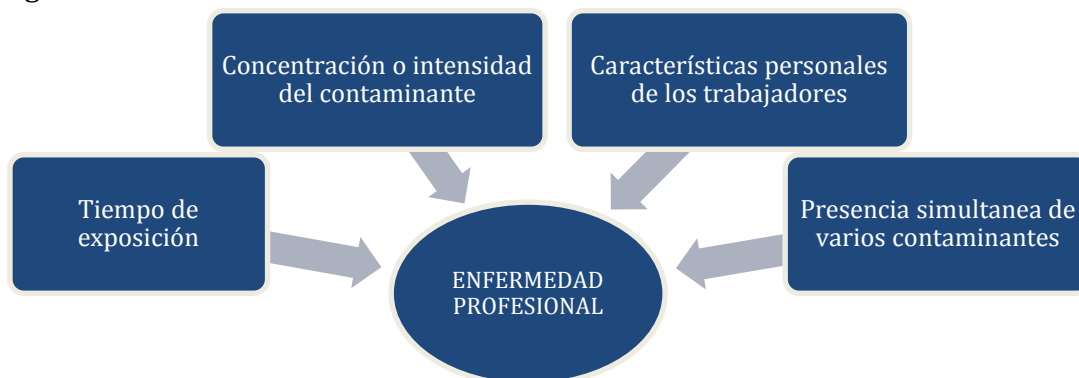


Figura 1: Principales factores que determinan una enfermedad profesional

3. Síndrome del Edificio Enfermo (SEE)

Existen dificultades para definir lo que se entiende por edificio enfermo y por síndrome del edificio enfermo. En la práctica los edificios enfermos son una parte de los edificios que presentan problemas. Estos edificios están, generalmente, equipados con aire acondicionado, aunque también pueden estar ventilados de forma natural. Sus ocupantes presentan quejas referentes a su salud en una proporción mayor a la que sería razonable esperar (>20%) y las causas son difíciles de identificar dado que en muchos casos tienen un origen multifactorial.

Síndrome del edificio enfermo (SEE) es el nombre que se da al conjunto de síntomas diversos que presentan, predominantemente, los individuos en estos edificios y que no van en general acompañados de ninguna lesión orgánica o signo físico, diagnosticándose, a menudo, por exclusión.[2]

La Organización Mundial de la Salud (OMS) diferencia entre dos tipos distintos de edificio enfermo:

- **Edificios temporalmente enfermos:** en el que se incluyen edificios nuevos o de reciente remodelación en los que los síntomas disminuyen y desaparecen con el tiempo, aproximadamente medio año.
- **Edificios permanentemente enfermos:** cuando los síntomas persisten, a menudo durante años, a pesar de haberse tomado medidas para solucionar los problemas.

3.1 Características Comunes A Los Edificios Enfermos

Normalmente para ningún edificio debe considerarse como evidente su pertenencia a la categoría de edificio permanentemente enfermo. Sin embargo, en la práctica, estos edificios tienen, según la OMS, una serie de características comunes:

- Casi siempre tienen un sistema de ventilación forzada que generalmente es común a todo el edificio o a amplios sectores y existe recirculación parcial del aire. Algunos edificios tienen la localización de las tomas de renovación de aire en lugares inadecuados mientras que otros usan intercambiadores de calor que transfieren los contaminantes desde el aire de retorno al aire de suministro.

- Con frecuencia son de construcción ligera y poco costosa.
- Las superficies interiores están en gran parte recubiertas con material textil, incluyendo paredes, suelos y otros elementos de diseño interior, lo cual favorece una elevada relación entre superficie interior y volumen.
- Practican el ahorro energético y se mantienen relativamente calientes con un ambiente térmico homogéneo.
- Se caracterizan por ser edificios herméticos en los que, por ejemplo, las ventanas no pueden abrirse.

3.2 Síntomas Y Diagnóstico

La sintomatología a observar para poder diagnosticar un edificio enfermo es muy variada, pudiendo llegar a ser compleja, ya que suele ser el resultado de la combinación de distintos efectos. Los síntomas más significativos incluyen:

- Irritaciones de ojos, nariz y garganta.
- Sensación de sequedad en membranas mucosas y piel.
- Ronquera.
- Respiración dificultosa.
- Eritemas (Erupciones cutáneas).
- Comezón.
- Hipersensibilidades inespecíficas.
- Náuseas, mareos y vértigos.
- Dolor de cabeza.
- Fatiga mental.
- Elevada incidencia de infecciones respiratorias y resfriados.

En ciertos edificios pueden, además, estar potenciadas algunas enfermedades comunes del individuo, tales como sinusitis y algunos tipos de eczemas.

Para diagnosticar la existencia de un síndrome de edificio enfermo tiene que efectuarse una investigación cuidadosa entre el personal afectado, teniendo en cuenta los síntomas reseñados. Se considerará también que en estos edificios, según los estudios realizados, los síntomas son más frecuentes por la tarde que por la mañana, el personal de oficina es más propenso que el directivo a experimentar molestias, estas molestias son más frecuentes en el sector público que en el privado y las quejas son más abundantes cuanto menos control tiene la gente sobre su entorno. [2]

3.3 Posibles Factores De Riesgo

3.3.1 Iluminación

De todos los tipos de energía que pueden utilizar los humanos, la luz es la más importante. La luz es un elemento esencial de nuestra capacidad de ver y necesaria para apreciar la forma, el color y la perspectiva de los objetos que nos rodean en nuestra vida diaria. La mayor parte de la información que obtenemos a través de nuestros sentidos la obtenemos por la vista (cerca del 80 %). Por tanto, no debemos olvidar que ciertos aspectos del bienestar humano se ven afectados por la iluminación y por el color de las cosas que nos rodean. Desde el punto de vista de la seguridad en el trabajo, la capacidad y el confort visual son extraordinariamente importantes, ya que muchos accidentes se deben a deficiencias en la iluminación.

3.3.1.1 Unidades Y Magnitudes De Iluminación

En el campo de la iluminación se utilizan habitualmente varias magnitudes. Las más básicas son las siguientes:

- **Flujo luminoso:** energía luminosa emitida por una fuente de luz durante una unidad de tiempo. Unidad: lumen (lm).
- **Intensidad luminosa:** flujo luminoso emitido en una dirección determinada por una luz que no tiene una distribución uniforme. Unidad: candela (cd).
- **Nivel de iluminación:** nivel de iluminación de una superficie de un metro cuadrado que recibe un flujo luminoso de un lumen. Unidad: lux = lm/m^2 .
- **Luminancia o brillo fotométrico:** se define para una superficie en una dirección determinada, y es la relación entre la intensidad luminosa y la superficie vista por un observador situado en la misma dirección (superficie aparente). Unidad: cd/m^2 .
- **Contraste:** diferencia de luminancia entre un objeto y su entorno o entre diferentes partes de un objeto.
- **Reflectancia:** proporción de la luz que es reflejada por una superficie. Es una cantidad no dimensional. Su valor varía entre 0 y 1.

3.3.1.2 Factores Que Determinan El Confort Visual

Los requisitos que un sistema de iluminación debe cumplir para proporcionar las condiciones necesarias para el confort visual son los siguientes:

- Iluminación uniforme.
- Luminancia óptima.
- Ausencia de brillos deslumbrantes.
- Condiciones de contraste adecuadas.
- Colores correctos.
- Ausencia de luces intermitentes o efectos estroboscópicos.

3.3.1.3 Niveles De Iluminación

Cada actividad requiere un nivel específico de iluminación en el área donde se realiza. En general, cuanto mayor sea la dificultad de percepción visual, mayor deberá ser el nivel medio de la iluminación.

El nivel de iluminación se mide con un luxómetro que convierte la energía luminosa en una señal eléctrica, que posteriormente se amplifica y permite una fácil lectura en una escala de lux calibrada. Al elegir un cierto nivel de iluminación para un puesto de trabajo determinado, deberán estudiarse los siguientes puntos:

- La naturaleza del trabajo.
- La reflectancia del objeto y de su entorno inmediato.
- Las diferencias con la luz natural y la necesidad de iluminación diurna.
- La edad del trabajador.



Figura 2: Niveles de iluminación en función de las tareas realizadas.[3]

3.3.1.4 Distribución De La Luz Y Deslumbramiento

Los factores esenciales en las condiciones que afectan a la visión son:

- **La distribución de la luz:** es preferible tener una buena iluminación general en lugar de una iluminación localizada, con el fin de evitar deslumbramientos. Por esta razón, los accesorios eléctricos deberán distribuirse lo más uniformemente posible con el fin de evitar diferencias de intensidad luminosa. El constante ir y venir por zonas sin una iluminación uniforme causa fatiga ocular y, con el tiempo, esto puede dar lugar a una reducción de la capacidad visual.
- **El contraste de luminancias:** cuando existe una fuente de luz brillante en el campo visual se producen brillos deslumbrantes; el resultado es una disminución de la capacidad de distinguir objetos. Los trabajadores que sufren los efectos del deslumbramiento constante y sucesivo pueden sufrir fatiga ocular, así como trastornos funcionales, aunque en muchos casos ni siquiera sean conscientes de ello.

El deslumbramiento puede ser:

- **Directo:** cuando su origen está en fuentes de luz brillante situadas directamente en la línea de visión.
- **Reflejado:** cuando la luz se refleja en superficies de alta reflectancia.

En el deslumbramiento participan los siguientes factores:

- **Luminancia de la fuente de luz:** la máxima luminancia tolerable por observación directa es de 7.500 cd/m².
- **Ubicación de la fuente de luz:** el deslumbramiento se produce cuando la fuente de luz se encuentra en un ángulo de 45 grados con respecto a la línea de visión del observador.
- **Distribución de luminancias entre diferentes objetos y superficies:** cuanto mayores sean las diferencias de luminancia entre los objetos situados en el campo de visión, más brillos se crearán y mayor será el deterioro de la capacidad de ver provocado por los efectos ocasionados en los procesos de adaptación de la visión.

Los valores máximos recomendados de disparidad de luminancias son:

- Tarea visual: superficie de trabajo = 3:1.
- Tarea visual: alrededores = 10:1.

- **Tiempo de exposición:** incluso las fuentes de luz de baja luminancia pueden provocar deslumbramiento si se prolonga demasiado la exposición. Evitar el deslumbramiento es un propósito relativamente sencillo y puede conseguirse de diferentes maneras, por ejemplo, es colocar rejillas bajo las fuentes de iluminación, utilizar difusores o reflectores parabólicos o instalar las fuentes de luz de modo que no interfieran con el ángulo de visión.

3.3.1.5 Métodos Para Medir La Iluminación.

Frecuentemente se utiliza una técnica de estudio fundamentada en una cuadrícula de puntos de medición que cubre toda la zona analizada. La base de esta técnica es la división del interior en varias áreas iguales, cada una de ellas idealmente cuadrada. Se mide la iluminancia existente en el centro de cada área a la altura del tablero de una mesa (típicamente a 0,85 metros sobre el nivel del suelo) y se calcula un valor medio de iluminancia. En la precisión del valor de iluminancia media influye el número de puntos de medición utilizados.

Existe una relación que permite calcular el número mínimo de puntos de medición a partir del valor del *índice de local* (Room Index, RI) aplicable al interior analizado.

$$\text{Índice de local (RI)} = \frac{l \times b}{h (l + b)}$$

Donde:

l = longitud del recinto.

b = anchura del recinto.

h = altura de montaje (distancia vertical entre el centro de la fuente de luz y el plano de trabajo.)

La relación mencionada se expresa de la forma siguiente:

$$\text{Número mínimo de puntos de medición} = (x + 2)^2$$

Donde:

x = valor del índice de local (RI) redondeado al entero superior, excepto que para todos los valores de RI iguales o mayores que 3, el valor de x es 4.

A partir de la ecuación se obtiene el número mínimo de puntos de medición, pero las condiciones suelen requerir la utilización de un número de puntos superior a este mínimo. [3]

3.3.2 Ambiente Térmico

El control del ambiente térmico en el lugar de trabajo es un factor fundamental para la salud, comodidad y productividad de los trabajadores. Para mantener su bienestar y rendimiento en el trabajo el ser humano necesita que su temperatura corporal esté dentro de unos márgenes muy estrechos, exceder dichos límites provoca una desadaptación entre el trabajador y el medio que da lugar a la aparición de riesgos derivados de esta situación.

Una definición de ambiente térmico se encuentra en el RD 1751/1998, de 31 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC), decreto derogado en el RD 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. *“El ambiente térmico se define por aquellas características que condicionan los intercambios térmicos del cuerpo humano con el ambiente, en función de la actividad de la persona y del aislamiento térmico de su vestimenta, y que afectan a la sensación de bienestar de los ocupantes”*

Se han desarrollado varios estándares sobre este tema. El más aceptado son el conjunto de las normas de confort térmico recomendadas en ISO 7730:2005 que establece un intervalo óptimo de temperaturas (aire, radiante y simetría radiante) y condiciones para personas con diferentes intervalos metabólicos y usando diferentes ropas.

3.3.2.1 Método Para Calcular Los Valores Óptimos De Confort Térmico Según La Norma ISO 7730:2005

El método de cálculo se basa en definir la calidad térmica del ambiente en función de la opinión de un numeroso grupo de personas sobre la sensación térmica experimentada durante estancias prolongadas en determinadas condiciones termohigrométricas. El voto medio predicho, PMV, se valora según una escala de siete valores de sensaciones térmicas (Tabla 2):

PMV	Sensación
3	Muy caluroso
2	Caluroso
1	Ligeramente caluroso
0	Neutralidad térmica
-1	Fresco
-2	Frío
-3	Muy frío

Tabla 2: Escala de datos del voto medio predicho (PMV)

La sensación térmica, y por tanto el voto medio predicho (PMV), depende del desequilibrio energético de la persona con el ambiente que le rodea. El desequilibrio energético, ΔE , es la diferencia entre la tasa metabólica de la persona, M , y las pérdidas de energía al ambiente que la rodea, P .

$$\Delta E = M - P \text{ (kW)}$$

Este desequilibrio energético y, por tanto, la sensación de frío o calor dependen de parámetros ambientales:

- La temperatura seca del local.
- La humedad relativa del aire.
- La temperatura radiante media.
- La velocidad media del aire en la zona ocupada.

Y de parámetros de la persona:

- Actividad metabólica.
- Grado de vestimenta (único grado de libertad del usuario).

La satisfacción o insatisfacción de las personas con el ambiente térmico del local se cuantifica con el porcentaje de personas insatisfechas PPD (%). Hay una relación directa entre el número de personas insatisfechas y el voto medio predicho $PPD (\%) = f (PMV)$. Aunque el voto medio predicho sea 0, tendremos un 5% de personas insatisfechas con el ambiente térmico del local.

Esta relación es la que emplea para definir tres categorías de ambiente térmico, denominadas A, B y C, correspondientes con el 6, 10 y 15% de personas insatisfechas respectivamente, según se indica en la Tabla 3.

Categoría	PPD (%)	Voto medio predicho
A: guarderías, clínicas, hospitales	<6	-0,2<PMV<0,2
B: calidad a emplear en edificios nuevos	<10	-0,5<PMV<0,5
C: calidad mínima en edificios existentes	<15	-0,7<PMV<0,7

Tabla 3: Categorías de calidad de ambiente térmico

La temperatura operativa óptima depende en gran medida de la actividad de las personas. La tasa metabólica es una conversión de la energía química en energía mecánica y térmica y proporciona un índice numérico de la actividad. La producción de calor metabólico afecta principalmente al bienestar térmico en verano, donde es necesario disipar mayor cantidad de calor, principalmente mediante la evaporación del sudor.

Las estimaciones de tasa metabólica se refieren a un individuo medio:

- Hombre de 30 años de edad, 70 kg de masa y 1,75 m de altura (área superficie cuerpo = 1,8 m²).
- Mujer de 30 años de edad, 60 kg de masa y 1,70 m de altura (área superficie cuerpo = 1,6 m²)

En el caso de poblaciones especiales, incluido niños o ancianos, se deben hacer los ajustes oportunos.

Actividad	Tasa metabólica	
	W/m ²	met
Acostado	46	0,8
Sentado, relajado	58	1,0
Actividad sedentaria (oficina, laboratorio...)	70	1,2
De pie, actividad ligera (dependiente, laboratorio...)	93	1,6
De pie, actividad media (trabajo doméstico, dependiente...)	116	2,0
Caminado sobre terreno plano:		
2 km/h	110	1,9
3 km/h	140	2,4
4 km/h	165	2,8
5 km/h	200	3,4

Tabla 4: Tasa metabólica en función de la actividad

Tipo de Edificio	Tasa metabólica	
	W/m ²	met
Sala de espera	58	1,0
Oficina	70	1,2
Sala de conferencias, auditorio	70	1,2
Cafetería, restaurante	70	1,2
Aula	70	1,2
Guardería	82	1,4
Comercio (clientes sentados)	82	1,4
Comercio (clientes de pie)	93	1,6
Grandes almacenes	93	1,6

Tabla 5: Tasa metabólica para distintos locales tipos

La temperatura operativa óptima depende de la actividad de las personas y de su grado de vestimenta.

El aislamiento de la ropa se mide en m^2K/W , aunque es más habitual utilizar la unidad “clo”. 1 clo equivale a $0,155 m^2K/W$.

Aislamiento Térmico (clo)			
Ropa interior		Chalecos	
Slip	0.03	Chaleco sin mangas	0.12
Calzoncillos largos	0.10	Chaleco ligero	0.20
Camiseta interior	0.04	Chaleco medio	0.28
Camiseta	0.09	Chaleco grueso	0.35
Camiseta de manga larga	0.12	Chaquetas	
Bragas y sujetador	0.03	Chaqueta ligera de verano	0.25
Camisas		Chaqueta	0.35
Blusas, manga corta	0.15	Bata	0.30
Ligeras, manga larga	0.20	De alto poder termoaislante/ piel sintética	
Normales, manga larga	0.25	Mono	0.90
Franela, manga larga	0.30	Pantalón	0.35
Blusa ligera, manga larga	0.15	Chaqueta	0.40
Pantalones		Chaleco	0.20
Cortos	0.06	Ropa de intemperie	
Ligeros	0.20	Abrigo	0.60
Normales	0.25	Chaquetón de plumas	0.55
Franela	0.28	Parka	0.70
Vestidos/Faldas		Mono de piel sintética	0.55
Falda ligera (de verano)	0.15	Diversos	
Falda gruesa (de invierno)	0.25	Calcetines	0.02
Vestido ligero, manga corta	0.20	Calcetines cortos gruesos	0.05
Vestido invierno, manga larga	0.40	Calcetines altos gruesos	0.10
Mono	0.55	Medias de nylon	0.03
		Zapatos (suela fina)	0.02
		Zapatos (suelas gruesas)	0.04
		Botas	0.10
		Guantes	0.05

Tabla 6: Aislamiento térmico para diferentes tipos de vestimenta.

Considerando para verano una vestimenta de 0,5 clo y para invierno de 1 clo, la temperatura operativa óptima dada por la ISO 7730:2005 es la mostrada en la Tabla 7.

Actividad metabólica (met)	Temperatura operativa óptima	
	Verano	Invierno
1,00	26,00	24,00
1,20	24,50	22,00
1,40	23,50	20,00
1,60	23,00	19,00
1,80	22,50	18,00
2,00	21,50	16,50
3,00	17,00	11,00

Tabla 7: Temperatura óptima de invierno y verano a partir de la tasa metabólica

La temperatura operativa del local podrá variar de la óptima en función de la calidad térmica del ambiente. La Tabla 8 muestra las máximas actuaciones de temperatura del local admisibles en función de la calidad térmica así como la velocidad media máxima admisible en la zona ocupada.

Temperatura operativa	Margen de temperatura operativa (°C)			Velocidad media máxima del aire (m/s)
	A	B	C	
16,0	± 1,5	± 3,5	± 5,0	0,09
17,0	± 1,5	± 3,0	± 4,5	0,10
18,0	± 1,5	± 3,0	± 4,5	0,11
19,0	± 1,5	± 3,0	± 4,0	0,12
20,0	± 1,0	± 2,5	± 3,5	0,13
21,0	± 1,0	± 2,0	± 3,0	0,14
21,5	± 1,0	± 2,0	± 3,0	0,15
22,0	± 1,0	± 2,0	± 3,0	0,15
22,5	± 1,0	± 2,0	± 3,0	0,16
23,0	± 1,0	± 2,0	± 3,0	0,16
23,5	± 1,0	± 2,0	± 2,5	0,17
24,0	± 1,0	± 1,5	± 2,5	0,17
24,5	± 1,0	± 1,5	± 2,5	0,18
26,0	± 0,5	± 1,0	± 2,0	0,19

Tabla 8: Margen de temperatura operativa del local admisible en función de la calidad térmica del ambiente. Velocidad media máxima en la zona ocupada.

De esta forma, conocida la actividad que realizan las personas en un local y su grado de vestimenta (0,5 clo en verano, 1 en invierno) se puede determinar la temperatura óptima del local. El nivel de desviación sobre esa temperatura (margen de temperatura operativa) viene establecido por la calidad del ambiente térmico.

El malestar térmico puede ser causado por un enfriamiento o calentamiento de una parte específica del cuerpo. Por ejemplo, la cabeza fría no nos produce especial malestar mientras que la sensación de calor en la cabeza nos produce mucho malestar.

En este sentido, aunque el RITE únicamente establece valores de velocidad media máxima en la zona ocupada, hay otros factores que se deben considerar para disminuir el número de personas insatisfechas. Estos parámetros son:

- La diferencia de temperatura vertical. En locales con personas sentadas entre 0,05 y 1,1 m, en locales con personas de pie entre 0,05 y 1,7 m.
- La temperatura del suelo.
- La asimetría de la temperatura radiante: paredes frías o calientes, y techos fríos o calientes.

La Tabla 9 muestra los valores límite de los factores que producen malestar térmico local. Estos valores dependen de la calidad térmica del ambiente que se pretende obtener.

Factores a considerar para limitar el % de personas insatisfechas	Calidad del ambiente térmico (°C)		
	A	B	C
Diferencia de temperatura vertical	< 2	< 3	< 4
Rango de temperatura del suelo aceptable	19 - 29	19 - 29	17 - 31
Asimetría de temperatura radiante aceptable:			
Techo caliente	< 5	< 5	< 7
Pared fría	< 10	< 10	< 13
Techo frío	< 14	< 14	< 18
Pared caliente	< 23	< 23	< 35

Tabla 9: Valores límite para evitar el malestar térmico local

3.3.3 Humedad Relativa

La humedad del aire es un factor que influye directamente en el malestar térmico.

- Si la humedad es muy alta ($>70\%$) la temperatura operativa es más alta, favoreciendo el incremento de hongos y otros contaminantes microbiológicos e incrementándose la sensación de calor, dificultándose además la evaporación de sudor.
- Si la humedad es demasiado baja ($<30\%$) existe riesgo de sequedad en las membranas mucosas. Además las personas que utilicen lentes de contacto pueden experimentar molestias en los ojos.

Entendemos por humedad del aire el contenido de vapor de agua que hay en el mismo. A partir de esa definición aparecen los siguientes conceptos:

- **Humedad absoluta:** entendemos por *humedad absoluta* a la masa de vapor de agua que hay por unidad de volumen.
- **Humedad relativa** (presión parcial del vapor de agua): entendemos por *humedad relativa* a la relación entre la presión parcial del vapor de agua y la presión de vapor a la misma temperatura. La humedad relativa es 100% si el vapor de agua está saturado, y cero si no hay en absoluto vapor de agua presente.

No existe acuerdo sobre cuál es el intervalo ideal de humedad relativa aunque el más generalizado se fija entre el 20 y el 60% (preferiblemente del 30 al 50%). [2]

3.3.4 Ventilación

Por ventilación entendemos el proceso de alimentación y extracción del aire de un local, por medios naturales o mecanismos, para controlar la calidad desde el punto de vista de sus constituyentes. Este aire puede ser o no tratado desde el punto de vista térmico o higrométrico. Esta propia definición de ventilación distingue dos tipos:

- Natural: proceso de renovación del aire de los locales por medios naturales (acción del viento y/o tiro térmico), la acción de los cuales puede verse favorecida con apertura de los elementos de los cerramientos del local.

- Mecánica: proceso de renovación del aire de los locales por medios mecánicos.

Una ventilación insuficiente es una de las causas más frecuentes de SEE. Normativas sobre aportes mínimos de aire existen en muchos países, pero varían de unos a otros así como entre zonas de no fumadores y de fumadores (intervalo entre 2,5 - 20 l/seg por persona). [2]

La International Energy Agency (IEA) indica que un aporte de aproximadamente 8 litros por segundo (cerca de 30 m³/h) por persona (actividad sedentaria) será adecuada para extraer los bioefluentes humanos (olores) en áreas de no fumadores. En zona de fumadores el aporte de aire fresco debe ser mayor.

Por su parte el estándar ASHRAE 62-1989 propone para obtener una calidad aceptable de aire interior una serie de aportes mínimos de aire fresco. Estos valores pretenden mantener el CO₂ y otros contaminantes dentro de un adecuado margen de seguridad en función de una variabilidad en el tipo de espacios interiores, presuponiendo en la mayoría de los casos que la contaminación producida es proporcional al número de personas que los ocupan. Así para una oficina se recomienda un aporte mínimo por persona de 10 l/seg (cerca de 35 m³/h) y para una sala de fumadores este valor debe aumentarse hasta 30 l/seg por persona.

La ventilación en sí no debiera ser causa de problemas adicionales, sin embargo hay que cuidar el mantenimiento y limpieza de los equipos de ventilación y evitar recirculaciones de aire que puedan introducir nuevos contaminantes.

Las exigencias impuestas por el RITE sobre calidad del aire interior proceden de la norma UNE-EN 13779 y del informe CR 1752 del CEN. Los edificios de viviendas quedan excluidos de estos requerimientos; para ellos son válidos los establecidos en el Documento Básico HS3 del Código Técnico de la Edificación. Para el diseño de los sistemas de ventilación en locales debe tenerse en cuenta:

- Todos los edificios dispondrán de un sistema de ventilación mecánica.
- El aire exterior de ventilación se introducirá debidamente filtrado al edificio.
- El aire podría introducirse sin tratamiento térmico siempre y cuando aseguremos que mantenemos las condiciones de bienestar en la zona ocupada
- En muchos casos (caudal de aire extraído por medios mecánicos >0,5 m³/s) se deberá disponer de recuperador de calor.

El caudal de ventilación de los locales se establece en función de la calidad del aire interior, como se puede ver en la Tabla 10.

IDA 1	Aire de óptima calidad: hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.
IDA 2	Aire de buena calidad: oficinas, residencias (locales comunes de hoteles y similares, residencias de ancianos y de estudiantes), salas de lectura, museos, salas de tribunales, aulas de enseñanza y asimilables y piscinas.
IDA 3	Aire de calidad media: edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos, habitaciones de hoteles y similares, restaurantes, cafeterías, bares, salas de estas, gimnasios, locales para el deporte (salvo piscinas) y salas de ordenadores.
IDA 4	Aire de calidad baja: no se debe aplicar.

Tabla 10: Categorías del aire interior en función del uso de los edificios

El RITE establece 5 métodos para el cálculo del caudal de aire exterior de ventilación. De los cinco métodos, dos son métodos indirectos donde el caudal se determina por la ocupación o por la superficie de los locales. Los otros tres métodos son directos, donde el caudal de ventilación se determina a partir de la carga contaminante del edificio.

La carga contaminante sensorial del edificio depende de la carga sensorial de las personas (*olf/ocupante*) y de la propia contaminación del edificio (*olf/superficie*). Cuando el método directo del cálculo de la ventilación se base en el nivel de CO₂, se deberá conocer la producción de CO₂ de los ocupantes. La Tabla 11 muestra la carga sensorial en *olf* y la producción de CO₂ de los ocupantes de los edificios en función de su actividad.

	Tasa metabólica (met)	Carga sensorial (olf/ocupante)	CO₂ (l/h por ocupante)
Sala de espera	1,0	1,0	19
Oficina	1,2	1,0	19
Sala de conferencias, auditorio	1,2	1,0	19
Cafetería, restaurante	1,2	1,0	19
Aula	1,2	1,3	19
Guardería	1,4	1,2	18
Comercio (clientes sentados)	1,4	1,0	19
Comercio (clientes de pie)	1,6	1,5	19
Grandes almacenes	1,6	1,5	19

Tabla 11: Carga sensorial en *olf/ocupante* y emisiones de CO₂ en litros/horas por ocupante en función de la actividad metabólica realizada

Tipo de uso	m ² /ocupante
Oficinas paisaje	12
Oficinas pequeñas	10
Salas de reuniones	3
Centros comerciales	4
Aulas	2,5
Salas de hospital	10
Habitaciones de hotel	10
Restaurantes	1,5

Tabla 12: Superficie de suelo por ocupante en m²/ocupante. Tabla 22 de la UNE EN13779:2004 y Tabla 12 de la UNE EN13779:2008

La ocupación de los edificios y de los locales se realizará en función del uso previsto y no en función de la ocupación máxima calculada mediante el documento DB SI en base a criterios de seguridad. A modo de referencia, la Tabla 12 muestra la ocupación típica de los locales en función del uso previsto.

3.3.4.1 Métodos Para El Cálculo Del Caudal De Aire Exterior De Ventilación.

A continuación se describen los 5 métodos establecidos en el RITE para el cálculo del caudal de aire exterior de ventilación.

A. Método indirecto de caudal de aire exterior por persona

Se emplearán los valores de la Tabla 13 en locales donde las personas tengan una actividad metabólica de alrededor 1,2 met, cuando la mayor parte de las emisiones contaminantes sean producidas por las personas, y cuando no esté permitido fumar.

Categoría	l/s por persona
IDA 1	20
IDA 2	12,5
IDA 3	8
IDA 4	5

Tabla 13: Caudales de aire exterior l/s por persona (Tabla 1.4.2.1 del RITE)

- En los locales donde se permita fumar, los caudales se duplicarán.
- Si la tasa metabólica (TM) es diferente a 1,2, los caudales se multiplicaran por TM/1,2.

B. Método directo por calidad de aire percibido

Se trata de un método olfativo descrito en la UNE-EN13779:2004. El método es de difícil aplicación. El caudal de ventilación requerido para el bienestar se calcula mediante:

$$Q_c = 10 \cdot \frac{G_c}{C_{c,i} - C_{c,0}} \cdot \frac{1}{\varepsilon_v}$$

Donde:

Q_c = Caudal de ventilación (m³/h).

G_c = Carga contaminante sensorial en olf.

$C_{c,i}$ = Calidad del aire interior percibida deseada en decipol.

$C_{c,0}$ = Calidad del aire exterior percibida en la entrada del aire en decipol.

ε_v = efectividad de la ventilación.

Categoría	dp
IDA 1	0,8
IDA 2	1,2
IDA 3	2,0
IDA 4	3,0

Tabla 14: Calidad del aire percibido, en decipols (Tabla 1.4.2.2 del RITE)

- La calidad de aire interior percibida deseada en decipol ($C_{c,i}$) viene especificada en la Tabla 14 (tabla 1.4.2.2 del Reglamento).
- La calidad del aire exterior percibida en la entrada del aire en decipol ($C_{c,0}$) suele ser nula.
- La carga contaminante sensorial en olf (G_c) se calcula con la Tabla 11 (0,1 olf/m² en edificios poco contaminante).
- La efectividad de ventilación (ε_v) es función de la posición de las rejillas de impulsión y retorno y de la temperatura de aire impulsado.

C. Método directo por concentración de CO₂

Se trata de un método muy adecuado para aplicaciones donde los principales contaminantes se producen por bioefluentes humanos. No se debe emplear en locales donde se permite fumar.

El caudal de ventilación requerido para la salud se calcula mediante:

$$Q_h = \frac{G_h}{C_{h,i} - C_{h,0}} \cdot \frac{1}{\varepsilon_v}$$

Donde:

Q_h = Caudal de ventilación (m³/h).

G_h = Carga contaminante de CO₂ en l/s.

$C_{h,i}$ = Concentración de CO₂ en el aire interior en partes por uno (10⁻⁶ ppm).

$C_{h,0}$ = Concentración de CO₂ en el aire exterior en partes por uno (10⁻⁶ ppm).

ε_v = efectividad de la ventilación.

Categoría	ppm
IDA 1	350
IDA 2	500
IDA 3	800
IDA 4	1200

Tabla 15: Concentración de CO₂ en los locales (Tabla 1.4.2.3 del RITE)

- La carga contaminante de CO₂ (G_h) se calcula con la Tabla 11.
- Los valores de concentración de CO₂ en el aire interior sobre el exterior ($C_{h,i} - C_{h,0}$) en función de la calidad de aire interior (IDA) viene especificada en la Tabla 15 (tabla 1.4.2.3 del Reglamento.)
- La efectividad de ventilación (ε_v) es función de la posición de las rejillas de impulsión y retorno y de la temperatura de aire impulsado.

Categoría	l/s por m ²
IDA 1	no aplicable
IDA 2	0,83
IDA 3	0,55
IDA 4	0,28

Tabla 16: Caudales de aire exterior por unidad de superficie de locales no dedicados a ocupación humana permanente, (Tabla 1.4.2.4 del RITE)

D. Método indirecto de caudal de aire por unidad de superficie

Para espacios no dedicados a ocupación humana permanente, se aplicaran los valores de la Tabla 16.

El caudal de aire de extracción de locales de servicio será como mínimo de 2 l/s por m² de superficie de planta.

E. Método de la dilución

Cuando en un local existan emisiones conocidas de materiales contaminantes específicos, se empleará el método de dilución. El cálculo a realizar será similar al empleado en el método directo por concentración de CO₂.

3.3.5 Ruido

El ruido se define en general como un sonido no deseado y molesto. Se caracteriza por el nivel y la frecuencia. Cuanto más fuerte golpeemos los objetos entre sí, mayor será el nivel de ruido, pero su frecuencia no depende de eso, sino de los materiales que chocan. La sirena de una ambulancia es ejemplo de ruido de frecuencias altas, mientras que el motor de un coche emite sonido de frecuencias fundamentalmente medias y bajas. El individuo medio tiene capacidad para oír sonidos entre 20 y 20.000 Hz (Hertzios) y las conversaciones normales constan de sonidos entre 500 y 3.000 Hz.

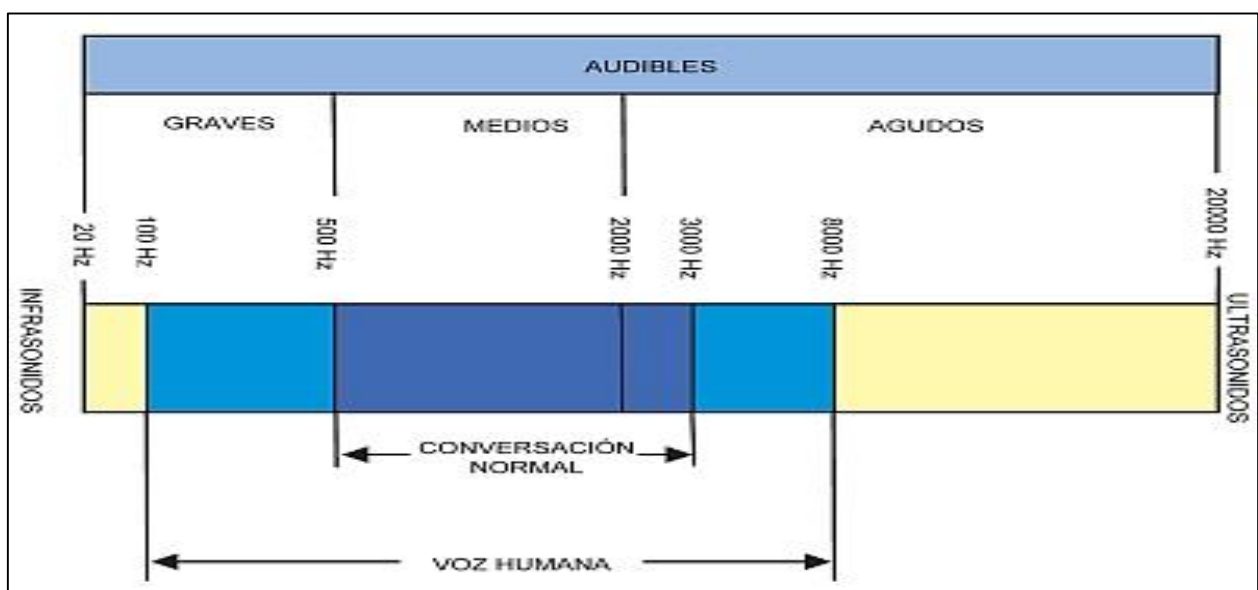


Figura 3: Rango de frecuencias audibles por el ser humano [11]

La existencia de ruido en el ambiente de trabajo puede suponer riesgo de pérdida de audición. Los niveles excesivos de ruido lesionan ciertas terminaciones nerviosas del oído. El individuo es consciente de esta pérdida irrecuperable cuando en sus conversaciones no oye correctamente a los demás, a pesar de que no haya ningún ruido en el ambiente. El riesgo de pérdida auditiva empieza a ser significativo a partir de un nivel equivalente diario ($L_{Aeq,d}$) de 80 dBA suponiendo varios años de exposición y jornadas de 8 horas.

El $L_{Aeq,d}$ es el promedio diario del nivel de presión sonora (nivel de ruido) asignable a un puesto de trabajo, en decibelios "A" (dBA). El dBA es la unidad en la que se mide el nivel de ruido en la escala de ponderación A, mediante la cual el sonido que recibe el aparato medidor es filtrado de forma parecida a como lo hace el oído humano. Aunque las características que hacen diferente a un ruido de otro son su nivel de presión sonora y su frecuencia, mediante la medición del ruido en la escala "A" se puede comparar la nocividad de diferentes tipos de ruido.

Existen, no obstante, otros efectos del ruido, además de la pérdida de audición. Algunos individuos han manifestado alteraciones respiratorias, cardiovasculares, digestivas o visuales. Elevados niveles de ruido pueden provocar trastornos del sueño, irritabilidad y cansancio. El ruido disminuye el nivel de atención y aumenta el tiempo de reacción del individuo frente a estímulos diversos, por lo que favorece el crecimiento del número de errores cometidos y, por lo tanto, de accidentes.

3.3.6 Vibraciones

La exposición a vibraciones se produce cuando se transmite a alguna parte del cuerpo el movimiento oscilante de una estructura, ya sea el suelo, una empuñadura o un asiento.

Las vibraciones pueden ser:

- **De muy baja frecuencia:** como las generadas por el balanceo en trenes y barcos; producen mareo.
- **De baja frecuencia:** como las generadas en los vehículos en movimiento, carretillas elevadoras, etc. Provocan efectos sobre el oído interno y retardo en los tiempos de reacción.
- **De elevada frecuencia:** como las que producen las motosierras, los martillos neumáticos, etc. que tienen consecuencias más graves como son problemas articulares, vasomotores y en brazos y piernas.

Según el modo de contacto entre el objeto vibrante y el cuerpo, la exposición a vibraciones se divide en dos grandes grupos:

- **Vibraciones mano-brazo:** resultan del contacto de los dedos o la mano con algún elemento vibrante (por ejemplo una empuñadura de herramienta portátil, un objeto que se mantenga contra una superficie móvil o un mando de una máquina). Los efectos adversos se manifiestan normalmente en la zona de contacto con la fuente de vibración, pero también puede existir una transmisión importante al resto del cuerpo. El efecto más frecuente y más estudiado es el Síndrome de Reynaud de origen profesional, o Dedo blanco inducido por vibraciones, que tiene su origen en alteraciones vasculares.
- **Vibraciones globales de todo el cuerpo:** la transmisión de vibraciones al cuerpo y sus efectos sobre el mismo depende mucho de la postura y no todos los individuos presentan la misma sensibilidad, en consecuencia la exposición a vibraciones puede no tener las mismas consecuencias en todas las situaciones. Entre los efectos que se atribuyen a las vibraciones globales se encuentran frecuentemente los asociados a traumatismos en la columna vertebral, aunque normalmente las vibraciones no son el único agente causal.

La medida de la vibración transmitida al cuerpo se lleva a cabo mediante vibrómetros cuyo diseño tiene en cuenta el punto de contacto entre el elemento vibrante y el cuerpo (empuñadura, asiento o piso). La valoración se suele hacer basándose en lo dispuesto en la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo y en Norma ISO 1966.2-1987.

3.3.7 Olores

Algunos gases y vapores ocasionan discomfort sensorial debido a olores e irritaciones que pueden producir ansiedad y estrés, especialmente cuando sus fuentes no están identificadas.

Recientemente se han definido dos nuevas unidades, el olf y el decipol, para cuantificar fuentes de contaminación y niveles de contaminación tal como los percibe el ser humano. [2]

- Un olf es el total de contaminantes (bioefluentes) aportados al aire por una persona estándar. Cualquier otra fuente se cuantificará como el número de personas estándar (olfs) necesarios para generar la misma insatisfacción que ella.
- Un decipol es la contaminación ambiental generada por una persona estándar (un olf), ventilada por 10 L/seg de aire no contaminado.

3.3.8 Iones

Algunos autores defienden la hipótesis de que la ausencia de iones negativos en un ambiente cerrado puede ser el origen de un SEE. No existe sin embargo evidencia de que la utilización de generadores de iones tenga beneficios totalmente demostrables. [2]

3.4 Como Efectuar Las Investigaciones Asociadas A Un Edificio

En general los problemas relacionados con un edificio se manifiestan cuando alguno(s) de sus ocupantes se quejan a la dirección o a los responsables del ambiente ocupacional de molestias e incomodidades tales como corrientes de aire, frío, calor, ruido, etc.

El INSHT, a partir de las recomendaciones de La Comisión de las Comunidades Europeas, estableció un protocolo de actuación que se desarrolla en cuatro fases y que se resume en la Tabla 17.

Fase	Tipo de investigación	Realizada o propuesta por	Actuaciones
1ª	Revisión general. Aplicación de los cuestionarios.	Médico ocupacional, representante o técnico de seguridad, técnico de mantenimiento.	Contactar expertos para evaluar y organizar las acciones a tomar. Informar.
2ª	Inspección y medidas preliminares de los indicadores de clima. Acciones correctoras puntuales.	Técnico de seguridad, técnico de ventilación.	Revisar sistema de ventilación (limpiar y ajustar). Separar fumadores. Aislar fuentes de contaminación.
3ª	Medidas de ventilación, indicadores de clima y otros factores implicados.	Técnico de seguridad, higienista industrial, técnico de ventilación.	Aumentar la ventilación. Instalar o arreglar protectores solares.
4ª	Investigación médica. Análisis de contaminantes específicos.	Médico ocupacional, higienista industrial.	Renovar mobiliario o materiales de construcción. Trasladar personal y cambiar el ritmo de las actividades. Instalar extracciones localizadas.

Tabla 17: Esquema de una investigación programada en un edificio enfermo

La primera respuesta debe ser comprobar si las condiciones operacionales de las instalaciones que regulan la ventilación del edificio son correctas. Es importante, en este punto, comprobar si las personas afectadas puede modificar directamente la temperatura y la entrada de aire.

Si las condiciones operacionales son consideradas normales y las quejas continúan, habrá que iniciar una investigación técnica e higiénica para determinar la extensión y la naturaleza del problema. Esta investigación permitirá también estimar si los problemas pueden considerarse sólo desde un punto de vista funcional o si han de intervenir especialistas en higiene y psicología.

1ª fase. Investigación inicial del edificio y planteo del problema

En esta fase preliminar se realiza una revisión general del edificio que pretende identificar el tipo y la gravedad del problema manifestado, para decidir si son precisas más investigaciones o incluso asesoramientos externos.

A continuación, se distribuye entre un cierto número de empleados, de forma aleatoria, un cuestionario de tipo sencillo referente a síntomas y quejas que incluya distintos factores. Las respuestas no van a ser utilizadas para tomar acciones individuales sino que se utilizarán como base estadística y para establecer si la prevalencia de síntomas excede un nivel aceptable.

El cuestionario deberá distinguir, sin lugar a dudas, entre los síntomas experimentados en el interior y en el exterior del edificio. Debe también incluir cuestiones psicosociales y será estrictamente confidencial.

La revisión técnica del edificio y de las condiciones de instalación se basará en la información y en los planos suministrados por el personal de mantenimiento. La lista de "chequeo" que describa el edificio, los materiales de construcción, el tipo de instalaciones y el estado general del mismo debería incluir por ejemplo:

- Edad del edificio.
- Información sobre las renovaciones realizadas durante los últimos años (trabajos y fechas).
- Número de personas por oficina (promedio y máx.).
- Área de oficina por persona (promedio y min.).
- Volumen de aire por persona (promedio y min.).
- Suelos: material y recubrimiento.
- Paredes: material y recubrimiento.
- Techo: material y recubrimiento.

- Sistema de calefacción: tipo y sistema de regulación.
- Sistema de ventilación: ventilación natural, extracción y/o sistema de suministro de aire mecánico, filtros. Para sistemas de suministro de aire: información adicional sobre recirculación, humidificación, enfriamiento de aire, localización de la toma de aire.
- Regulación de la ventilación: aporte de aire exterior y los correspondientes aportes promedio y mínimo por persona (litros/ segundo persona) Indicar si estos valores se basan en presunciones, criterios de diseño o medidas realizadas.
- Procedimiento de funcionamiento para los sistemas de calefacción y ventilación: parada nocturna, recirculación, humidificación.
- Procedimientos de limpieza: diaria, semanal, mensual, procedimientos anuales para los suelos, muebles, etc. (cambios recientes en las metodías).
- Condiciones de iluminación: general, individual.
- Equipos generadores de ruido, contaminación, calor: tipo y localización. Utilización de productos que pueden ocasionar el deterioro de la calidad del aire (productos de limpieza, vaporizadores para plantas, etc.).
- Escapes de agua (anteriores o actuales).
- Medidas efectuadas del clima interior.

2ª fase. Medidas de inspección y guía

En esta fase se comparará el uso y el funcionamiento actual del edificio con el diseño y la función de la planta original y se tomarán acciones correctoras puntuales.

Hay que considerar aspectos tales como:

- Humo de tabaco. Lugar y cantidad de su presencia. Posible recirculación.
- Materiales de construcción y mobiliario.
- Localización de las fotocopiadoras e impresoras láser ¿Están en habitaciones separadas y ventiladas?
- Olores. Caracterización e identificación de las fuentes.
- Nivel de limpieza. Polvo en alfombras, estanterías, etc.
- Manipulación de gran cantidad de papel. Fuentes de polvo orgánico y gases originados en la impresión.
- Presencia de plantas verdes. Utilización de productos químicos para su tratamiento.
- Humedades, escapes de agua.
- Presencia de mohos.

- Infiltraciones de aire procedente de garajes, laboratorios, restaurantes, tiendas, etc. del mismo edificio.
- Situación de la toma de aire exterior teniendo en cuenta su separación de la salida de contaminantes por los extractores de los sistemas de ventilación.
- Uso de humidificadores y situación. ¿Se limpian regularmente?
- Aberturas de entrada y salida de aire. ¿Están limpias sin estar bloqueadas por el polvo?
- Uso de protectores de sol.
- Número de empleados en las oficinas. ¿Son los inicialmente planificados?
- Deben realizarse medidas aleatorias de indicadores de calidad de aire y de clima, tales como CO₂, y temperatura del aire, controlar las corrientes de aire utilizando ampollas de humo y evaluar aquellos factores que en los cuestionarios se mencionen como molestos (por ej. ruido o iluminación). Se revisarán habitaciones con y sin problemas.

3ª fase. Medidas de ventilación, indicadores de clima y otros factores implicados

Si las acciones tomadas en las fases anteriores no han logrado disminuir los problemas, en esta fase se realizará un análisis completo del sistema de ventilación y del clima del ambiente interior. Para ello se volverá a pasar el cuestionario inicial unos meses después de haber tomado las acciones correctoras previas. Evidentemente en el caso de que se presenten variaciones estacionales, en los síntomas y en las quejas, respecto a factores climáticos específicos puede complicarse la evaluación de esta segunda versión del cuestionario.

Ventilación

- Inspección visual de la acumulación de suciedad y polvo en los filtros, baterías de calentamiento y de enfriamiento y en los intercambiadores de calor.
- Control del ajuste de temperaturas, interruptores de inicio y parada.
- Comprobación del funcionamiento de los sistemas de control automático.
- Medida del grado de recirculación.
- Medida de los flujos de suministro y extracción para todo el sistema y muestreo representativo de las habitaciones.
- Medidas del intercambio de aire.
- Medidas de la eficacia de la ventilación cuando se sospechen riesgos debidos a que ésta sea baja.

Calidad del aire y otros factores

- Habrá que medir de nuevo los indicadores de calidad del aire tales como CO₂ y CO y de calidad de clima como la temperatura del aire, pero más extensamente que antes e incluir los cambios diurnos que puedan presentarse.
- En edificios de nueva construcción o reformados, si la presencia de olores es significativa, se medirá la presencia de compuestos orgánicos volátiles totales o individuales (en especial irritantes fuertes) y si los materiales de construcción o los muebles son una posible fuente de olor importante, también se medirá el formaldehído.
- En aquellas habitaciones en las que se observe la presencia dañada o no protegida de materiales aislantes a base de fibras minerales habrá que efectuar mediciones de fibras. Se recomendará su sustitución o sellado.
- En aquellas situaciones en que se sospeche una escasa limpieza o en las que se manipulen, por ejemplo, grandes cantidades de papel, como puede ocurrir en los edificios dedicados a oficinas, habrá que medir el contenido de polvo en el aire y en el suelo. También puede ser importante evaluar la composición del polvo.
- Medida de la iluminación. Incluso en ausencia de quejas los usuarios de pantallas de ordenadores pueden tener problemas de iluminación no reconocidos.
- Medidas de ruido.
- Medidas de la correcta distribución de las corrientes de aire.
- Cuando el techo esté más caliente que el aire habrá que medir la temperatura del techo o la temperatura de plano radiante correspondiente a esa superficie.

4ª fase. Examen médico e investigaciones asociadas

En esta fase se efectuará un examen médico en el que puede ser necesario examinar empleados con y sin síntomas. El examen lo realizará, en general, una unidad médica ocupacional.

Los exámenes médicos, que pueden incorporar un cuestionario detallado relacionado con los síntomas, deben siempre incluir preguntas relacionadas con las condiciones psicológicas en el trabajo, las relaciones individuales entre compañeros y con los superiores y el tipo de trabajo que se está realizando ya que todo ello puede influir en los síntomas. [2]

3.5 Normativa

En virtud de la prevención de riesgos laborales existe un nutrido conjunto de leyes destinadas a garantizar la seguridad, la higiene y la salud de los trabajadores en sus lugares de empleo, ya sean oficinas, construcciones, etc.

Para llevar a cabo una organización estructural a la hora de presentar la legislación vigente en la que está basado el presente proyecto, desarrollaremos este apartado desde una legislación global a nivel europeo, derivando en una legislación más específica a nivel de Estado miembro.

3.5.1 Legislación Comunitaria En Materia De Salud Y Seguridad

Los países que forman la Unión Europea decidieron, a través de tratados constitutivos, llevar a cabo determinadas políticas en común incluida la Política en materia de seguridad y salud en el trabajo.

Sobre la base del **artículo 153 del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea** (*antiguo artículo 137 TCE*) se han adoptado estas diversas medidas. Las directivas comunitarias son jurídicamente vinculantes y deben transponerse al Derecho interno de cada Estado miembro.

La **Directiva marco**, con su amplio ámbito de aplicación, así como otras directivas que rigen aspectos específicos sobre la salud y la seguridad en el trabajo, constituyen las normas básicas del Derecho comunitario en materia de salud y seguridad. Esta directiva establece unos requisitos mínimos fundamentales, como el principio y evolución de riesgos, así como las responsabilidades de los empresarios y de los trabajadores.

3.5.1.1 Directivas Comunitarias

Desde la redacción del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea se han adoptado una gran variedad de directivas comunitarias que establecen unos requisitos mínimos para proteger la salud y la seguridad de los trabajadores. Los Estados miembros son libres de adoptar normas más estrictas para la protección de los trabajadores en el momento de transponer las directivas comunitarias en el derecho interno, por lo que los requisitos en materia de salud y seguridad en el trabajo pueden variar de un Estado miembro a otro.

Sobre esta base jurídica se adoptó una serie de directivas con el llamado “nuevo enfoque” en virtud de los cuales las organizaciones europeas de normalización –el Comité Europeo de Normalización (CEN), el Comité Europeo de Normalización Electrónica (CENELEC) y el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación (ETSI)- establecen y actualizan periódicamente las normas europeas.

- **La Directiva Marco Sobre Salud Y Seguridad En El Trabajo**

La Directiva marco sobre salud y seguridad en el trabajo (**Directiva 89/391 CEE**), adoptada en 1989, constituyó un hito fundamental para la mejora en este ámbito. La Directiva garantiza unos requisitos mínimos en materia de salud y seguridad en toda Europa y, al mismo tiempo, permite a los Estados miembros mantener esos mínimos o establecer medidas más restrictivas.

En 1989, algunas disposiciones de la Directiva marco aportaron considerables innovaciones, que incluían, entre otros, los siguientes aspectos:

- El término «entorno de trabajo» se estableció de conformidad con lo dispuesto en el Convenio no 155 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), y define un enfoque moderno que tiene en cuenta la seguridad técnica y la prevención general de enfermedades.
- La Directiva tiene por objetivo establecer un mismo nivel de seguridad y salud a favor de todos los trabajadores (con excepción únicamente de los trabajadores domésticos y de determinados servicios públicos y militares).
- La Directiva obliga a los empresarios a adoptar las medidas preventivas adecuadas para garantizar una mayor seguridad y salud en el trabajo.
- La Directiva introduce como elemento fundamental el principio de evaluación de riesgos y define sus principales elementos (por ejemplo, la identificación del riesgo, la participación de los trabajadores, la adopción de medidas adecuadas que otorguen carácter prioritario a la eliminación del riesgo en su origen, la documentación y la reevaluación periódicas de los peligros en el lugar de trabajo).
- La nueva obligación de adoptar medidas pone implícitamente de manifiesto la importancia de las nuevas formas de gestión de la salud y la seguridad en el trabajo en el marco de los procesos generales de gestión.

La Directiva marco debía transponerse al Derecho interno a más tardar a finales de 1992. Las repercusiones de la transposición a los ordenamientos jurídicos nacionales fueron muy diversas en los Estados miembros. En algunos de ellos, la Directiva marco conllevó importantes consecuencias jurídicas, debido a la existencia de una legislación nacional inadecuada, mientras que en otros no fue necesario realizar grandes ajustes.

En 2004, la Comisión Europea emitió la Comunicación (COM [2004] 62) sobre la aplicación práctica de las disposiciones de algunas directivas, en concreto la **Directiva 89/391 CEE (Directiva marco)**, la **Directiva 89/654 CEE (lugares de trabajo)**, la Directiva 89/655 CEE (equipos de trabajo), la Directiva 89/656 CEE (equipos de protección individual), la Directiva 90/269 CEE (manipulación manual de cargas) y la Directiva 90/270 CEE (equipos que incluyen pantallas de visualización). Esta Comunicación establecía que quedaba demostrada la influencia positiva de la legislación comunitaria sobre las normas nacionales en materia de salud y seguridad en el trabajo, no solo en el ámbito de las legislaciones nacionales de aplicación, sino también por lo que se refiere a la aplicación práctica en las empresas y en las instituciones del sector público.

Directiva 89/654/CEE del Consejo, de 30 de Noviembre de 1989, relativa a las disposiciones mínimas de Seguridad y Salud en los Lugares de Trabajo (primera directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE). Diario Oficial No L 393 de 30/12/1989.

ARTÍCULO 2. A los efectos de la presente Directiva, se entenderá por lugares de trabajo, los lugares destinados a albergar puestos de trabajo, situados en los edificios de la empresa y/o del establecimiento, incluido cualquier otro lugar dentro del área de la empresa y/o del establecimiento al que el trabajador tenga acceso en el marco de su trabajo.

ARTÍCULO 3. Lugares de trabajo utilizados por primera vez. Los lugares de trabajo que se utilicen por primera vez después del 31 de diciembre de 1992 deberán cumplir las disposiciones mínimas de seguridad y de salud que figuran en el Anexo I.

ARTÍCULO 4. Lugares de trabajo ya utilizados. Los lugares de trabajo ya utilizados antes del 1 de enero de 1993 deberán cumplir las disposiciones mínimas de seguridad y salud que figuran en el Anexo II, a más tardar tres años después de dicha fecha. (No se incluye el Anexo II en el presente proyecto debido a la antigüedad del edificio en el que se realiza el estudio)

ANEXO I.

Apartado 6. Ventilación de los lugares de trabajo cerrados.

1. Habida cuenta los métodos de trabajo y las presiones físicas impuestas a los trabajadores, habrá que velar para que los lugares de trabajo cerrados dispongan de aire sano en cantidad suficiente. Si se utiliza una instalación de ventilación, deberá mantenerse en buen estado de funcionamiento. Un sistema de control deberá indicar toda avería siempre que sea necesario para la salud de los trabajadores.
2. Si se utilizaren instalaciones de aire acondicionado o de ventilación mecánica deberán funcionar de manera que los trabajadores no estén expuestos a corrientes de aire molestas. Todos los sedimentos y manchas que puedan entrañar un riesgo inmediato para la salud de los trabajadores mediante contaminación del aire respirado, deberán eliminarse con rapidez.

Apartado 7. Temperatura de los locales.

1. La temperatura en los locales de trabajo deberá ser adecuada al organismo humano durante el tiempo de trabajo, teniendo en cuenta los métodos de trabajo aplicados y las presiones físicas impuestas a los trabajadores.
2. La temperatura de los locales de descanso, de los locales para el personal de guardia, de los servicios, de los comedores y de los locales de primeros auxilios deberá responder al uso específico de estos locales.
3. Las ventanas, luces cenitales y los tabiques acristalados deberán evitar una radiación solar excesiva en los lugares de trabajo, teniendo en cuenta el tipo de trabajo y el carácter del lugar de trabajo.

Apartado 8. Iluminación natural y artificial de los locales.

1. Los lugares de trabajo deberán tener, en la medida de lo posible, luz natural suficiente y estar equipados con dispositivos que permitan una iluminación artificial adecuada para proteger la seguridad y la salud de los trabajadores.
2. Las instalaciones de iluminación de los locales de trabajo y de las vías de comunicación deberán colocarse de manera que el tipo de iluminación previsto no presente riesgo de accidente para los trabajadores.

3. Los lugares de trabajo en los que los trabajadores estén particularmente expuestos a riesgos en caso de avería de la iluminación artificial, deberán poseer una iluminación de seguridad intensa suficiente.

Directiva 2003/10/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 6 de febrero de 2003 sobre las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (ruido).

Objeto y Ámbito de aplicación

1. La presente Directiva, que es la decimoséptima Directiva específica con arreglo al apartado 1 del artículo 16 de la Directiva 89/391/CEE, establece las disposiciones mínimas en materia de protección de los trabajadores contra los riesgos para su seguridad y su salud originados o que puedan originarse por la exposición al ruido, en particular los riesgos para el oído.
2. Las disposiciones de la presente Directiva se aplicarán a las actividades en las que los trabajadores estén o puedan estar expuestos a riesgos derivados del ruido como consecuencia de su trabajo.

Definiciones

A efectos de la presente Directiva, los parámetros físicos utilizados como indicadores de riesgo se definen de la siguiente manera:

- Presión Acústica de pico (P_{pico}): el valor máximo de la presión acústica instantánea ponderada "C" en frecuencia.
- Nivel de exposición diaria al ruido ($L_{EX,Sh}$) (dB(A), ref. 20 μ Pa): promedio ponderado en el tiempo de los niveles de exposición al ruido para una jornada de trabajo nominal de ocho horas tal y como se define en la norma internacional ISO 1999; 1990, punto 3.6. Se considerarán todos los ruidos existentes en el trabajo, incluidos los ruidos de impulsos.
- Nivel de exposición semanal al ruido ($L_{EX,Sh}$): promedio ponderado en el tiempo de los niveles de exposición diaria al ruido para una semana de trabajo nominal de cinco jornadas de ocho horas, tal y como se define en la norma internacional ISO 1999:1990, punto 3.6 (nota 2).

Valores límites de exposición y valores de exposición que dan lugar a una acción:

1. A los efectos de la presente Directiva, los valores límite de exposición y los valores de exposición que dan lugar a una acción respecto a los niveles de exposición diaria al ruido y la presión acústica de pico se fijan en:
 - Valores límites de exposición:
 $L_{EX,Sh} = 87 \text{ dB (A)}$ y $P_{pico} = 200 \text{ Pa}$, respectivamente.
 - Valores superiores de exposición que dan lugar a una acción:
 $L_{EX,Sh} = 85 \text{ dB(A)}$ y $P_{pico} = 140 \text{ Pa}$, respectivamente.
 - Valores límites de exposición que dan lugar a una acción:
 $L_{EX,Sh} = 80 \text{ dB(A)}$ y $P_{pico} = 112 \text{ Pa}$, respectivamente.
2. En circunstancias debidamente justificadas, para las actividades en las que la exposición diaria al ruido varíe considerablemente de una jornada laboral a otra, los Estados miembros podrán, a efectos de la aplicación de los valores límite y de los valores de exposición que dan lugar a una acción, utilizar el nivel de exposición semanal al ruido en lugar del nivel de exposición diaria al ruido para evaluar los niveles de ruido a los que los trabajadores están expuestos, a condiciones de que:
 - El nivel de exposición semanal al ruido, obtenido mediante un control apropiado, no sea superior al valor límite de exposición de 87 dB(A) .
 - Se adopten medidas adecuadas para reducir al mínimo el riesgo asociado a dichas actividades.

3.5.1.2 Organigrama

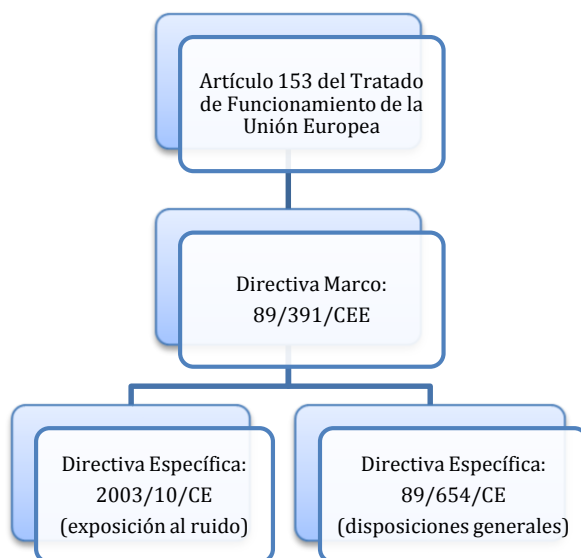


Figura 4: Organigrama de la normativa Comunitaria. Trabajo y Salud.

3.5.2 Legislación Estatal En Materia De Salud Y Seguridad

Los organismos españoles oficiales encargados de llevar a cabo la materia relacionada con el cumplimiento de las leyes en el campo de seguridad y salud en el trabajo, ambos pertenecientes al Ministerio de Trabajo e Inmigración son:

- **Inspección de Trabajo y Seguridad Social (ITSS).** Se encarga de controlar y vigilar el desarrollo y cumplimiento de las normas en materia Laboral y de Seguridad Social.(
- **Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).** Es el organismo encargado de estudiar las condiciones para que esos objetivos se cumplan.

Legislatura Vigente:

- (
- **Ley 54/2003**, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales. (BOE número 298 de 13 de diciembre de 2003).
 - **Ley 31/1995**, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales. (BOE número 269 de 10 de noviembre de 1995).
 - **Real Decreto 1027/2007**, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios.
 - **Real Decreto 1299/2006**, de 10 de noviembre, del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, por el que se aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de Seguridad Social y se establecen criterios para su notificación y registro. (BOE número 302 de 19 de diciembre de 2006).
 - **Real Decreto 486/1997**, de 14 de abril de 1997, por el que se establecen las Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud en los lugares de Trabajo. (BOE número 97 de 23 de abril de 1997).

- **RD1027/2007 Capítulo II. Artículo 12. Eficiencia energética**

Las instalaciones térmicas deben diseñarse y calcularse, ejecutarse, mantenerse y utilizarse de tal forma que se reduzca el consumo de energía convencional de las instalaciones térmicas y, como consecuencia, las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes atmosféricos, mediante la utilización de sistemas eficientes energéticamente, de sistemas que permitan la recuperación de energía y la utilización de las energías renovables y de las energías residuales, cumpliendo los requisitos siguientes:

1. Rendimiento energético: los equipos de generación de calor y frío, así como los destinados al movimiento y transporte de fluidos, se seleccionarán en orden a conseguir que sus prestaciones, en cualquier condición de funcionamiento, estén lo más cercanas posible a su régimen de rendimiento máximo.
2. Distribución de calor y frío: los equipos y las conducciones de las instalaciones térmicas deben quedar aislados térmicamente, para conseguir que los fluidos portadores lleguen a las unidades terminales con temperaturas próximas a las de la salida de los equipos de generación.
3. Regulación y control: las instalaciones estarán dotadas de los sistemas de regulación y control necesarios para que se puedan mantener las condiciones de diseño previstas en los locales climatizados, ajustando, al mismo tiempo, los consumos de energía a las variaciones de la demanda térmica, así como interrumpir el servicio.
4. Contabilización de consumos: las instalaciones térmicas deben estar equipadas con sistemas de contabilización para que el usuario conozca su consumo de energía, y para permitir el reparto de los gastos de explotación en función del consumo, entre distintos usuarios, cuando la instalación satisfaga la demanda de múltiples consumidores.
5. Recuperación de energía: las instalaciones térmicas incorporarán subsistemas que permitan ahorro, la recuperación de energía y el aprovechamiento de energías residuales.
6. Utilización de energías renovables: las instalaciones térmicas aprovecharán las energías renovables disponibles, con el objetivo de cubrir con estas energías una parte de las necesidades del edificio.

- **RD486/1997 Capítulo II. Artículo 7. Condiciones ambientales**

1. La exposición a las condiciones ambientales de los lugares de trabajo no deberá suponer un riesgo para la seguridad y salud de los trabajadores. A tal fin, dichas condiciones ambientales y, en particular, las condiciones termohigrométricas de los lugares de trabajo deberán ajustarse a lo establecido en el Anexo III (véase más abajo).
2. La exposición a los agentes físicos, químicos y biológicos del ambiente de trabajo se regirá por lo dispuesto en su normativa específica.

- **RD486/1997 Capítulo II. Artículo 8. Iluminación**

La iluminación de los lugares de trabajo deberá permitir que los trabajadores dispongan de condiciones de visibilidad adecuadas para poder circular por los mismos y desarrollar en ellos sus actividades sin riesgo para su seguridad y salud. La iluminación de los lugares de trabajo deberá cumplir, en particular, las disposiciones del Anexo IV (véase más abajo).

- **RD486/1997 Anexo III: Condiciones ambientales en los lugares de trabajo.**

1. La exposición a las condiciones ambientales de los lugares de trabajo no debe suponer un riesgo para la seguridad y la salud de los trabajadores.
2. Asimismo, y en la medida de lo posible, las condiciones ambientales de los lugares de trabajo no deben constituir una fuente de incomodidad o molestia para los trabajadores. A tal efecto, deberán evitarse las temperaturas y las humedades extremas, los cambios bruscos de temperatura, las corrientes de aire molestas, los olores desagradables, la irradiación excesiva y, en particular, la radiación solar a través de ventanas, luces o tabiques acristalados.
3. En los locales de trabajo cerrados deberán cumplirse, en particular, las siguientes condiciones:
 - a. La temperatura de los locales donde se realicen trabajos sedentarios propios de oficinas o similares estará comprendida entre 17y 27°C. La temperatura de los locales donde se realicen trabajos ligeros estará comprendida entre 14 y 25°C.

- b. La humedad relativa estará comprendida entre el 30 y el 70%, excepto en los locales donde existan riesgos por electricidad estática en los que el límite inferior será el 50%.
- c. Los trabajadores no deberán estar expuestos de forma frecuente o continuada a corrientes de aire cuya velocidad exceda los siguientes límites:
 - 1. Trabajos en ambientes no calurosos: 0,25 m/s.
 - 2. Trabajos sedentarios en ambientes calurosos: 0,5 m/s.
 - 3. Trabajos no sedentarios en ambientes calurosos: 0,75 m/s.

Estos límites no se aplicarán a las corrientes de aire expresamente utilizadas para evitar el estrés en exposiciones intensas al calor, ni a las corrientes de aire acondicionado, para las que el límite será de 0,25 m/s en el caso de trabajos sedentarios y 0,35 m/s en los demás casos.

- d. Sin perjuicio de lo dispuesto en relación a la ventilación de determinados locales en el Real Decreto 1618/1980, de 4 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Calefacción, Climatización y Agua Caliente Sanitaria, la renovación mínima del aire de los locales de trabajo, será de 30 metros cúbicos de aire limpio por hora y trabajador, en el caso de trabajos sedentarios en ambientes no calurosos ni contaminados por humo de tabaco y de 50 metros cúbicos, en los casos restantes, a fin de evitar el ambiente viciado y los olores desagradables. El sistema de ventilación empleado y, en particular, la distribución de las entradas de aire limpio y salidas de aire viciado, deberán asegurar una efectiva renovación del aire del local de trabajo.
- 4. A efectos de la aplicación de lo establecido en el apartado anterior deberán tenerse en cuenta las limitaciones o condicionantes que puedan imponer, en cada caso, las características particulares del propio lugar de trabajo, de los procesos u operaciones que se desarrollen en él y del clima de la zona en la que esté ubicado. En cualquier caso, el aislamiento térmico de los locales cerrados debe adecuarse a las condiciones climáticas propias del lugar.
 - 5. En los lugares de trabajo al aire libre y en los locales de trabajo que, por la actividad desarrollada, no puedan quedar cerrados, deberán tomarse medidas para que los trabajadores puedan protegerse, en la medida de lo posible, de las inclemencias del tiempo.

6. Las condiciones ambientales de los locales de descanso, de los locales para el personal de guardia, de los servicios higiénicos, de los comedores y de los locales de primeros auxilios deberán responder al uso específico de estos locales y ajustarse, en todo caso, a lo dispuesto en el apartado 3.

- **RD486/1997 Anexo IV: Iluminación de los lugares de trabajo**

1. La iluminación de cada zona o parte de un lugar de trabajo deberá adaptarse a las características de la actividad que se efectúe en ella, teniendo en cuenta:
 - a. Los riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores dependientes de las condiciones de visibilidad.
 - b. Las exigencias visuales de las tareas desarrolladas.
2. Siempre que sea posible los lugares de trabajo tendrán una iluminación natural, que deberá complementarse con una iluminación artificial cuando la primera, por si sola, no garantice las condiciones de visibilidad adecuadas. En tales casos se utilizará preferentemente la iluminación artificial general, complementada a su vez con una localizada cuando en zonas concretas se requieran niveles de iluminación elevados.
3. Los niveles mínimos de iluminación de los lugares de trabajo serán los establecidos en Tabla 18:

(*) El nivel de iluminación de una zona en la que se ejecute una tarea se medirá a la altura donde esta se realice; en el caso de zonas de uso general a 85 cm. del suelo y en el caso de las vías de circulación a nivel del suelo.

Zona o parte del lugar de trabajo(*)	Nivel mínimo de iluminación (lux)
Zonas donde se ejecuten tareas con:	
1º Bajas exigencias visuales	100
2º Exigencias visuales moderadas	200
3º Exigencias visuales altas	500
4º Exigencias visuales muy altas	1000
Áreas o locales de uso ocasional	50
Áreas o locales de uso habitual	100
Vías de circulación de uso ocasional	25
Vías de circulación de uso habitual	50

Tabla 18: Niveles mínimos de iluminación dependiendo de la zona de trabajo

4. Estos niveles mínimos deberán duplicarse cuando concurren las siguientes circunstancias:
 - a. En las áreas o locales de uso general y en las vías de circulación, cuando por sus características, estado u ocupación, existan riesgos apreciables de caídas, choques u otros accidentes.
 - b. En las zonas donde se efectúen tareas, cuando un error de apreciación visual durante la realización de las mismas pueda suponer un peligro para el trabajador que las ejecuta o para terceros o cuando el contraste de luminancias o de color entre el objeto a visualizar y el fondo sobre el que se encuentra sea muy débil. No obstante lo señalado en los párrafos anteriores, estos límites no serán aplicables en aquellas actividades cuya naturaleza lo impida.
5. La iluminación de los lugares de trabajo deberá cumplir, además, en cuanto a su distribución y otras características, las siguientes condiciones:
 - a. La distribución de los niveles de iluminación será lo más uniforme posible.
 - b. Se procurará mantener unos niveles y contrastes de luminancia adecuados a las exigencias visuales de la tarea, evitando variaciones bruscas de luminancia dentro de la zona de operación y entre ésta y sus alrededores.
 - c. Se evitarán los deslumbramientos directos producidos por la luz solar o por fuentes de luz artificial de alta luminancia. En ningún caso éstas se colocarán sin protección en el campo visual del trabajador.
 - d. Se evitarán, asimismo, los deslumbramientos indirectos producidos por superficies reflectantes situadas en la zona de operación o sus proximidades.
 - e. No se utilizarán sistemas o fuentes de luz que perjudiquen la percepción de los contrastes, de la profundidad o de la distancia entre objetos en la zona de trabajo, que produzcan una impresión visual de intermitencia o que puedan dar lugar a efectos estroboscópicos.
6. Los lugares de trabajo, o parte de los mismos, en los que un fallo del alumbrado normal suponga un riesgo para la seguridad de los trabajadores dispondrán de un alumbrado de emergencia de evacuación y de seguridad. Los sistemas de iluminación utilizados no deben originar riesgos eléctricos, de incendio o de explosión, cumpliendo, a tal efecto, lo dispuesto en la normativa específica vigente.

4. Arduino

4.1 ¿Qué Es Arduino?

Arduino es una plataforma de prototipo de código abierto (open-source) basada en el fácil manejo de hardware y software. Las placas Arduino son capaces de leer entradas (Luz en un sensor, un dedo en un botón o un mensaje de Twitter) y convertirlo en una salida (activar un motor, encender un LED o publicar algo online). Puedes decirle a la placa que hacer, enviándole un conjunto de instrucciones al micro-controlador de la placa. Para ello se utiliza el lenguaje de programación de Arduino (basado en Wiring), y el software de Arduino (IDE) basado en Processing.

A través de los años Arduino ha sido el cerebro de miles de proyectos, desde objetos cotidianos a complejos instrumentos científicos. Una comunidad mundial de fabricantes (estudiantes, aficionados, artistas, programadores y profesionales) se han reunido alrededor de esta plataforma de código abierto, sus contribuciones han añadido una increíble cantidad de conocimiento accesible que puede ser de gran ayuda para los principiantes como para expertos.

Arduino nació en el Instituto de Diseño de Interacciones de Ivrea (Ivrea Interaction Design Institute) como una herramienta fácil para prototipado rápido, dirigido a estudiantes sin conocimientos en electrónica y programación. Tan pronto como llegó a una comunidad más amplia, la placa Arduino comenzó a cambiar para adaptarse a las nuevas necesidades y desafíos, diferenciando su oferta de una placa simple de 8 bits a productos para aplicaciones de IoT (Internet de las cosas), wearable, impresión 3D y entornos integrados. Todas las placas Arduino son completamente de código abierto, permitiendo a los usuarios construirlos de forma independiente y finalmente adaptarlos a sus necesidades particulares. El software también es de código abierto, y está creciendo a través de las aportaciones de los usuarios en todo el mundo. [3]

4.2 ¿Por Qué Arduino?

Gracias a su experiencia de usuario sencilla y accesible, Arduino ha sido utilizada en miles de aplicaciones y proyectos diferentes. El software de Arduino es fácil de usar para los principiantes, pero lo suficientemente flexible para los usuarios avanzados. Se ejecuta en Mac, Windows y Linux. Los profesores y los estudiantes lo utilizan para construir instrumentos científicos de bajo coste, para demostrar los principios de química y física, o para empezar

con la programación y la robótica. Diseñadores y arquitectos construyen prototipos interactivos, músicos y artistas lo utilizan para instalaciones y experimentar con nuevos instrumentos musicales. Los fabricantes por supuesto, lo utilizan para construir muchos de los proyectos expuestos en la Feria de Fabricantes. Arduino es una herramienta clave para aprender cosas nuevas. Cualquier persona (niños, aficionados, artistas, programadores) puede comenzar a jugar simplemente siguiendo paso a paso las instrucciones de un kit, o compartir ideas en línea con otros miembros de la comunidad de Arduino.

Hay muchos otros micro-controladores y plataformas de micro-controladores disponibles para computación física. Parallax Basic Stamp, Netmedia's BX-24, Phidgets, MIT's Handyboard y muchos otros ofrecen una funcionalidad similar. Todas estas herramientas toman los detalles sucios de la programación de micro-controladores y los envuelve en un paquete fácil de usar. Arduino también simplifica el proceso de trabajar con micro-controladores, pero ofrece algunas ventajas para profesores, estudiantes y aficionados interesados sobre otros sistemas:

- **Asequible:** las placas Arduino son relativamente baratas en comparación con otras plataformas de micro-controladores.
- **Multiplataforma:** el software de Arduino (IDE) se ejecuta en los sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y Linux.
- **Entorno de programación simple y claro:** el software de Arduino (IDE) es fácil de usar para los principiantes, pero lo suficientemente flexible para que los usuarios avanzados puedan aprovecharlo también.
- **El código abierto y el software extensible:** el software de Arduino está publicado como herramientas de código abierto, disponible para la extensión por programadores experimentados. El idioma se puede ampliar a través de bibliotecas de C++. También es posible agregar código AVR-C directamente en los programas de Arduino.
- **El código abierto y el hardware extensible:** los planes de las placas Arduino están publicadas bajo una licencia de Creaciones Comunes, por lo que los diseñadores de circuitos experimentados pueden hacer su propia versión del módulo, ampliándolo y mejorándolo.[3]

4.3 Placas Arduino

4.3.1 Nivel de Entrada

Las placas y módulos mostrados en la Figura 5, son los mejores para comenzar a aprender y jugar con la electrónica y la codificación.



Figura 5: Modelos con funciones básicas de Arduino

4.3.2 Funciones Mejoradas

Son placas (Figura 6) con funcionalidades avanzadas, o actuaciones rápidas. Nos permite realizar proyectos más complejos.



Figura 6: Modelos con funcionalidades avanzadas de Arduino

4.3.3 IoT (Internet de las Cosas)

Para hacer que los dispositivos se conecten más fácilmente entre sí, se debe utilizar unos de los productos de IoT, mostrados en la Figura 7. Con ello abrirá su creatividad con las oportunidades de la World Wide Web.

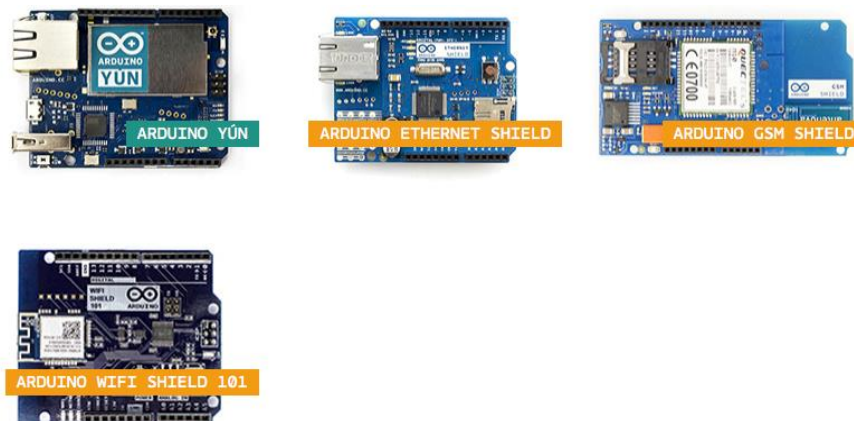


Figura 7: Modelos de ampliación de funciones de Arduino

4.4 El Software de Arduino (IDE)

IDE (Integrated Development Environment) es el nombre que recibe el programa que nos permite crear el código que queramos que Arduino ejecute y cargarlo en la placa a través del puerto USB. Es una interfaz gráfica que necesitaremos tenerla instalada en nuestro ordenador y es muy sencilla de usar.

4.4.1 Descarga e Instalación

Primero descargamos el IDE desde la página oficial de Arduino: www.arduino.cc y luego pulsamos en la sección Download. (Figura 8)



Figura 8: Página oficial de Arduino para descarga del IDE

Dependiendo del sistema operativo con el que trabajemos, seleccionaremos una opción u otra. Para mi caso, selecciono Mac OS X. A continuación comenzara la descarga, como se puede observar en la Figura 9.

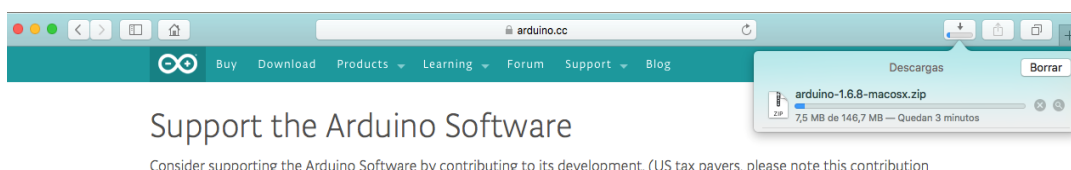


Figura 9: Detalle de descarga del IDE de Arduino en Mac OSX

Una vez descargado el IDE, dentro del Finder nos vamos a la carpeta descargas y buscamos la aplicación. A continuación, trasladamos el archivo a la carpeta Aplicaciones, como se indica en la Figura 10.



Figura 10: Instalación del IDE de Arduino en Mac OSX

Una vez se termine de copiar en la carpeta de Aplicaciones, ya estará instalado el programa y se puede empezar a utilizar.

4.4.2 Entorno de Programación y Configuración

Al abrir el programa, aparece la consola principal, como se muestra en la Figura 11, en la que se puede distinguir las siguientes zonas:

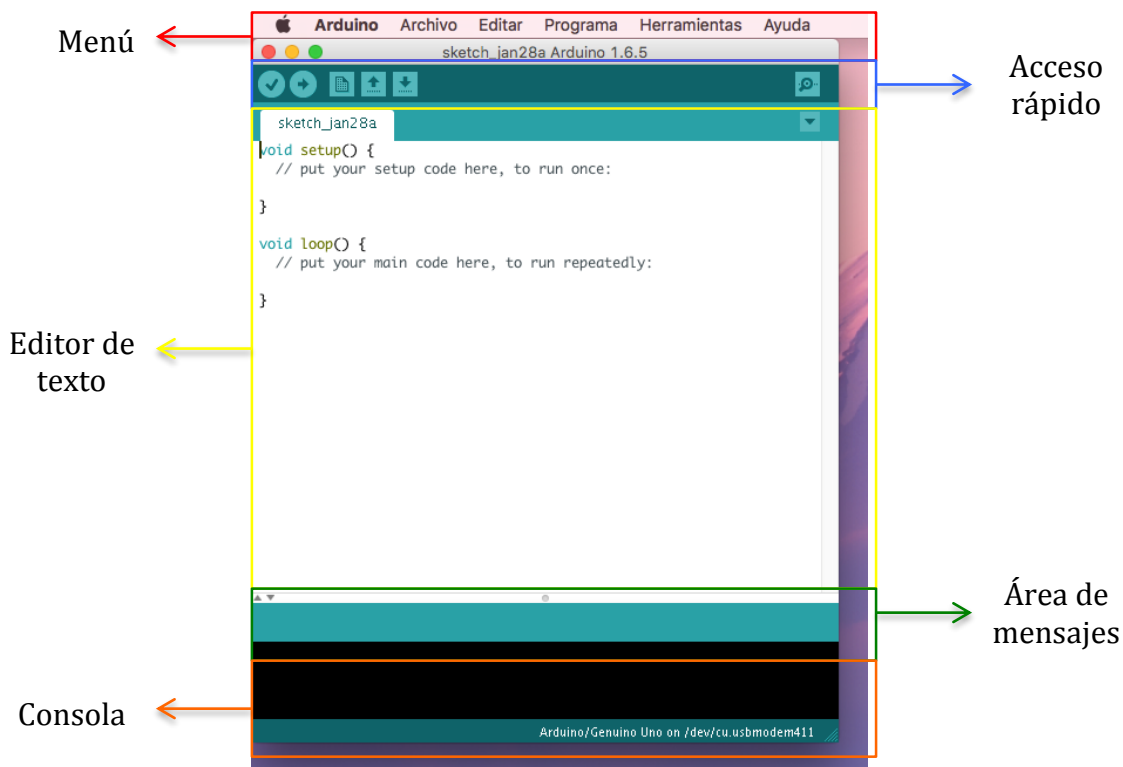


Figura 11: Explicación de la ventana del IDE de Arduino

- En la parte de menú encontramos una zona para acceder a funciones como carga de archivos, edición del texto del código, carga de librerías y ejemplos, configuración, herramientas, etc.
- En los botones de acceso rápido se puede observar los siguientes iconos:

- | | |
|---|--|
|  | Verifica si tu programa está bien escrito y puede funcionar. |
|  | Carga el programa a la placa de Arduino tras compilarlo. |
|  | Crea un programa nuevo. |
|  | Abre un programa. |
|  | Guarda el programa en el disco duro del ordenador. |
|  | (En la parte derecha de la barra de herramientas se encuentra el Monitor Serial) abre una ventana de comunicación con la placa Arduino en la que podemos ver las respuestas que nuestro Arduino nos está dando, siempre que tengamos el USB conectado. |

- En el cuadro del editor de texto es el lugar donde se escribe el código del programa que se quiere que Arduino ejecute. En la Figura 12 se puede ver una explicación en detalle del editor de texto.



En esta zona se incluyen e inicializan las librerías, se definen y declaran variables globales, se crean funciones.

Este trozo de código solo se ejecuta una vez al inicio. Se utiliza para inicializar la placa y los dispositivos conectados a ella.

Este trozo de código se ejecuta repetitivamente. Es la parte principal del programa y que queremos que Arduino ejecute cada cierto periodo de tiempo.

Figura 12: Explicación del editor de texto del IDE de Arduino

- En el área de mensajes y la consola, Arduino nos irá dando información sobre si la consola está compilando, cargando y sobre los fallos o errores que se produzcan tanto en el código como en el propio IDE.

Para poder cargar el código, que tenemos en el editor de texto, en la placa Arduino, se debe configurar el IDE para que pueda comunicarse con la placa. Para ello, lo primero que debe hacerse es conectar nuestra placa Arduino a nuestro ordenador a través del puerto USB. A continuación, nos dirigimos a la zona del menú y pinchamos en Herramientas [5]. Dentro de este menú hay que hacer 2 modificaciones:

- Seleccionar el modelo de placa Arduino que estamos usando

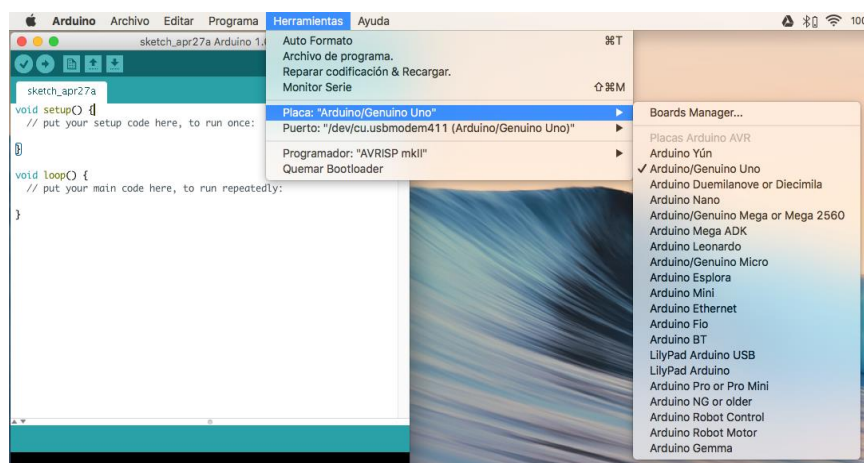


Figura 13: Selección del modelo de Arduino con el que estamos trabajando.

- Seleccionar el puerto al que está conectado nuestra placa.

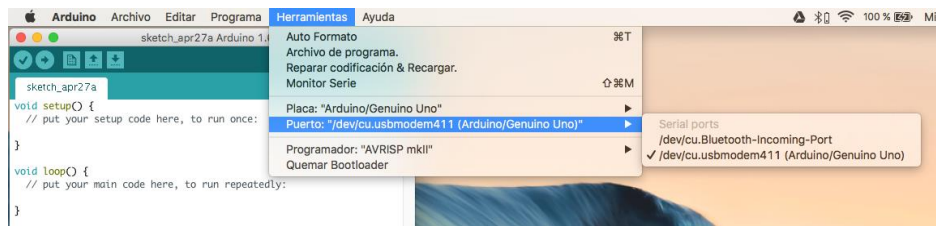


Figura 14: Selección del Puerto donde se conecta Arduino.

4.5 Funciones Básicas

4.5.1 E/S Digitales

- **pinMode (pin,modo).** Configura el pin especificado para comportarse como una entrada (INPUT) o una salida (OUTPUT).
- **digitalWrite (pin,valor).** Asigna el valor HIGH (5V) o LOW (0V) a un pin digital.
- **digitalRead (pin).** Lee el valor de un pin digital especificado, HIGH o LOW

4.5.2 E/S Analógicas

- **analogRead (pin).** Lee el valor de tensión en el pin analógico especificado. La placa Arduino posee 6 canales conectados a un conversor analógico digital de 10 bits. Esto significa que convertirá tensiones entre 0 y 5 voltios a un número entero entre 0 y 1023. Esto proporciona una resolución en la lectura de: 5 voltios / 1024 unidades, es decir, 0.0049 voltios (4.9mV) por unidad. El rango de entrada puede ser cambiado usando la función *analogReference()*.
- **analogWrite (pin,valor).** Escribe un valor analógico (PWM) en un pin. Puede ser usado para controlar la luminosidad de un LED o la velocidad de un motor. Después de llamar a la función *analogWrite()*, el pin generará una onda cuadrada estable con el ciclo de trabajo especificado hasta que se vuelva a llamar a la función *analogWrite()* (o una llamada a las funciones *digitalRead()* o *digitalWrite()* en el mismo pin). La frecuencia de la señal PWM será de aproximadamente 490 Hz. los valores de *analogRead()* van desde 0 a 1023 y los valores de *analogWrite()* van desde 0 a 255.

Parámetros:

- pin: Es el pin en el cual se quiere generar la señal PWM.
- valor: El ciclo de trabajo deseado comprendido entre 0 (siempre apagado) y 255 (siempre encendido).

4.5.3 Comunicación Serie

Se utiliza para la comunicación entre la placa Arduino y un ordenador u otros dispositivos. Todas las placas Arduino tienen al menos un puerto serie Serial. Se comunica a través de los pines digitales 0 (RX) y 1 (TX), así como con el ordenador mediante USB. Por lo tanto, si utilizas estas funciones, no puedes usar los pines 0 y 1 como entrada o salida digital. Puedes utilizar el monitor del puerto serie incorporado en el entorno Arduino para comunicarte con la placa Arduino. Haz clic en el botón del monitor de puerto serie en la barra de herramientas y selecciona la misma velocidad en baudios utilizada en la llamada a *begin()*.

- **Serial.begin (speed).** Establece la velocidad de datos en bits por segundo (baudios) para la transmisión de datos en serie. Para comunicarse con el ordenador, se deben de utilizar una de estas velocidades: 300, 1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800, 38400, 57600 o 115200.
- **Serial.read ().** Lee los datos entrantes del puerto serie.
- **Serial.print (val,[format]).** Imprime los datos al puerto serie como texto ASCII.
Parámetros:
 - val: el valor a imprimir (de cualquier tipo)
 - format: especifica la base (formato) a usar; los valores permitidos son BYTE, BIN (binarios o base 2), OCT (octales o base 8), DEC (decimales o base 10), HEX (hexadecimales o base 16). Para números de coma flotante, este parámetro especifica el número de posiciones decimales a usar.
- **Serial.println (val,[format]).** Imprime los datos al puerto serie como texto ASCII seguido de un retorno de carro (ASCII 13, o '\r') y un carácter de avance de línea (ASCII 10, o '\n').
- **Serial.available ().** Devuelve el número de bytes (caracteres) disponibles para ser leídos por el puerto serie. Se refiere a datos ya recibidos y disponibles en el buffer de recepción del puerto (que tiene una capacidad de 128 bytes). [4]

5.Arduino UNO

5.1 Descripción General

Arduino Uno es una placa micro-controladora basada en el ATmega328P. Cuenta con 14 pines digitales de entrada/salida (de los cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de cuarzo de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reinicio, en la Tabla 19 se muestra en detalle todas las características técnicas de la placa Arduino UNO. Contiene todo lo necesario para apoyar el micro-controlador; simplemente conectarlo a un ordenador con un cable USB, con un adaptador de CA o una batería a CC para empezar. Se puede jugar con Arduino UNO sin preocuparse demasiado por hacer algo mal, en el peor de los casos puede sustituir el procesador por poco dinero y empezar de nuevo. En la Figura 15 se puede ver en detalle esta descripción.

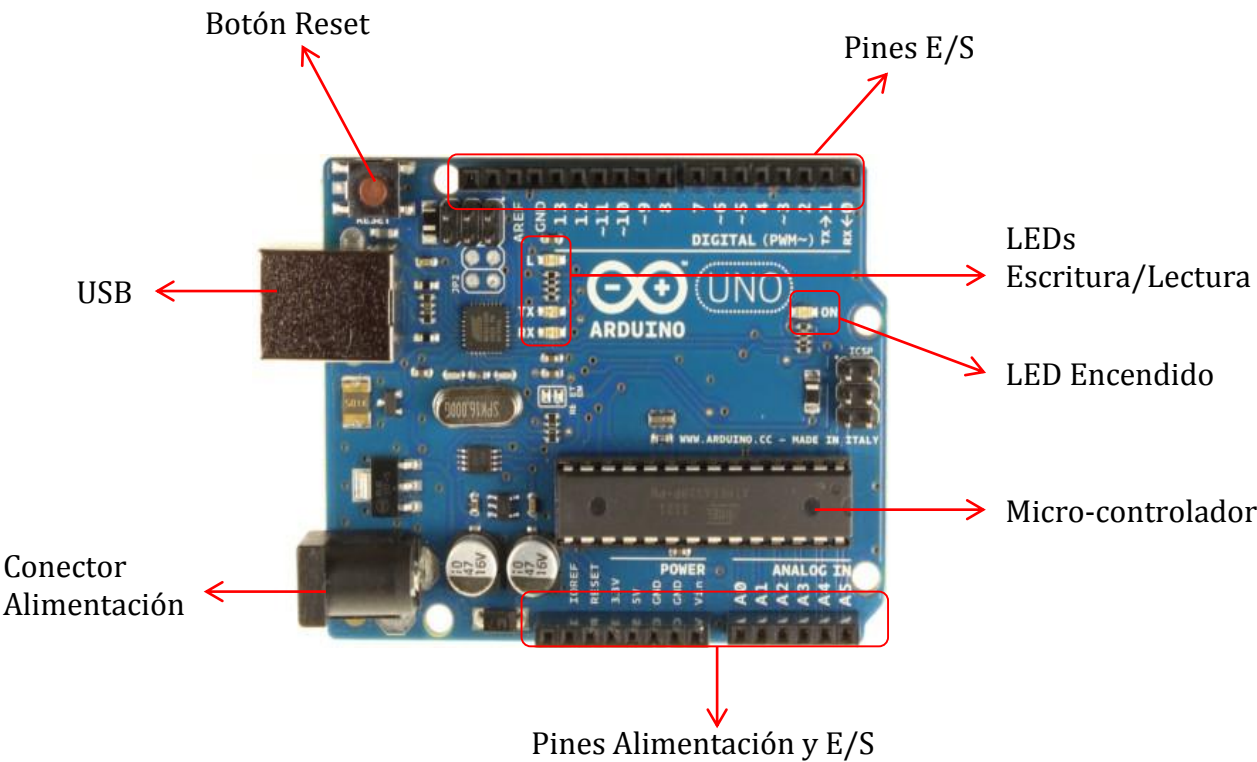


Figura 15: Descripción de los elementos de la placa Arduino UNO

Ficha técnica	
Micro-controlador	ATmega328P
Voltaje de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límite)	6-20V
Pines Digitales E/S	14 (de los cuales 6 proporcionan salida

	PWM)
Pines Digitales PWM E/S	6
Pines de entrada analógica	6
Corriente DC por Pin E/S	20 mA
Corriente DC por Pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	32 KB (ATmega328P) de los cuales 0,5 KB utilizado por el gestor de arranque
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Velocidad del reloj	16 MHz
Longitud	68.6 mm
Ancho	53.4 mm
Peso	25 g

Tabla 19: Características de la Placa Arduino UNO

5.2 Energía

La placa Arduino Uno puede ser alimentada a través de la conexión USB o con una fuente de alimentación externa. La fuente de alimentación se selecciona automáticamente.

La energía externa (no USB) puede venir con un adaptador de CA a CC (wall-wart) o una batería. El adaptador puede ser conectado mediante un enchufe centro-positivo en el conector de alimentación de la placa. Los cables de la batería se pueden insertar en los pines de cabeza GND y Vin del conector de alimentación.



Figura 16: Pines de Energía de la placa Arduino UNO

La placa puede funcionar con un suministro externo de 6 a 20 voltios. Sin embargo, si se suministra menos de 7V, el pin de 5V puede suministrar menos de cinco voltios y la placa puede volverse inestable. Si se utiliza más de 12V, el regulador de voltaje se puede sobrecalentar y dañar la placa. El rango recomendado es de 7 a 12 voltios.

Los pines de alimentación, como se puede ver en la Figura 16, son:

- **Vin**: el voltaje de entrada a la placa Arduino Uno cuando se trata de utilizar una fuente de alimentación externa (en lugar de 5 voltios a partir de la conexión USB u otra fuente de alimentación regulada).
- **5V**: el suministro regulado de energía usado para alimentar al micro-controlador y otros componentes de la placa. Este puede venir o desde VIN a través de un regulador en la placa, o ser suministrado por USB u otro suministro regulado de 5 V.
- **3V3**: un suministro de 3,3 voltios generado por el regulador de la placa. La Corriente máxima es de 50 mA.
- **GND**. Pines de tierra.
- **IOREF**. Este pin en la placa Arduino Uno proporciona la referencia de tensión con la que opera el micro-controlador. Un escudo configurado correctamente puede leer el voltaje del pin IOREF y seleccionar la fuente de alimentación adecuada o habilitar traductores de voltaje en las salidas para trabajar con 5V o 3.3V.
- **RESET**. Pone esta línea LOW para reiniciar el micro-controlador. Normalmente se utiliza para añadir un botón de reinicio al escudo que bloquea el que está en la placa.

5.3 Entradas y salidas

5.3.1 E/S Digitales

Cada uno de los 14 pines digitales en Arduino Uno, como podemos observar en la Figura 17, se puede utilizar como una entrada o salida, utilizando las funciones *pinMode()*, *digitalWrite()* y *digitalRead()*. Operan a 5 voltios. Cada pin puede proporcionar o recibir 20 mA como condición de funcionamiento recomendada y tiene una resistencia interna de pull-up (desconectada por defecto) de 20-50k ohmios. Un máximo de 40 mA es el valor que no debe superarse en ningún pin de E/S para evitar daños permanentes en el micro-controlador.

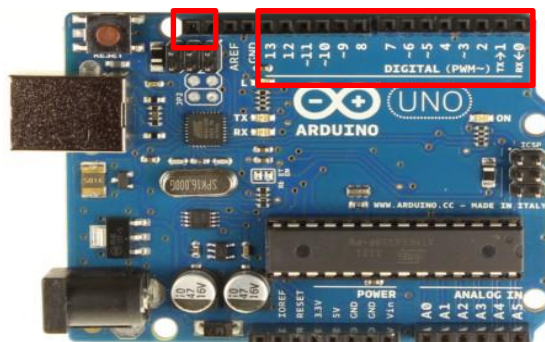


Figura 17: Pines de E/S digitales en la placa Arduino UNO

Además, algunos pines tienen funciones especializadas:

- **Serial (0 (RX) y 1 (TX)):** se utilizan para recibir (RX) y transmitir (TX) datos en serie TTL. Estos pines están conectados a los pines correspondientes del ATmega16U2 USB al chip Serial TTL.
- **Interrupciones externas (2 y 3):** estos pines pueden configurarse para activar una interrupción en un valor bajo, un flanco ascendente o descendente, o un cambio en el valor.
- **PWM (3, 5, 6, 9, 10, y 11):** proporcionan una salida PWM de 8 bits con la función *analogWrite()*.
- **SPI (10(SS), 11(MOSI), 12(MISO), 13(SCK)):** estos pines soportan la comunicación SPI utilizando la librería SPI.
- **LED (13):** hay un LED incorporado impulsado por el pin digital 13. Cuando el pin es de alto valor, el LED está encendido, cuando el pin es bajo, está apagado.
- **TWI (SDA y SCL):** soportan la comunicación TWI utilizando la librería *Wire*.

5.3.2 E/S Analógicas

Arduino Uno tiene 6 entradas analógicas, como se puede observar en la Figura 18, etiquetada A0 a A5, cada una de las cuales proporcionan 10 bits de resolución (es decir, 1024 valores diferentes). Por defecto se miden desde tierra a 5 voltios, aunque es posible cambiar el extremo superior de su rango usando el pin AREF y la función *analogReference()*.

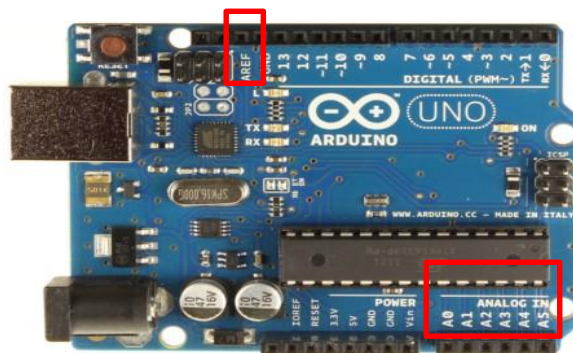


Figura 18: Pines de E/S analógicas en la placa Arduino UNO

- **AREF.** Tensión de referencia para las entradas analógicas. Se utiliza con *analogReference()*.

5.4 Programación

Arduino Uno puede ser programado con el software de Arduino (IDE). Seleccione "Arduino/Genuino Uno" desde el menú Herramientas > Placa

El ATmega328 en el Arduino Uno viene preprogramado con un gestor de arranque que le permite cargar nuevo código a él sin el uso de un programador de hardware externo. Se comunica mediante el protocolo original STK500 (referencias, archivos de cabecera C).

También puede pasarse por alto el gestor de arranque y programar el micro-controlador a través de la cabecera ICSP (In-Circuit Serial Programming) utilizando Arduino ISP o similar.

5.5 Protección

Arduino Uno tiene una "polyfuse" reajutable que protege a los puertos USB de su ordenador de cortocircuitos y sobrecorrientes. Aunque la mayoría de los ordenadores proporcionan su propia protección interna, el fusible proporciona una capa adicional de protección. Si más de 500 mA son aplicados al puerto USB, el fusible romperá automáticamente la conexión hasta que el cortocircuito o sobrecarga desaparezca.

5.6 Comunicación

Arduino Uno tiene una serie de instalaciones para la comunicación con un ordenador, otra placa Arduino Uno, u otros micro-controladores. El ATmega328 ofrece UART TTL (5V) de comunicación en serie, que está disponible en los pines digitales 0 (RX) y 1 (TX). Un ATmega16U2 en la placa canaliza esta comunicación en serie a través de USB y aparece como un puerto virtual COM para el software en el ordenador. El firmware 16U2 utiliza los controladores USB COM estándar, y no se necesita ningún controlador externo. Sin embargo, en Windows, se requiere un archivo .inf. El software de Arduino (IDE) incluye un monitor serie que permite a los datos de texto simples ser enviados hacia y desde la placa. Los LED's RX y TX de la placa parpadean cuando se están transmitiendo datos a través de USB a chip serie y conexión USB al ordenador (pero no para la comunicación en serie en los pines 0 y 1).

Una *librería SoftwareSerial* permite la comunicación en serie en cualquiera de los pines digitales del Uno.

El ATmega328 también es compatible I2C (TWI) y la comunicación SPI. El software de Arduino (IDE) incluye una *librería Wire* para simplificar el uso del bus I2C.

5.7 Reseteo Automático (Software)

En lugar de requerir una presión del botón de reinicio físico antes de una carga, la placa Arduino Uno está diseñada de una manera que permite que sea reseteada mediante el software que se ejecuta cuando está conectada a un ordenador. Una de las líneas de control de flujo de hardware (DTR) del ATmega16U2 está conectada a la línea de reseteo del ATmega328 través de un condensador 100 nanofaradios. Cuando se le da un valor a esta línea (tomado bajo), la línea de reseteo cae lo suficiente para resetear el chip. El software de Arduino (IDE) utiliza esta capacidad para permitir que se cargue código con sólo pulsar el botón de carga en la barra de herramientas de interfaz. Esto significa que el gestor de arranque debe tener un tiempo de espera más corto, ya que el descenso de DTR debe ser bien coordinado con el inicio de la subida.

La placa Arduino Uno contiene un rastro que se puede cortar para deshabilitar el reseteo automático. Las patillas a ambos lados de la señal se pueden soldar juntas para volver a habilitarlo. Ha marcado "RESET-EN". También se puede desactivar el reseteo automático mediante la conexión de una resistencia de 110 ohmios desde los 5V a la línea de reseteo. [4].

6. Descripción del Dispositivo

Como se comentó anteriormente, el objetivo de este trabajo es desarrollar un dispositivo que sea capaz de cuantificar y monitorizar las condiciones ambientales de un puesto de trabajo para después poder analizar si se cumple los requisitos expuestos en las diferentes normativas y leyes. Para construir el dispositivo hemos hecho uso de la placa Arduino UNO, que será la encargada de ejecutar las instrucciones. Para realizar las mediciones de las diferentes condiciones ambientales se han utilizado los siguientes sensores:

- Sensor de Temperatura
- Sensor de Humedad
- Sensor de Presión
- Sensor Nivel de CO₂
- Sensor de Luminosidad

También hemos hecho uso de una pantalla LCD de 20 caracteres x 4 filas para poder visualizar en tiempo real los valores de las mediciones de los sensores. Todos los dispositivos, cableado y sensores han sido encapsulados en una caja de madera de 11 x 11 x 4 cms.

Para monitorizar las condiciones se ha creado una interfaz gráfica haciendo uso de GUIDE en Matlab, la cual nos permite graficar las variables y guardar las gráficas para su posterior análisis.

6.1 Sensores

En este apartado detallaremos cada uno de los sensores empleados para tomar las diferentes mediciones, así como la manera de conectarlos a la placa Arduino UNO.

6.1.1 Sensor de Temperatura y Humedad

Para este proyecto vamos a utilizar el sensor de temperatura y humedad DTH22, mostrado en la Figura 18, que pertenece a la familia de sensores DTH y que mejora a sus predecesores en el rango de medida y en la precisión.

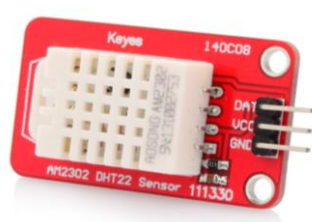


Figura 18: Vista general del sensor DTH22

6.1.1.1 Descripción

El sensor DHT22 viene encapsulado en una funda plástica de color blanco del que salen 4 pines de conexión. A su vez está soldada en una placa con 3 pines de conexión, que posee una resistencia de “pull-up” (entre 3-6 K Ω) y un condensador de filtrado (normalmente de 100 nF). Como se muestra en la Figura 19, los 3 pines de conexión son: [6]

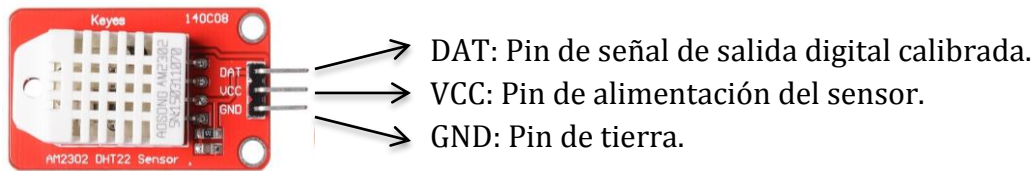


Figura 19: Detalle de los pines de conexión

6.1.1.2 Especificaciones Técnicas

Sus principales características generales son:

- **Alimentación:** 3.3V – 5.5V, tomando como valor recomendado 5V.
- **Resolución:** la resolución del sensor es decimal por tanto los valores de humedad como los de temperatura serán números con una cifra decimal.
- **Tiempo de muestreo:** 2 segundos, es decir, sólo puede ofrecer datos cada 2 segundos.

Prestaciones obteniendo los valores de temperatura:

- **Rango de valores:** desde -40°C hasta 80°C de temperatura.
- **Precisión:** $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, $\pm 1^{\circ}\text{C}$ como máximo en condiciones adversas.
- **Tiempo de respuesta:** <10 segundos, es decir, de media, tarda menos de 10 segundos en reflejar un cambio de temperatura real en el entorno.

Respecto a las prestaciones al obtener los valores de humedad relativa:

- **Rango de valores:** desde 0% hasta 99,9% de Humedad Relativa.
- **Precisión:** $\pm 2\%\text{RH}$, a una temperatura de 25°C.
- **Tiempo de respuesta:** <5 segundos, es decir, de media, tarda menos de 5 segundos en reflejar un cambio de humedad relativa real en el entorno. Además, para darse esta afirmación, los tests indicaron que la velocidad del aire debe ser de 1 m/s.

6.1.1.3 Conexión con placa Arduino

La conexión con la placa Arduino se muestra en la Figura 20:

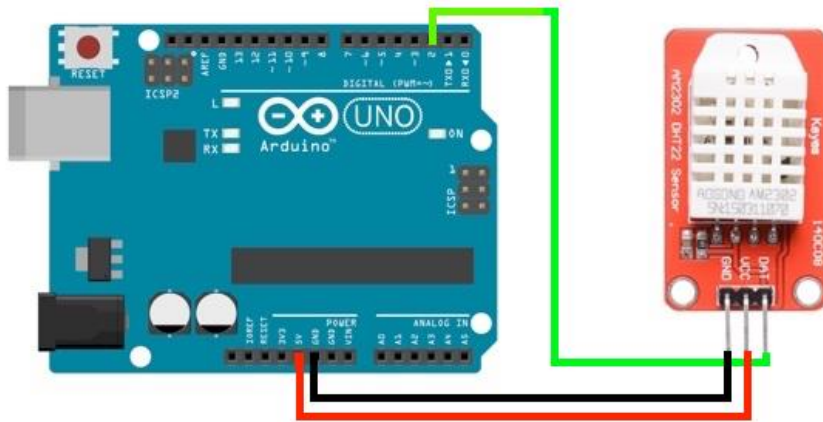


Figura 20: Esquema de conexión con la placa Arduino

6.1.2 Sensor de Presión

El sensor de presión barométrica BMP180, mostrado en la Figura 21, es el sensor empleado en este proyecto para medir la presión.



Figura 21: Vista general del sensor BMP180

6.1.2.1 Descripción

Es una placa que integra al sensor de presión barométrica BMP180 de alta precisión y de bajo consumo de energía. Se basa en la tecnología piezo-resistiva con robustez EMC, alta precisión y linealidad, así como con estabilidad a largo plazo. Se ha diseñado para ser conectado directamente a un micro-controlador a través de I2C. Como se muestra en la Figura 22, dispone de 4 pines de conexión que corresponden a: [7]

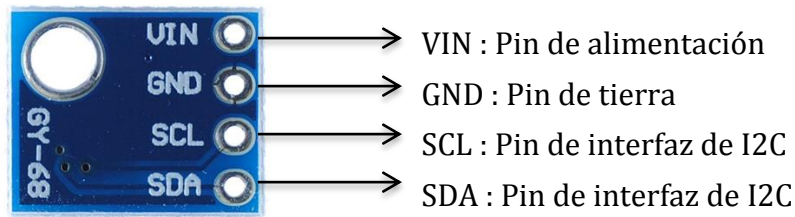


Figura 22: Detalle de los pines de conexión

Éste tipo de sensores también pueden ser utilizados para calcular la altitud con bastante precisión.

6.1.2.2 Especificaciones Técnicas

Sus principales características generales son:

- **Alimentación:** 1,8V – 3,6V, por lo que se conectará al pin 3,3V.
- **Rango de medición:** 300 – 1100 hPa.
- **Precisión:** hasta 0,03 hPa.
- Digital interfaz de dos cables (I2C)
- Ultra-bajo consumo de energía
- Bajo ruido
- Completamente calibrado
- Medición de temperatura incluida
- Ultra plano y pequeño tamaño

6.1.2.3 Conexión con placa Arduino

La conexión con la placa Arduino se muestra en la Figura 23:

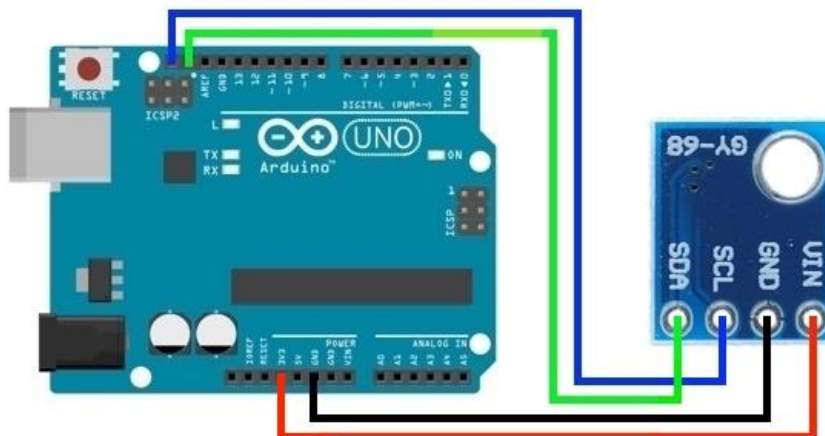


Figura 23: Esquema de conexión con la placa Arduino

6.1.3 Sensor de Luminosidad

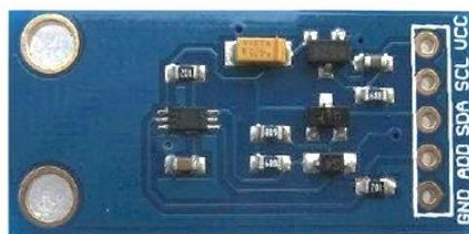
El encargado de realizar las mediciones de luminosidad para este proyecto será el sensor digital de intensidad luminosa BH1750, mostrado en la Figura 24.



Figura 24: Vista general del sensor BH1750

6.1.3.1 Descripción

Es una placa que integra al sensor digital de intensidad luminosa BH1750 para medir el flujo luminoso (iluminancia). Tiene un conversor ADC de 16 bits interno. El BH1750 entrega automáticamente el valor en lux. Se ha diseñado para ser conectado directamente a un micro-controlador a través de la interfaz I2C. [8]. Dispone de 5 pines de conexión, como se puede ver en la Figura 25, que corresponden a:



- VCC: Pin de alimentación
- SCL: Pin de interfaz de I2C
- SDA: Pin de interfaz de I2C
- ADD: Pin sin conectar.
- GND: Pin de tierra

Figura 25: Detalles de los pines de conexión

6.1.3.2 Especificaciones Técnicas

Sus principales características generales son:

- **Alimentación:** 3,3V – 5V, tomando como valor recomendado 5V.
- **Rango de medición:** 1 – 65535 lux.
- **Precisión:** 1 lux.
- Digital interfaz de dos cables (I2C)
- Bajo consumo de energía
- Rechazo de ruido a 50/60 Hz.
- Baja dependencia de la medición contra la fuente de luz: halógeno, led, incandescente, luz de día.

6.1.3.3 Conexión con placa Arduino

La conexión con la placa Arduino se muestra en la Figura 26:

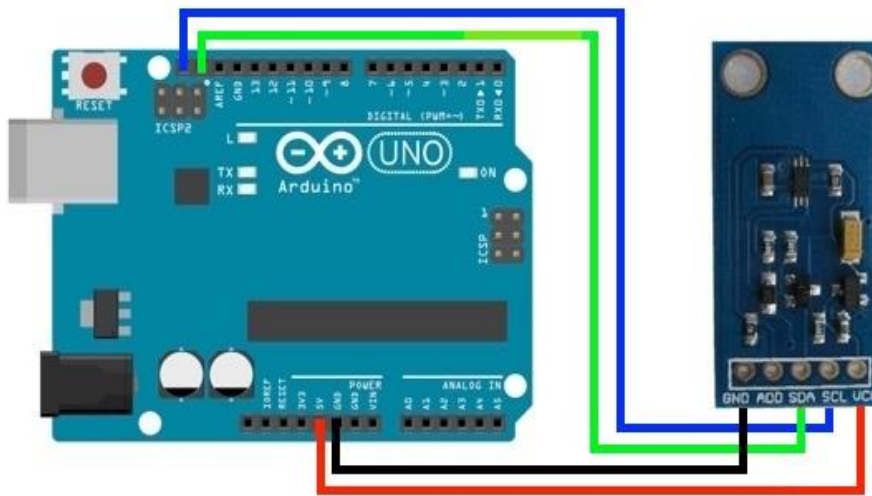


Figura 26: Esquema de conexión con la placa Arduino

6.1.4 Sensor de CO₂

Para este proyecto vamos a utilizar el sensor de gas CO₂ basado en el módulo MG-811, fabricado por DFRobot y que se puede ver en la Figura 27.



Figura 27: Vista general del sensor de CO₂

6.1.4.1 Descripción

Es una placa que integra al módulo MG-811 para medir la concentración de CO₂. La tensión de salida del módulo cae a medida que la concentración de CO₂ aumenta. Dispone de un potenciómetro diseñado para establecer un umbral de voltaje. Mientras la concentración de CO₂ sea lo suficientemente alta (la tensión es menor que el umbral), una señal digital (ON/OFF) será conocida. [9]. Dispone de 3 pines de conexión, mostrados en la Figura 28, que corresponden a:

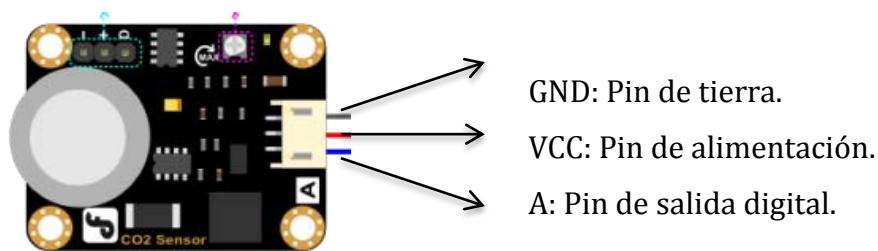


Figura 28: Detalle de los pines de conexión.

6.1.4.2 Especificaciones Técnicas

Sus principales características son:

- **Alimentación:** 5V
- **Rango de medición:** 400 - 10000 ppm.
- Alta sensibilidad al CO₂
- Baja sensibilidad al CO o Alcohol
- Baja dependencia con humedad y temperatura.

6.1.4.3 Conexión con placa Arduino

La conexión con la placa Arduino se muestra en la Figura 29:

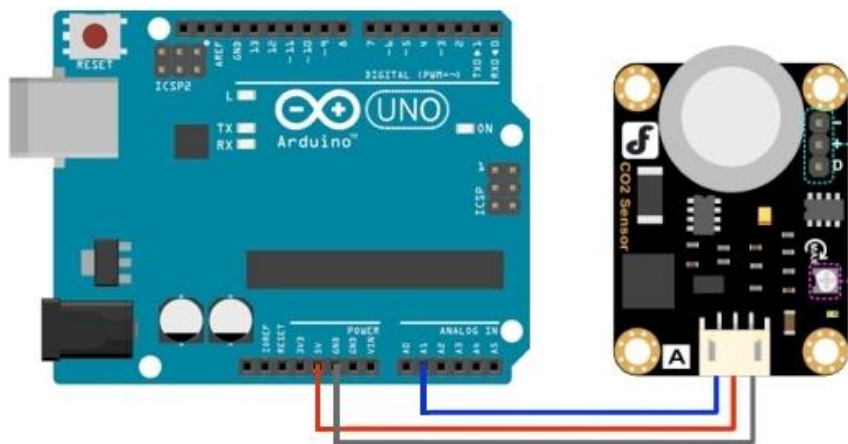


Figura 29: Esquema de conexión del sensor de CO₂ con la placa Arduino

6.2 Pantalla LCD

Un display alfanumérico de matriz de puntos (dot-matrix) es un dispositivo de interfaz humana, formado por una pantalla de cristal líquido o LCD (Liquid Crystal Display) sobre la que se pueden mostrar mensajes formados por distintos caracteres: letras, números, símbolos, etc.

La pantalla LCD puede presentar distintos formatos, por ejemplo, 2×8, 2×16, 4×20, etc. El primer dígito indica el número de filas del display y el segundo el número de columnas, es decir, 4×20 significa que tiene 4 filas y 20 columnas, como se muestra en la Figura 30.



Figura 30: Vista general de la pantalla LCD

Estos dispositivos vienen gobernados por un controlador, que normalmente va incorporado sobre la misma placa de circuito impreso que soporta el LCD. El más habitual es el controlador HD44780 de Hitachi. [10]

6.2.1 Especificaciones Técnicas

- **Voltaje operativo:** 5V DC
- **Temperatura de trabajo:** -20°C – 60°C
- 4 líneas x 20 caracteres
- Display de letras blancas en el fondo retroiluminado en azul
- LCD: STN Azul
- Visión amplia y contraste alto
- Chipset de drive: KS0066 compatible con HD44780

6.2.2 Conexión con Placa Arduino

La pantalla LCD dispone de 16 pines de conexión, los cuales se explican en detalle en la Tabla 20. Además, en la Figura 31 se muestra la conexión de la pantalla con la placa Arduino.

Pin	Símbolo	Descripción
1	V _{SS}	Masa o tierra
2	V _{DD}	Voltaje de alimentación. Lo conectamos +5V
3	V ₀	Tensión variable para controlar el contraste de LCD. Se conectará al terminal central de un potenciómetro de 10KΩ. Los otros dos terminales del potenciómetro se conectarán a tierra y a +5V.
4	RS	Selección de registro (Register Select). En estado alto (HIGH) indicamos que enviamos datos. En estado bajo (LOW) indicamos que enviamos una instrucción de control.
5	R/W	Selector de lectura/escritura (Read/Write). En estado alto seleccionamos modo lectura, en estado bajo seleccionamos estado escritura. Lo conectaremos a tierra ya que solamente vemos a realizar envío de información al LCD.
6	E	Habilita las operaciones en el display. (Enable). E=1 – Habilitado E=0 – Deshabilitado
7 - 14	DB0-DB7	Pines 0 a 7 del bus bidireccional de datos
15	LED+	Ánodo para la retroiluminación.
16	LED-	Cátodo para la retroiluminación.

Tabla 20: Descripción de los pines de conexión de la pantalla LCD

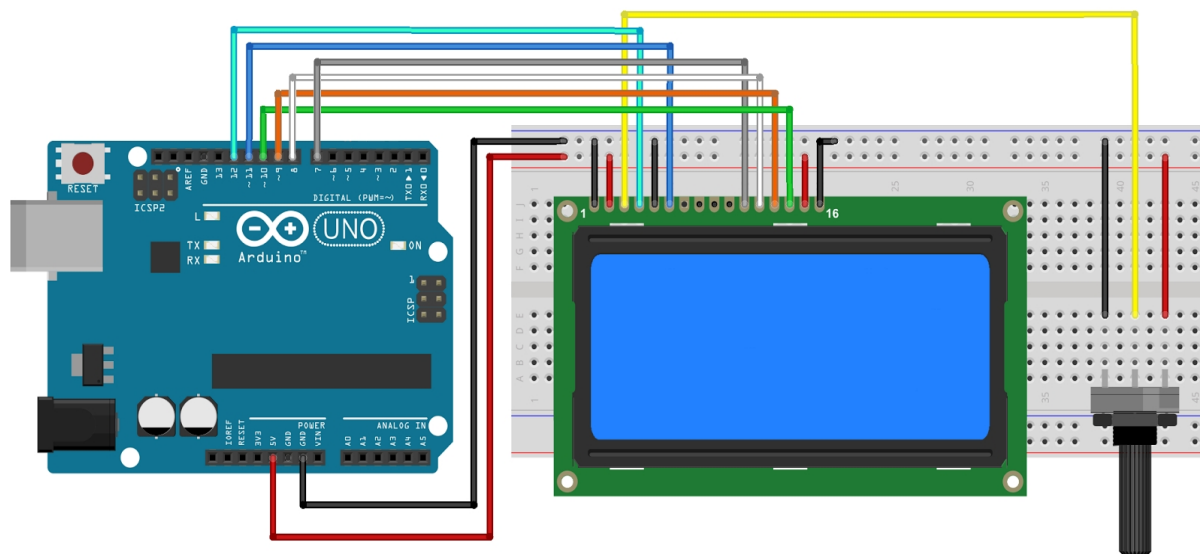


Figura 31: Esquema de conexión de la pantalla LCD con placa Arduino

6.3 Encapsulado

En el mercado existen diferentes modelos de cajas para encapsular la placa Arduino. Estas cajas están pensadas única y exclusivamente para la placa por lo que resulta imposible el encapsulado de ningún otro elemento. Debido a ello se ha optado por la fabricación artesanal del encapsulado.

El primer paso fue la elección del material, el cual debía de cumplir con algunos requisitos:

- Material barato y fácil de encontrar en el mercado.
- Fácil manipulación.
- Ligero.
- Resistente a la temperatura.

Con estos requisitos, el material elegido fue una plancha de madera contrachapada de 4 mm de grosor, como podemos ver en la Figura 32.

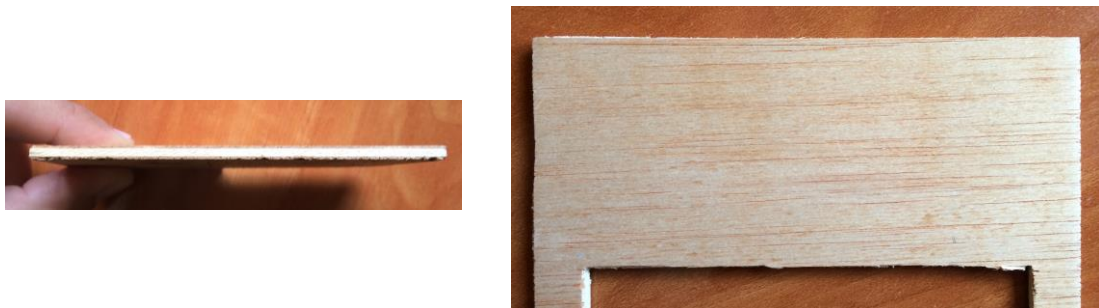


Figura 32: Vista del material seleccionado para la realización de a caja

Una vez elegido el material a usar se procedió a diseñar el encapsulado de los dispositivos. En este paso influía mucho la colocación de los diferentes elementos, por lo que se partió de la base de que todo estaría dispuesto en función de la pantalla, ya que es el elemento más grande y con más conexiones. Así pues se dividió el espacio en dos niveles. En el nivel superior se colocó la pantalla para que fuera fácilmente visible. En el nivel inferior, es decir, justo debajo de la pantalla se dispusieron la placa Arduino, el sensor de temperatura y el sensor de presión. Los otros dos sensores restantes (Luminosidad y CO₂) se situaron en el mismo nivel que la pantalla. Finalmente el potenciómetro de 10KΩ se situó en el nivel inferior, justo debajo del sensor de luminosidad.

Una vez definida la posición de cada uno de los elementos se definieron las medidas de la caja. Como el tamaño de la pantalla es de 9 cm x 6 cm, se decidió que sería una caja cuadrada de 11 cm de lado x 4 cm de altura. También se tomó la decisión de que el sistema de unión de la caja sería un sistema macho-hembra a lo largo de todo el perímetro. Todo ello se puede observar en la Figura 33 y Figura 34.

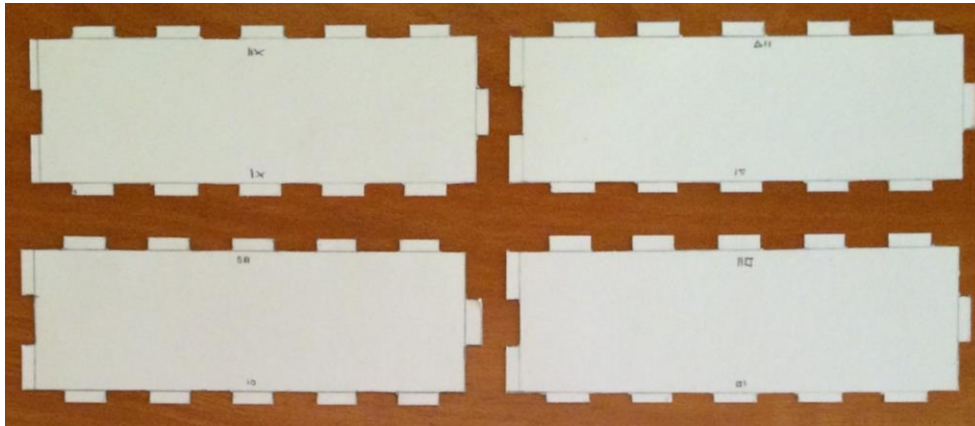


Figura 33: Detalle del sistema de unión macho-hembra de la caja

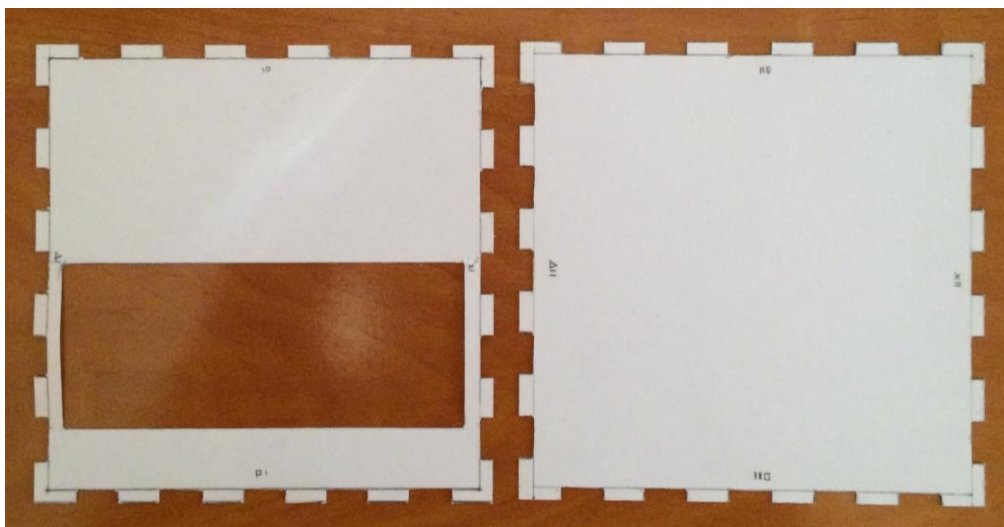


Figura 34: Detalle de la forma y del sistema de unión macho-hembra de la caja

Una vez tomadas las decisiones se pasó a la construcción de un prototipo en cartulina, el cual se puede apreciar en la Figura 35, para comprobar que los dispositivos podían alojarse en su interior según la disposición ideada. Así se pudo verificar que no había problemas de choques entre ellos o incluso problemas de espacio, ya que los dispositivos necesitan de un cableado para su funcionamiento que había que tener en cuenta a la hora de encapsular.

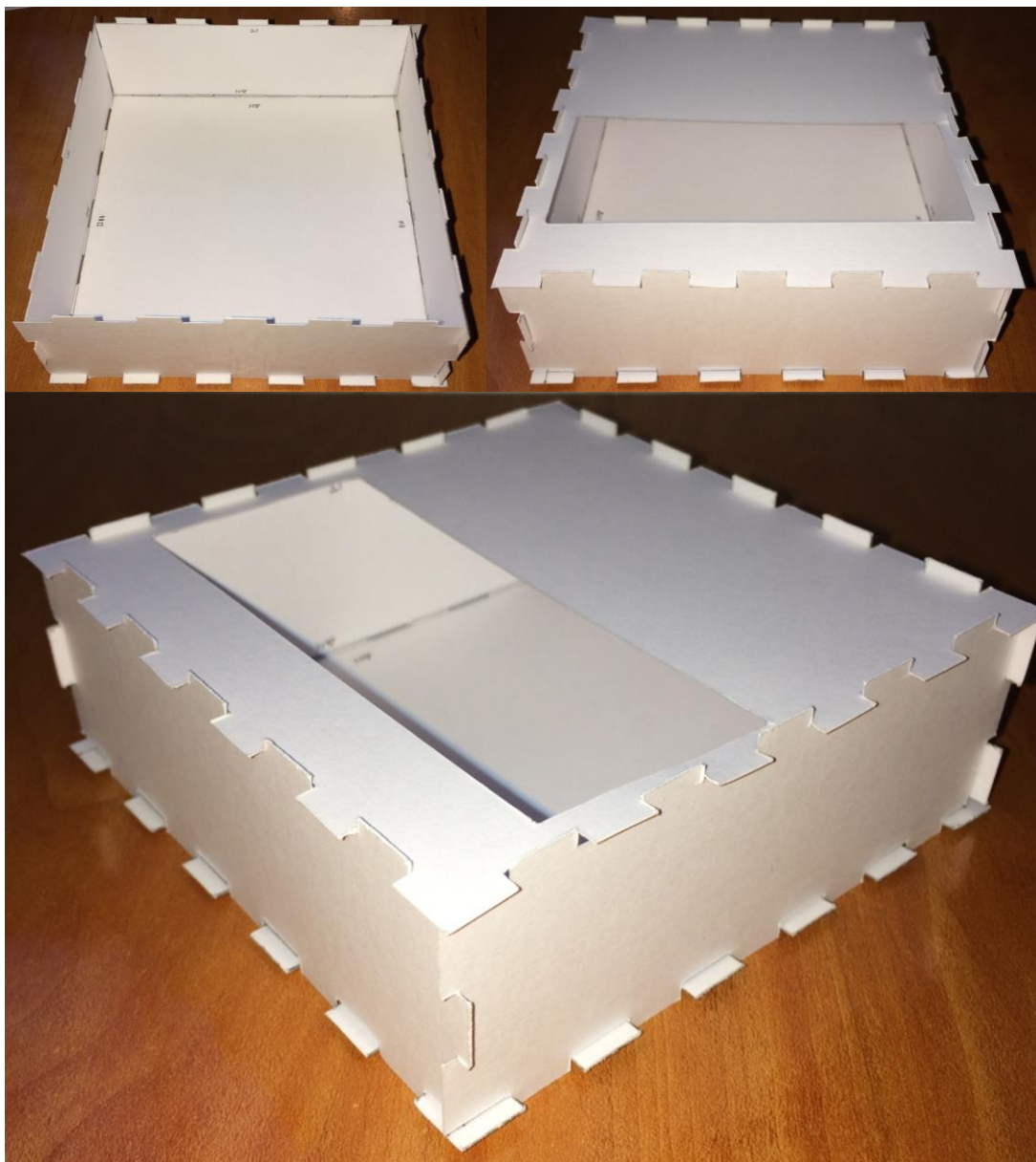


Figura 35: Detalle del ensamblado y forma final de la caja

A continuación, y utilizando como plantilla las piezas del prototipo, se pasó a construir la caja en el material anteriormente seleccionado (Figura 32). Una vez dibujadas y cortadas cada una de las piezas que conforman el encapsulado, se procedió al montaje para comprobar que todos los elementos encajaban entre sí. El resultado se puede observar en la Figura 36.



Figura 36: Prueba de ensamblaje, instalación y funcionamiento

Para concluir con el proceso de fabricación, se le dio una capa de imprimación y pintura por toda la superficie. Una vez concluido este proceso, se procedió al montaje de todos los componentes, como se muestra en la Figura 37, dando por finalizada la construcción del dispositivo.



Figura 37: Vistas generales del dispositivo terminado.

6.3.1 Observaciones y Mejoras

En este apartado vamos a ver algunas posibles mejoras que se podrían realizar a nivel de hardware, pero que debido a diversos factores no han podido llevarse a cabo. Por ejemplo, el tiempo que transcurre desde que se encarga algún componente hasta que se recibe el pedido es muy elevado debido a que estos provienen de China. Esta circunstancia provoca que no se puedan incluir nuevos componentes que mejoren el hardware con rapidez ya que el tiempo medio para recibir un pedido es de unos dos meses de media. Otro de los factores a tener en cuenta es que el precio de los dispositivos disminuye conforme aumenta la cantidad pedida de los mismos. Debido a este hecho, al requerir una única unidad de cada dispositivo para este proyecto, hace que si nos decantamos por los dispositivos más caros, no se cumpla uno de los principales requisitos de este proyecto, el cual es un bajo coste.

A continuación se detallaran las posibles mejoras, así como los beneficios que aportarían a este proyecto:

- **Pantalla:** en el mercado existe una gran variedad de pantallas con un rango amplio de precios. Añadir una pantalla TFT a color mejoraría la funcionalidad del dispositivo ya que nos permitiría mostrar en pantalla algún gráfico, sin la necesidad de estar conectado a un ordenador. Otro aspecto que se puede mejorar con un cambio de pantalla sería el tamaño del dispositivo, ya que al elegir una pantalla más pequeña y de menos grosor mejorarían las dimensiones del mismo haciéndolo más portable.
- **Cableado:** se podría sustituir el cableado por una placa impresa a la que conectar los sensores directamente, con lo que se ayudaría a ahorrar mucho espacio y por tanto a disminuir el tamaño del dispositivo.
- **Caja:** si se cambiara el material con el que está fabricado la caja por plástico se podría conseguir que el dispositivo fuera más ligero.
- **Placa Arduino:** teniendo en cuenta que la tecnología avanza muy rápido y salen nuevas versiones de la placa Arduino con funciones mejoradas o incluso nuevas funciones (como pueden ser tecnología Bluetooth, Wi-Fi, etc.) se podrían mejorar o aumentar las prestaciones del dispositivo.

6.4 Interfaz Gráfica

Uno de los requisitos de este proyecto era el poder monitorizar los datos recogidos por los sensores para poder visualizar en tiempo real las condiciones ambientales y comprobar si se están cumpliendo las diferentes normativas. Otro requisito era poder guardar estos datos, para poder disponer de un registro y así poder analizarlos a posteriori. Por otro lado, el hecho de disponer de un registro también permite trabajar con los datos para poder obtener los valores máximos, mínimos, medias, etc.

Para conseguir cumplir con los requisitos, se ha creado una interfaz gráfica haciendo uso de la herramienta GUIDE que incluye Matlab, como se muestra en la Figura 38. Esta herramienta permite crear un entorno gráfico en el que se pueden añadir gráficas, botones, menús desplegables, etc., pudiendo configurar el comportamiento de los mismos. Finalmente se pueden desarrollar también funciones que se ejecuten al pulsar estos botones o cuando se arranque el programa.

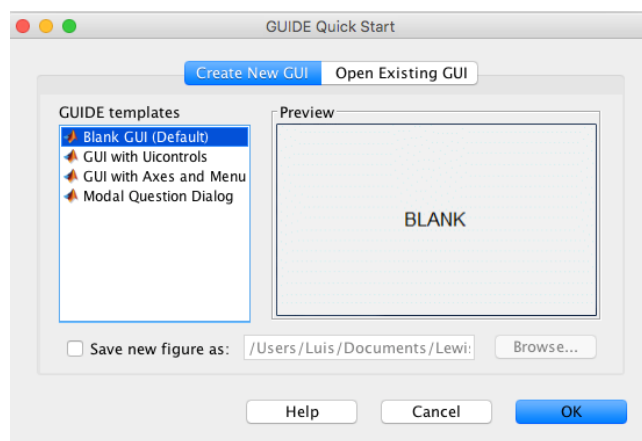


Figura 38: Ventanal Inicial de GUIDE

6.4.1 Desarrollo de la Interfaz Gráfica

Para comenzar a desarrollar el programa, se parte de una GUI en blanco, como se puede observar en la Figura 38. Al seleccionar esta opción, se abrirá la ventana principal, como se observa en la Figura 39, donde se puede comenzar a dar forma al programa. En la parte superior se encuentra el menú de navegación del programa. En la parte izquierda se encuentran las opciones con las que se puede trabajar. Finalmente, en el centro se localiza el espacio de trabajo del programa.

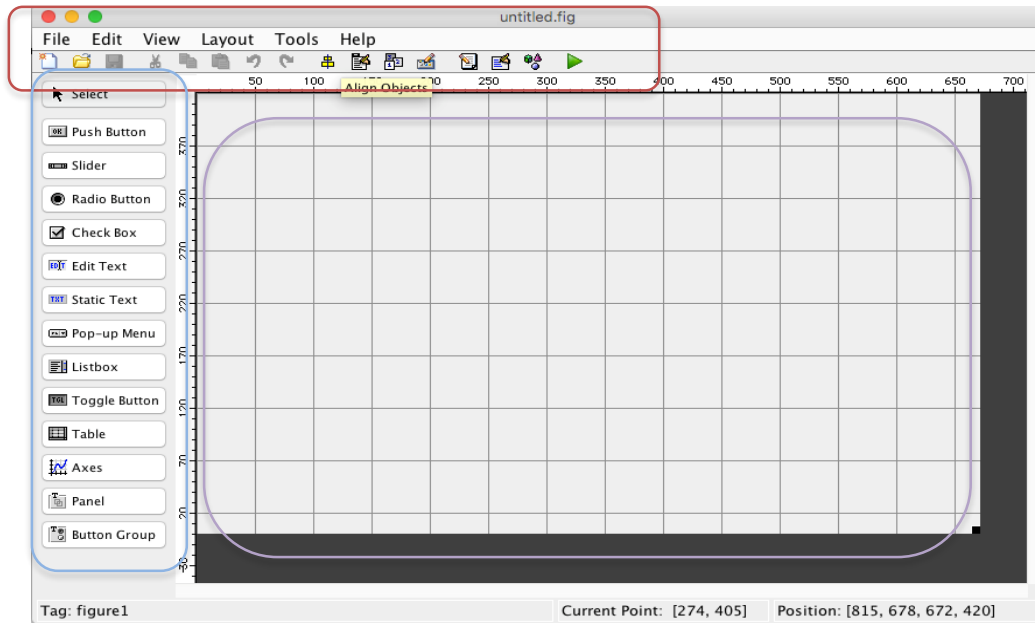


Figura 39: Ventana principal de GUIDE Matlab

Lo primero que se debe hacer es guardar el nuevo proyecto. Al hacer esto Matlab genera dos archivos con el nombre que se haya seleccionado para el proyecto, pero con diferente extensión, como se puede comprobar en la Figura 40. El primero es un archivo .fig el cual contiene el entorno gráfico desarrollado y el segundo es un archivo .m que contiene el código que se genera cada vez que se añade alguna opción gráfica y donde se desarrollan las funciones que se quiere que se ejecuten.

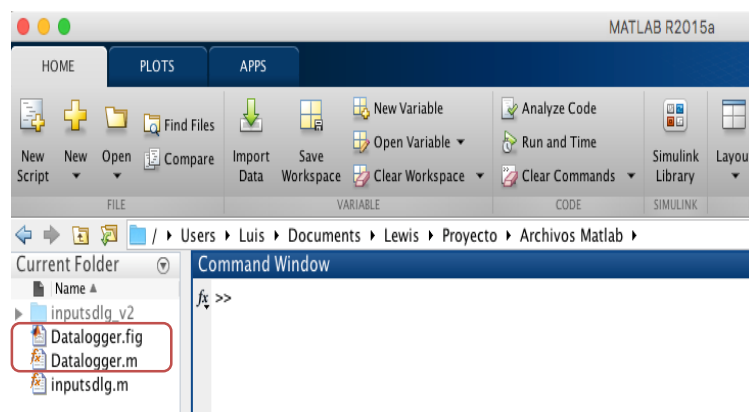


Figura 40: Archivos generados al guardar el proyecto.

A continuación se diseña la interfaz gráfica que se va a desarrollar. Para ello hay que tener en cuenta que requisitos debe cumplir dicha interfaz:

- Debe representar en gráficas los valores de las variables. Se debe tener en cuenta que como el dispositivo realiza mediciones de cinco variables diferentes, se deben obtener 5 gráficas distintas donde poder representarlas para que sea más legible.
- Debe de disponer de un botón para iniciar la captura de datos y otro para detenerla.
- Debe de generar un archivo de texto, donde se guarden los valores de las variables para poder rescatarlo a posteriori y trabajar con ellos.
- Debe guardar las gráficas, las cuales también se deben poder imprimir.

Con todos estos requisitos, se decide que elementos deben aparecer en la ventana principal:

- Cinco gráficas, las cuales mostrarán su título y el título de los ejes de abscisa y ordenada con sus respectivas unidades, como se puede observar en la Figura 41.

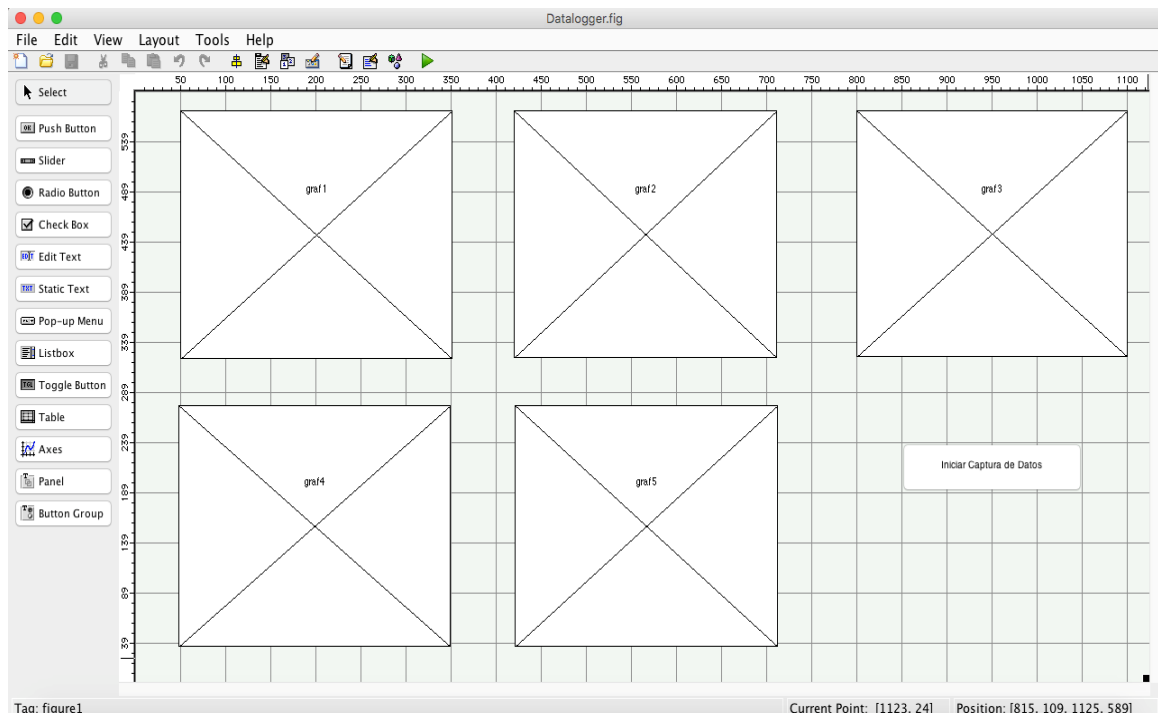


Figura 41: Detalle de la distribución de las gráficas

- Un botón con función interruptor el cual tendrá el siguiente comportamiento:
 - Cuando se pulsa cambia su valor a 1 y comienza la toma de datos.
 - Cuando se vuelve a pulsar el interruptor cambia su valor a 0 y detiene la captura de datos. El nombre del botón también cambiará al ser pulsado como se puede comprobar en la Figura 42.



Figura 42: Detalle de funcionamiento del botón.

- También habrá una barra de menú donde se integran los demás botones para cumplir con todos los requisitos. (Figura 43).

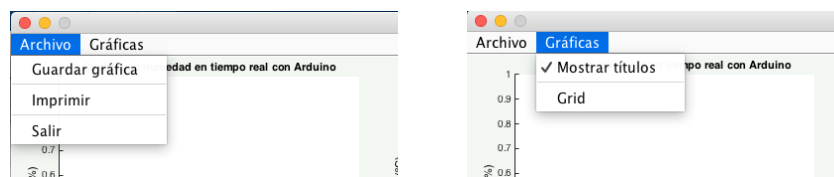


Figura 43: Detalle del menú y de las diferentes opciones

Después de las decisiones anteriores, la ventana principal de nuestro programa quedará como se muestra en la Figura 44. En ella se puede observar que se tiene activa la opción “Grid”, debido a que las gráficas tienen el fondo cuadrículado.

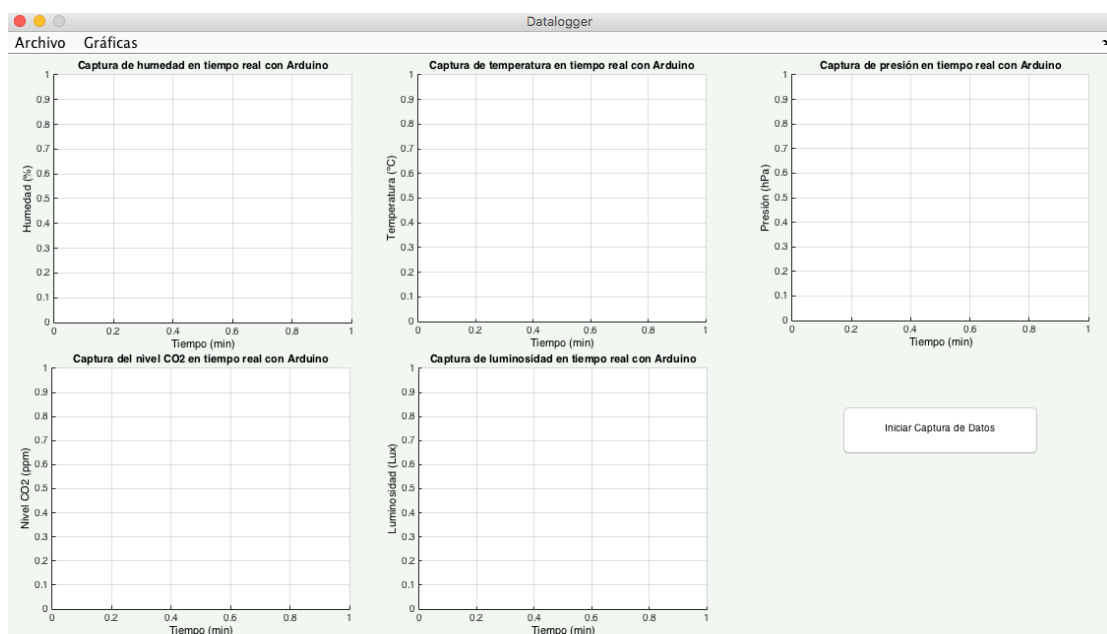


Figura 44: Ventana principal del GUIDE en ejecución

6.4.2 Funcionamiento de la Interfaz Gráfica

Para empezar a utilizar nuestra interfaz gráfica, lo primero que se debe hacer es arrancar Matlab. A continuación, se tienen dos opciones para arrancar el código. La primera de ellas es escribir el nombre del programa, "Datalogger", en la "ventana de comandos", como se puede ver en la Figura 45.

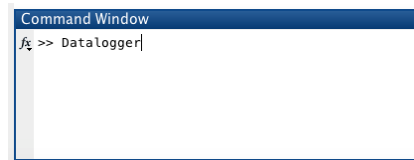


Figura 45: Detalle de la "ventana de comandos"

La segunda de ellos es presionar el botón "Run", que se encuentra en la barra de menú, y asegurando que nos encontramos en la carpeta que contiene los dos archivos generados. (Figura 46).

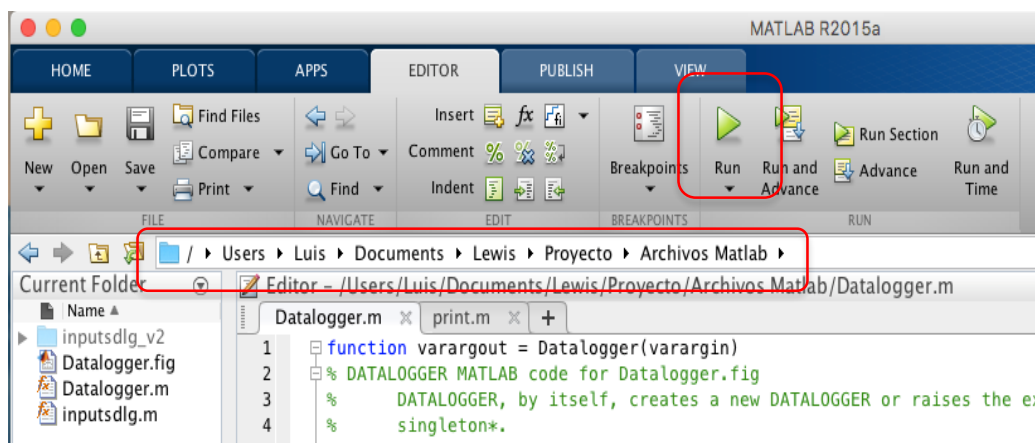


Figura 46: Botón "Run" y comprobación de la ruta de los archivos.

Una vez ejecutado el programa por cualquiera de los dos métodos, ocurren dos sucesos en paralelo. En primer lugar se observa que se abre la ventana principal de trabajo, la cual se puede ver en la Figura 44. En segundo lugar el dispositivo se reinicia, y por tanto se pueden ver las pantallas de introducción que se muestran mientras se están iniciando los sensores (Figura 47).



Figura 47: Detalle de las pantallas iniciales del dispositivo.

Este reinicio se realiza con varios objetivos:

- Borrar los datos previos que puedan estar almacenados en el puerto serie al que se conecta la placa Arduino.
- Crear un objeto serie dónde se guardaran los valores que se envíen a través de este puerto.
- Abrir el puerto serie, para que sea posible la comunicación entre la placa Arduino y Matlab.

Para poner en funcionamiento el programa e iniciar la captura de datos, simplemente se debe pulsar el botón “Iniciar Captura de Datos”, como se muestra en la Figura 42. Una vez pulsado el programa irá graficando los valores obtenidos por los sensores. De esta forma, en cada minuto, que es el periodo de tiempo de espera para que se ejecute de nuevo nuestro programa, se irán añadiendo datos a cada una de las gráficas.

En la barra de menú del programa se encuentra la opción “Gráficas”, que permite dos acciones diferentes sobre estas, como se observa en la Figura 43. La primera de ella es que permite mostrar o no el título de las gráficas. Por defecto, esta opción viene marcada y por tanto se muestran los títulos. La segunda de ella es que permite activar o desactivar las líneas de cuadrícula. En el caso de esta opción viene desactivada por defecto. En la Figura 48 se observa un ejemplo de cómo quedaría una gráfica con la opción de título marcada y las líneas de cuadrículas activa.



Figura 48: Gráfica con líneas de cuadrículas y título activos.

Después del periodo de captura que se estime oportuno, llega el momento de guardar la información, para disponer de un registro y así, poder analizar los datos a posteriori. Esto se consigue haciendo clic en “Archivo” en la barra de menú, y luego haciendo clic en la opción “Guardar gráfica”, como se muestra en la Figura 43. Al seleccionar esta opción, se abre un cuadro de diálogo donde se puede cambiar el nombre al archivo, seleccionar la ubicación donde se quiere que se guarde y seleccionar el formato del archivo en un menú desplegable (Figura 49). Para completar la acción de guardar la gráfica, solo quedaría pulsar en el botón “Guardar” y se generará el archivo.

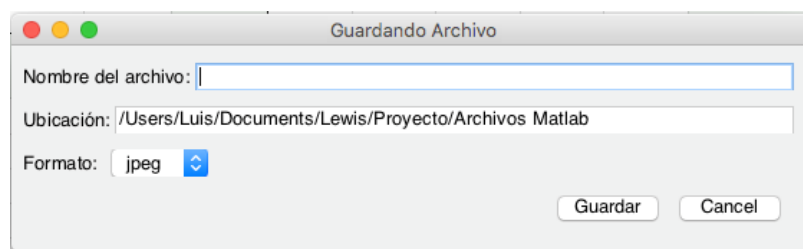


Figura 49: Cuadro de dialogo de la opción “Guardar gráficas”

También existe la opción de imprimir las gráficas utilizando la impresora que se tenga conectada al ordenador. Para ello se debe hacer clic en la opción “Imprimir”, como se muestra en la Figura 43, la cual abre el cuadro de diálogo genérico del sistema operativo, que para este caso es Mac OS X, donde se puede seleccionar la impresora y modificar todos los ajustes (Figura 50).

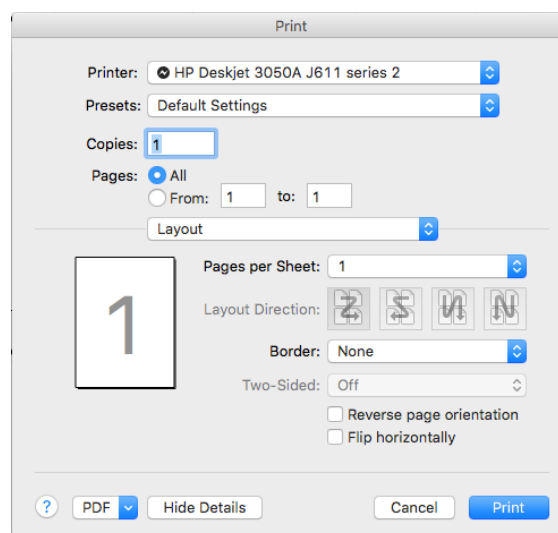


Figura 50: Cuadro de dialogo de la opción “Imprimir”

Como se puede observar en la Figura 43, existe un tercer botón llamado “Salir” cuya función es cerrar la ventana principal y el programa Matlab.

6.5 Calibración

La calibración es uno de los aspectos más importantes de este dispositivo, ya que debemos asegurarnos que los valores medidos por los sensores se ajustan a la realidad, para así, garantizar que se cumple o no lo dispuesto en los RD, los Reales Decretos.

El Control Metrológico del Estado se aplica a los equipos o sistemas de medida que puedan tener influencia sobre la transparencia de transacciones comerciales, la salud o la seguridad de consumidores y usuarios, así como sobre el medio ambiente. Las Administraciones Públicas, en sus ámbitos de competencia, son las responsables de su designación y utilizan la herramienta de la acreditación de ENAC (Entidad Nacional de Acreditación) como garantía de su competencia técnica.

En España actúan tres tipos de organismos evaluadores de la conformidad en el campo de la metrología legal:

- Organismos Notificados.
- Organismos de Control Metrológico.
- Organismos Autorizados de Verificación Metrológica.

Los dos primeros participan en la fase de comercialización y puesta en servicio de los equipos mientras que los terceros lo hacen en el caso de equipos ya comercializados o instrumentos en servicio.

Pese a la importancia de este aspecto, en este proyecto, de manera excepcional y debido a su carácter educativo, no se ha realizado una calibración con el organismo correspondiente. Aun así, para intentar comprobar el correcto funcionamiento de los sensores, se han realizado diferentes medidas en ambientes donde se pudiera cotejar los resultados con los resultados de otro dispositivo que estuviera obteniendo las medidas del lugar. Sin embargo, esta circunstancia tampoco llega a confirmar que el dispositivo esté bien calibrado ya que no se puede garantizar que el dispositivo de referencia usado en cada una de las localizaciones donde se han realizado medidas esté correctamente calibrado.

7. Resultados e Interpretaciones

Una vez construido el dispositivo y terminado el desarrollo de la interfaz gráfica, solo queda emplear el dispositivo para el fin con el que ha sido desarrollado. Para ello, se han seleccionado 3 ubicaciones diferentes en cuanto a cantidad de personas albergadas en su interior, la ventilación de la sala y el tamaño de las mismas. Estos lugares son:

- Planta baja de la Biblioteca en la Escuela Superior de Ingenieros (Sevilla).
- Dormitorio de una casa particular (Sevilla)
- Oficinas de Green Power Technologies S.L. (Bollullos de la Mitación).

A continuación se realizará un estudio al detalle de cada uno de ellos y una comparativa entre dos de ellos, para así poder sacar conclusiones de las diferentes condiciones ambientales en cada ubicación.

7.1 Biblioteca ESI

La Escuela Superior de Ingeniería está ubicada en la Isla de la Cartuja (Camino de los descubrimientos, s/n.) en el que fuera el pabellón de América durante la Exposición Universal de 1992. En la primera planta del edificio se encuentra el acceso a la biblioteca. Ésta dispone de 2 plantas, siendo la planta baja la que alberga el mayor número de personas. El lugar escogido para realizar las medidas tiene un aspecto similar al de una oficina, debido a que hay un gran espacio sin paredes, donde los estudiantes se ubican y un gran ventanal al fondo. Este aspecto puede observarse en la Figura 50, pero se debe tener en cuenta que el ventanal se sitúa a la espalda de la fotografía.

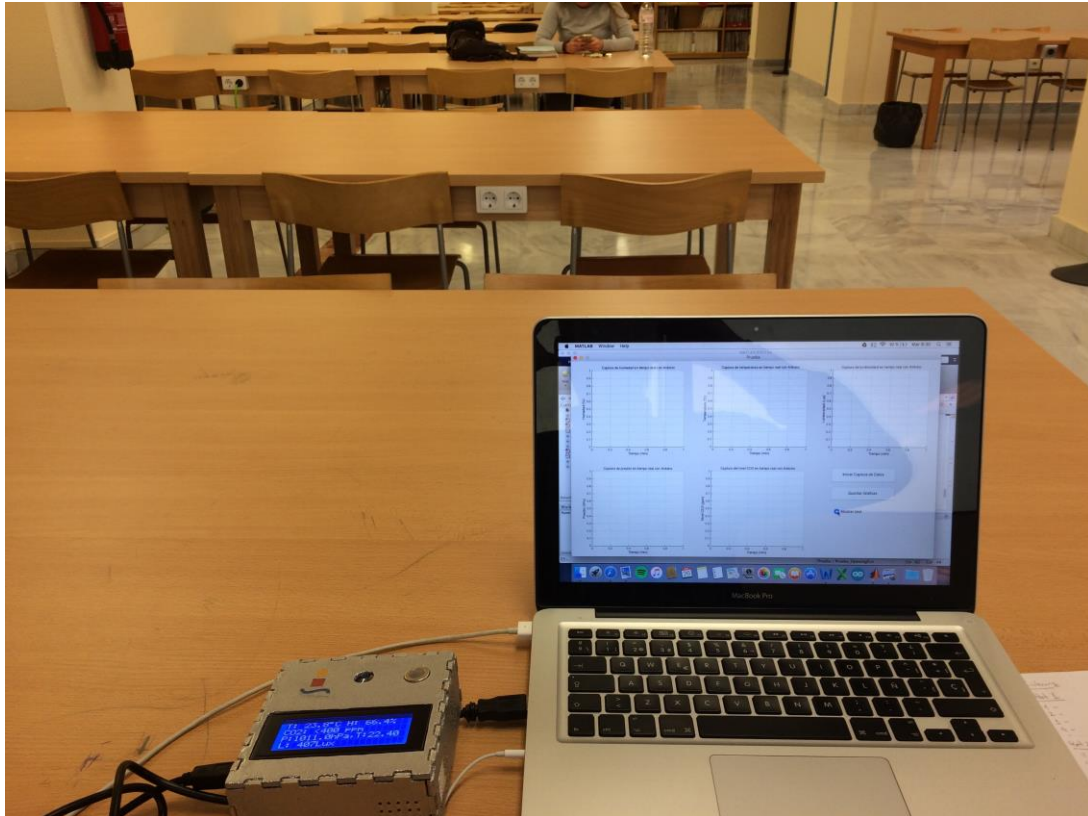


Figura 50: Biblioteca de la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla

7.1.1 Mediciones y Resultados

Las mediciones de las condiciones ambientales se llevaron a cabo en el lugar indicado en la Figura 50, situado en la planta baja de la biblioteca de la Escuela Superior de Ingenieros. También en ella se puede observar la ubicación del dispositivo.

- La toma de datos se realizó desde las 8:30 de la mañana hasta las 12:00.
- La sala inicialmente estaba vacía y con el sistema de climatización funcionando.
- El día era soleado donde las previsiones daban una temperatura exterior máxima de 28°C.

Los resultados obtenidos se muestran en la Gráfica 1:

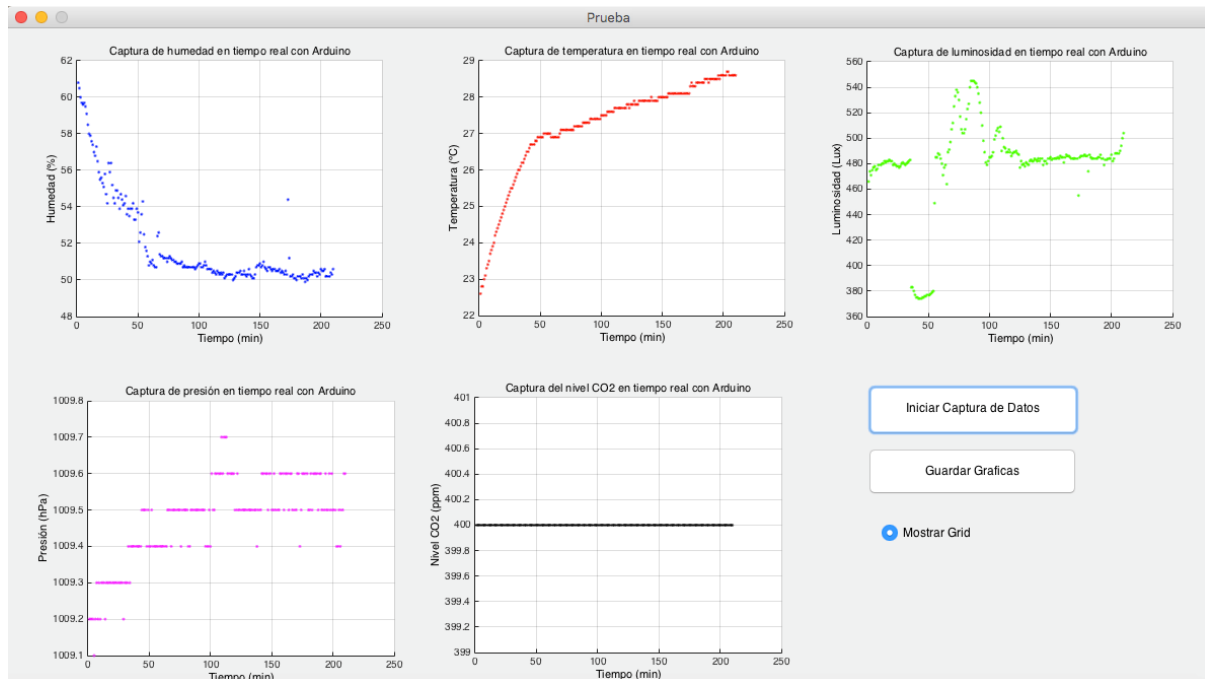


Gráfico 1: Medidas obtenidas en la biblioteca de la ESI.

Tras analizar los datos recogidos por el dispositivo se pueden observar los siguientes hechos:

- **Humedad:** se observa que a primera hora de la mañana se obtiene el valor máximo de la humedad. A partir de ahí, los valores comienzan a descender conforme va pasando la mañana, dándose el mínimo valor a la hora de finalización de las mediciones. Con respecto a la pendiente, se puede observar como la caída de humedad es muy brusca durante la primera hora para luego casi permanecer constante durante el resto de la jornada. Una posible explicación a ese descenso de humedad conforme va pasando la jornada puede deberse al funcionamiento del sistema de climatización.
- **Temperatura:** al contrario con lo que ocurre con la humedad, y como es de esperar, la temperatura aumenta conforme transcurre la jornada. A primera hora de la mañana cuando la biblioteca acaba de abrir y está prácticamente vacía, la temperatura medida es la mínima que registra el dispositivo. Luego, a medida que llegan los estudiantes y muchos de ellos encienden sus ordenadores la temperatura de la sala aumenta. Ese aumento es mucho más rápido al principio que durante el resto de la jornada. Esta diferencia se debe a que a primeras horas de la mañana llegan muchos estudiantes a la vez. También se debe tener en cuenta que otro posible factor de este incremento puede ser el aumento de la temperatura exterior conforme transcurre la jornada.

- **Presión:** la diferencia entre los valores máximos y mínimos de la presión es aproximadamente 0,7 hPa, por lo que ha sido muy constante a lo largo de la jornada.
- **Nivel de CO₂:** en la gráfica se puede ver como el nivel captado por el sensor siempre estaba por debajo de las 400 ppm.
- **Luminosidad:** se puede decir en general que los valores medidos están en torno a los 480 lux, pero se puede observar como hay un periodo donde desciende a los 350 lux y luego vuelve a recuperarse incluso pasando a valores cercanos a los 540 lux. Esta bajada de luminosidad se debe a la mala colocación de una hoja de papel que tapaba el sensor.

7.1.2 Observaciones

Como se comentará en el apartado 7.3.2, puede considerarse que los valores de temperaturas no son los correctos, por lo que habría que aplicarle un coeficiente de corrección para que se ajusten más a la realidad.

Por otro lado, como se comentará en el apartado 7.2.2, puede considerarse que los valores medidos por el sensor de CO₂ no son los correctos, por lo que no debe de considerarse estos valores para sacar conclusiones en este estudio.

7.2 Dormitorio

La siguiente prueba se ha realizado en un dormitorio de unos 7 m², en una casa particular, situada en la barriada de Pino Montano en Sevilla. En la Figura 51 se puede observar la colocación del dispositivo con respecto a la distribución del dormitorio.



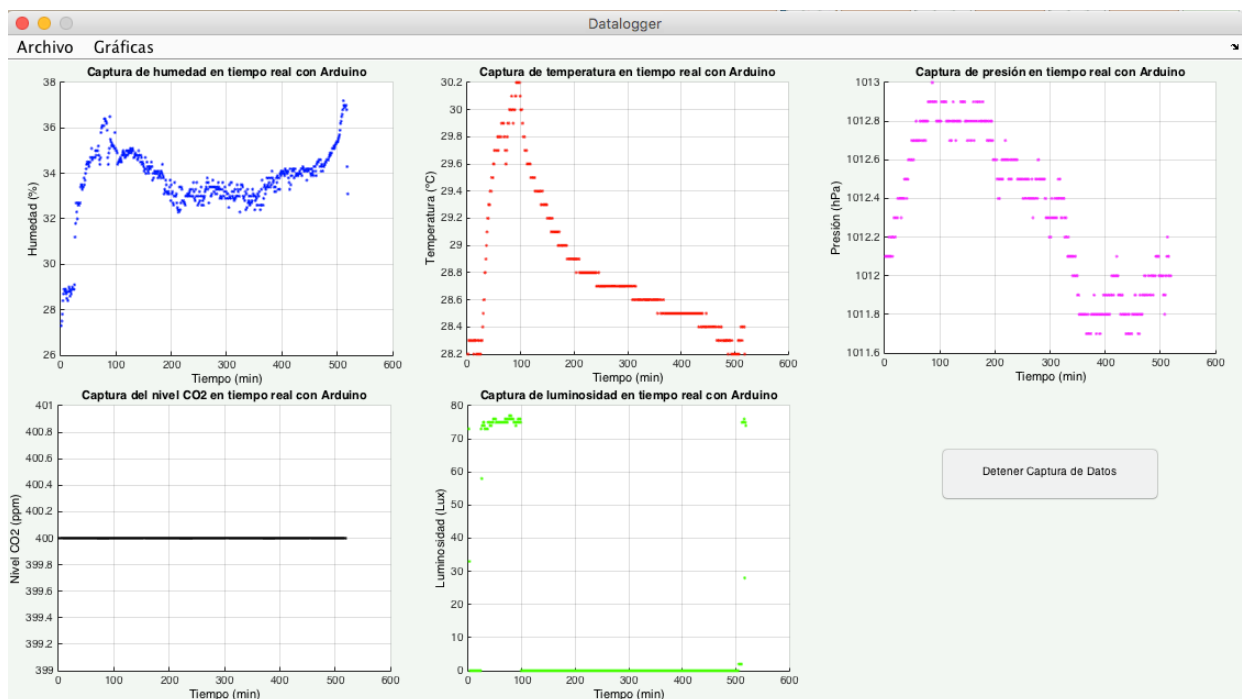
Figura 51: Dormitorio donde se realizó la prueba.

7.2.1 Mediciones y Resultados

Para esta ubicación se decidió variar la franja horaria en la que se registran los datos. Para ello se decidió ver las condiciones ambientales que había en el dormitorio mientras una persona dormía en él.

- Las mediciones se realizaron de 23:00 hasta las 6:30 de la mañana.
- La puerta del dormitorio estaba encajada y la ventana cerrada.
- Las predicciones daban lluvia para las primeras horas de la mañana y una temperatura mínima de 16°C, la temperatura máxima del día anterior fue de 29°C.

Los resultados obtenidos se muestran en la Gráfica 2:



Gráfica 2: Medidas obtenidas para dormitorio.

Los datos recogidos por el dispositivo muestran los siguientes hechos:

- **Humedad:** se observa como al iniciar las medidas, la humedad estaba aumentando debido a que era de noche. Al poco tiempo alcanza un máximo para luego estabilizarse en unos valores cercanos a este máximo. También se puede ver como al final de la jornada de medida, la humedad vuelve a aumentar. Probablemente este aumento se deba a la lluvia que comenzó a caer a primera hora de la mañana.

- **Temperatura y Luminosidad:** se visualiza como al inicio de las mediciones, la temperatura aumenta muy rápidamente, alcanza un valor máximo y luego vuelve a descender bruscamente para luego continuar con un descenso más moderado. Este comportamiento se puede explicar observando las gráficas de la luminosidad, donde se puede ver como a la hora de tomar los primeros datos no había nadie en el dormitorio, por lo que las luces estaban apagadas. A continuación se observa como el sensor de luz capta que hay alguien en la habitación ya que ha encendido las luces. Para explicar el aumento brusco de la temperatura se debe tener en cuenta que las bombillas y las personas generan calor y además, la ventaba se encontraba cerrada. Para finalizar, cuando la persona apaga las luces y se tapa con el nórdico, la temperatura de la habitación vuelve a caer bruscamente.
- **Presión:** en esta ocasión la presión tiene una tendencia a la baja. La diferencia entre los valores máximos y mínimos de la presión es ligeramente mayor que en otras mediciones.
- **Nivel de CO₂:** en la gráfica se visualiza como el nivel captado por el sensor siempre estaba por debajo de las 400 ppm.

7.2.2 Observaciones

Como se comentará en el apartado 7.3.2, puede considerarse que los valores de temperaturas no son los correctos, por lo que habría que aplicarle un coeficiente de corrección para que se ajusten más a la realidad.

Dado que en las mediciones anteriores los valores de CO₂ no habían variado, se hizo una revisión del código así como de las conexiones, ya que era probable que en un dormitorio cerrado se superaran con creces el valor de 400 ppm. Se encontró un error en el código que fue subsanado por lo que las mediciones de CO₂ para estas dos primeras ubicaciones no se deben tener en cuenta.

Después de las correcciones se volvió a realizar la misma medición intentado ajustarse lo máximo posible a las condiciones anteriores.

- Las mediciones se realizaron de 0:00 hasta las 6:30 de la mañana.
- La puerta del dormitorio estaba encajada y la ventana cerrada.
- Las predicciones daban lluvia toda y una temperatura mínima de 14°C, la temperatura máxima del día anterior fue de 24°C.

Los resultados se pueden consultar en el Gráfico 3.

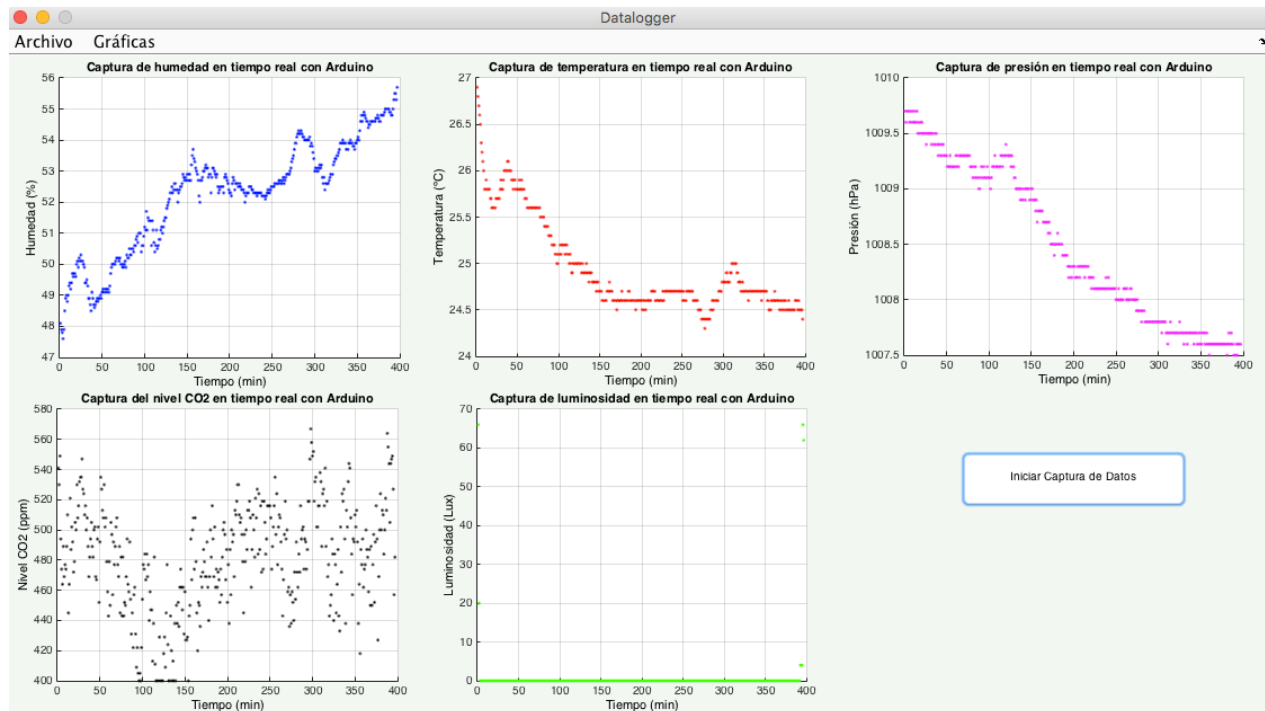


Gráfico 3: Mediciones obtenidas en el dormitorio, con corrección de errores en temperatura y nivel de CO₂

Los datos recogidos por el dispositivo recogen los siguientes hechos:

- **Humedad:** se observa que el comportamiento es similar al de la medición anterior pero en esta ocasión la tendencia es a seguir aumentando.
- **Temperatura y Luminosidad:** si se observa en detalle los primeros valores en la gráfica de la luminosidad, nos damos cuenta que la luz estaba encendida cuando se inició la captura de los datos y acto seguido se apagó hasta que la persona se levantó por la mañana. Esto se ve reflejado en la gráfica de la temperatura como una caída brusca al inicio de las mediciones. Luego la temperatura se estabiliza en torno a los 24,5°C.
- **Presión:** en esta medición se vuelve a repetir el descenso de la presión pero en esta ocasión, sí observamos un descenso prolongado con una diferencia más amplia.
- **Nivel de CO₂:** como era de esperar, en una habitación sin apenas ventilación, los valores de CO₂ superan las 400 ppm. Pese a que se obtienen unos valores bastante dispersos, se puede ver como la mayoría de ellos rondan las 500 ppm.

7.3 Oficinas GPTech

Las oficinas de la empresa Green Power Technologies S.L. están situadas dentro del polígono industrial de Bollullos de la Mitación (PIBO) en la Av. De Camas nº 26-28. Es un edificio de 1 plantas en la que la mayoría de sus empleados, cerca de unos 50 empleados, se sitúan en la 1ª planta. Las oficinas de la empresa se muestran en la Figura 52.



Figura 52: Oficinas de Green Power Technologies

7.3.1 Mediciones y Resultados

Las mediciones de las condiciones ambientales se llevaron a cabo en el puesto de trabajo indicado en la Figura 53, en la que también se puede observar la ubicación del dispositivo. Está situado en la primera planta de la oficina, ya que alberga a la mayoría de los trabajadores.

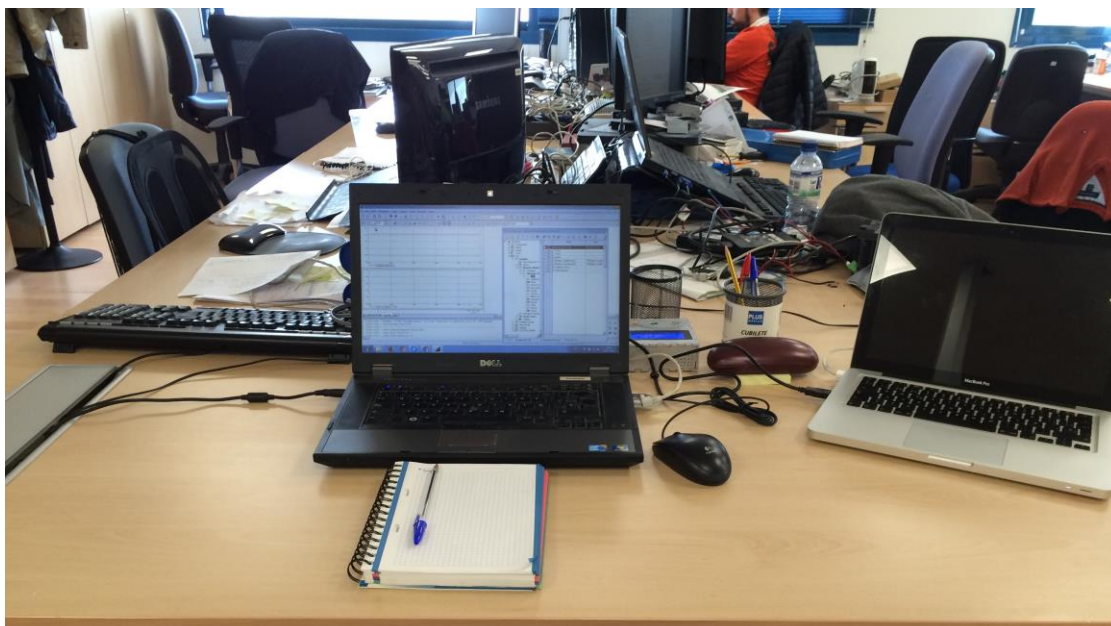


Figura 53: Ubicación del dispositivo en las oficinas de GPTech.

- La toma de datos se realizó desde las 9:00 de la mañana hasta las 14:00.
- Inicialmente habría unos 10 trabajadores, llegando el resto en torno a la hora de comienzo de la toma de datos. Las ventanas estaban abiertas y el sistema de climatización se encontraba apagado.
- El día era lluvioso y se tenían unas previsiones de 24°C de máxima en el exterior.

Los resultados se pueden consultar en el Gráfico 4.

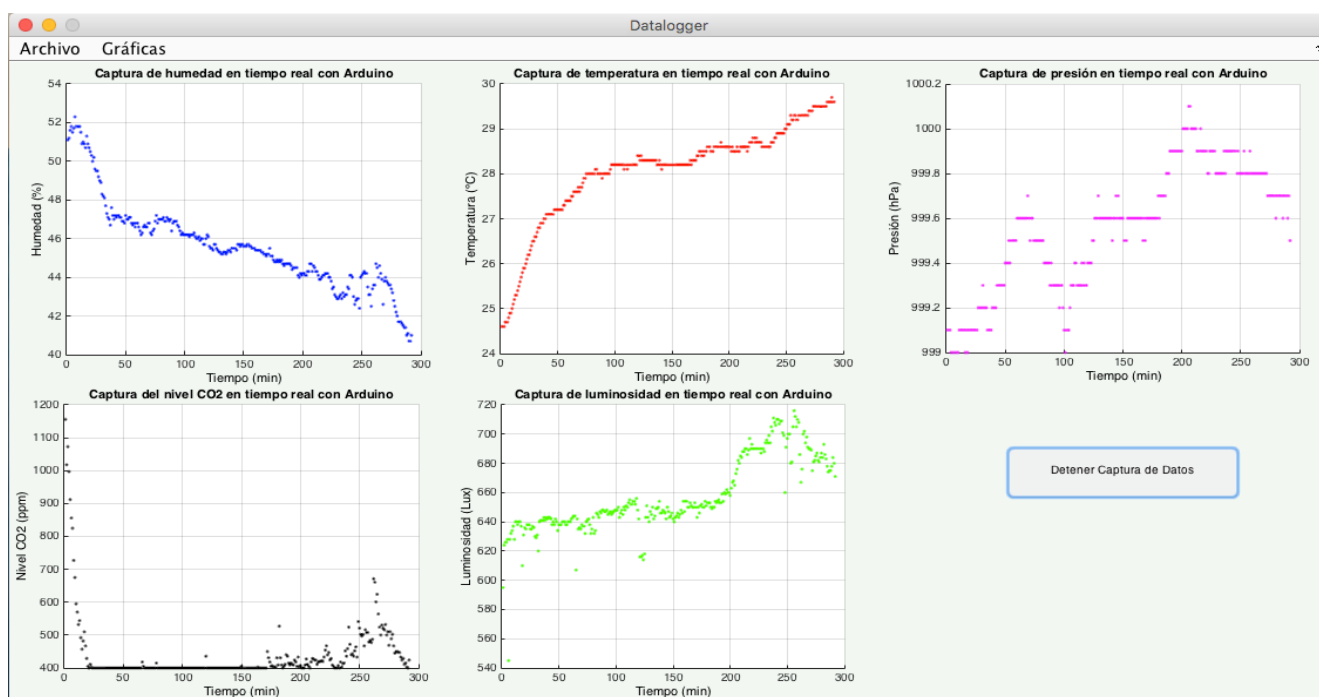


Gráfico 4: Medidas obtenidas en la oficina de GPTech

Los datos recogidos por el dispositivo muestran los siguientes hechos:

- **Humedad:** se comprueba como a primera hora de la mañana se obtiene el valor máximo de la humedad. A partir de ahí, los valores comienzan a descender conforme va pasando la mañana, dándose el mínimo valor a la hora de finalización de las mediciones. Con respecto a la pendiente, se puede observar como la caída de humedad es muy brusca durante la primera hora y luego ralentiza ese descenso durante el resto de la jornada. Una posible explicación a ese descenso puede deberse a la puesta en marcha del sistema de climatización.
- **Temperatura:** a primera hora de la mañana, cuando el edificio acaba de abrir y las personas comienzan a llegar a sus puestos de trabajo, la temperatura medida es la mínima que registra el dispositivo. Luego, a medida que llegan los trabajadores y encienden sus ordenadores, la temperatura de la sala aumenta mucho más rápido que durante el resto de la jornada. Después, la pendiente de la curva se vuelve prácticamente plana, para al final de la jornada, volver a crecer. Este crecimiento es debido a que se alcanzó la franja horaria donde se dan las temperaturas máximas.
- **Presión:** la diferencia entre los valores máximos y mínimos de la presión es aproximadamente 1 hPa, por lo que fue muy constante a lo largo de la jornada.
- **Nivel de CO₂:** en la gráfica se puede ver como durante los primeros 30 minutos, el sensor registraba valores altos de concentración de CO₂, cuando la oficina todavía no está funcionando al 100%. Esto se debe a que el sensor necesita un periodo de calentamiento, en el cual los valores medidos no se corresponden con la realidad. Por tanto, sin tener en cuenta esos valores se observa como los valores de CO₂ se mantienen por debajo de las 400 ppm la primera parte de la medición. A continuación se visualiza como los valores oscilan entre las 400 - 500 ppm. Finalmente se puede observar un pico en el tramo final de la medición debido a la presencia de un compañero en el puesto de trabajo.
- **Luminosidad:** como se puede observar en la Figura 52, la sala dispone de una luminaria uniforme, para tratar de cubrir todos los puestos de trabajo. Este hecho se puede observar en la uniformidad de la gráfica durante la mayor parte del tiempo. Solo se observa como aumenta la luminosidad al final de la jornada de medición y probablemente se deba a la apertura de algunos claros debido a que el día era lluvioso y el cielo estaba bastante cubierto.

7.3.2 Observaciones

En GPTech disponen de algunos aparatos de medidas de la temperatura y la humedad, debido a que es son variables a controlar en los dispositivos que ellos fabrican. Por parte de la empresa tuvieron la amabilidad de facilitar un medidor de temperatura por un tiempo limitado. Esto sirvió para comprobar si los valores medidos que el sensor de temperatura eran los correctos. Como podemos ver en la Figura 54, la diferencia entre los valores es de unos 3°C. Durante el tiempo que se midió con ambos aparatos esta diferencia aumentaba y disminuía ligeramente pero casi siempre se mantenía en torno a ese valor.



Figura 54: Diferencias entre las medidas de los dos dispositivos.

Como consecuencia de esto, y suponiendo como valor verdadero de la temperatura el del dispositivo prestado por la empresa, se ha modificado los valores de medida del sensor DTH22, introduciéndole un factor de corrección. Dicho factor se ha calculado tomando algunas muestras durante las mediciones, como se puede observar en la Tabla 21.

Muestra	Sensor DTH22	Sensor GPTech	Factor de Corrección	Factor de Corrección Global
1	29,3°C	25,8°C	0,88	0,9
2	29,1°C	25,9°C	0,89	
3	29,0°C	26,3°C	0,91	

Tabla 21: Muestras de temperatura para el cálculo del factor de corrección.

Debido a que las mediciones en las oficinas de GPTech fueron las últimas que se realizaron, y que no se disponía de más tiempo para volver a realizar las mediciones en la biblioteca de la ESI, los valores de las temperaturas de la prueba de la biblioteca no tienen aplicado este factor de corrección. Por otra parte, se volvió a las oficinas de GPTech para realizar el mismo estudio y poder así observar la temperatura con unos valores más reales.

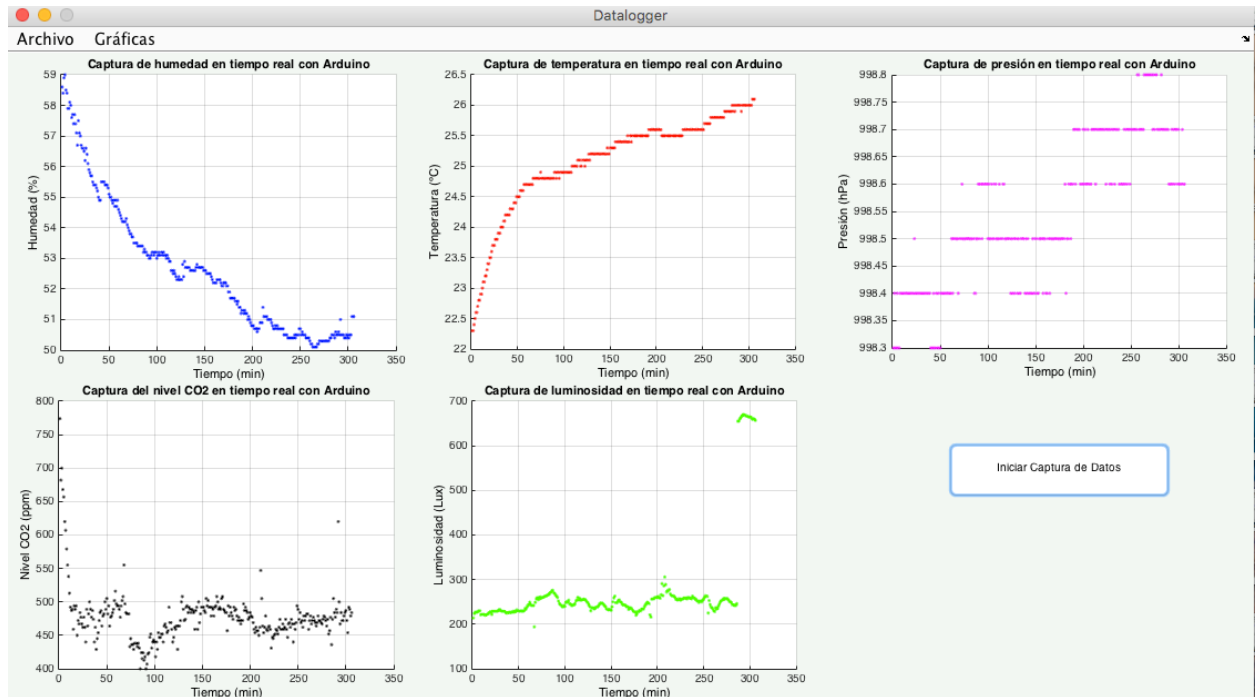


Gráfico 5: Medidas obtenidas en la oficina de GPTech, con factor de corrección en la temperatura aplicado.

- La toma de datos se realizó desde las 9:00 de la mañana hasta las 14:00.
- Inicialmente habría unos 15 trabajadores, llegando el resto en torno a la hora de comienzo de la toma de datos. Las ventanas estaban algo abiertas debido a la lluvia y el sistema de climatización se encontraba apagado en esos momentos.
- El día era un día lluvioso donde las previsiones daban una temperatura exterior máxima de 23°C.
- La ubicación del dispositivo se puede comprobar en la Figura 53.

Como se observa en el Gráfico 4, el comportamiento de las variables es muy similar al del día anterior. Como principales diferencias, cabe destacar:

- Los niveles de CO₂ tienen un comportamiento similar al de la primera toma de datos, pero en esta segunda, los valores siempre están comprendidos entre 400 – 500 ppm.

- La luminosidad también tiene el mismo comportamiento que en la primera toma de datos, pero esta vez los valores son mucho más bajos. Esto era debido a que parte de la luminaria estaba apagada. Cuando se subsanó el error, podemos observar en la gráfica que los valores vuelven a ser parecidos a los de la primera toma de datos.

7.4 Comparación de Resultados

En este apartado se va a comparar los resultados de dos de las ubicaciones utilizadas para la toma de datos. Estas son la biblioteca de la Escuela Superior de Ingenieros y las oficinas de Green Power Technologies. Se ha decidido esta comparación debido a que pese a que son ámbitos completamente diferentes, las ubicaciones tenían muchas similitudes como se indica a continuación:

- Sala diáfana donde se alberga a muchas personas sin paredes entre ellas.
- Sistema de iluminación uniforme.
- Sistema de climatización de la sala.
- Grandes ventanas para aportar luz natural.
- Las condiciones de toma de datos fueron similares, exceptuando las condiciones meteorológicas externas del día.

Por tanto, se considera que puede ser interesante ver las evoluciones de variables medidas, aunque en valor no coincidan. Para esta comparativa, se usarán las Gráfica 1 y Gráfica 5.

- **Humedad:** en ambas pruebas el valor máximo se da en las primeras tomas de datos y luego comienza un descenso brusco para, a mitad de la prueba, empezar a estabilizarse en un rango muy pequeño.
- **Temperatura:** al igual que ocurre con la humedad, también se observa un comportamiento similar en la temperatura. Ambos comienzan en el valor mínimo y aumentan muy rápidamente en cuanto la sala comienza a llenarse. Luego se ralentiza este aumento que se puede explicar con el aumento de la temperatura exterior.
- **Presión:** pese a que la presión varía y parece que tiene una tendencia a aumentar, puede considerarse prácticamente constante debido a que las diferencias están en torno a los 0,5 hPa en ambas mediciones.
- **Nivel de CO₂:** como se comentó en el apartado 7.2.2, no se pueden sacar conclusiones con los datos que se disponen.

- **Luminosidad:** se observa en las gráficas que la luminosidad permanece constante en ambos casos, lo cual es debido al sistema de iluminación uniforme que poseen ambas ubicaciones.

8. Posibles Aplicaciones y Mejoras

Este dispositivo se desarrolló con la intención de que cada trabajador tuviera uno en su puesto de trabajo debido, a que hoy en día, gran parte de los trabajos se realizan en oficinas donde se ubican a una gran cantidad de trabajadores en una misma zona. Por tanto, su principal aplicación es la de medir las condiciones ambientales y generar y guardar las gráficas en una oficina. Teniendo en cuenta que el dispositivo mide las condiciones ambientales también se podría usar en cualquier lugar en el que se tuviera que controlar alguna de las variables que mide el dispositivo, como por ejemplo, accionar un motor acoplado a una persiana para subirla y bajarla en función de la luminosidad y la temperatura, regular la intensidad de las luces de la oficina, etc.

En el apartado 6.3.1 se comentó algunas posibles mejoras con respecto al hardware, en esta sección comentaremos las posibles mejoras en cuanto al funcionamiento del dispositivo como al software de utilización. Las propuestas de mejoras son:

- **Autonomía:** este dispositivo está pensado para su utilización en oficinas donde disponen de ordenadores, ya sean portátiles o PC, a los que se le puede instalar Matlab y poder así ejecutar la interfaz gráfica. Por desgracia, Matlab no es un programa gratuito y se requieren licencias para poder usarlo, las cuales no son precisamente baratas. Esto hace que el dispositivo pierda autonomía al no poder monitorizar las variables en tiempo real sin tener Matlab. Por otro lado, sería muy interesante añadirle una batería, la cual haría que el dispositivo fuera completamente autónomo y funcionara sin necesidad de un ordenador. También sería conveniente añadirle autonomía a la hora de guardar los datos. Esta mejora se intentó llevar a cabo, pero debido a problemas y retrasos en la entrega de los materiales, finalmente no ha sido posible incluirla en este proyecto. No obstante, en el apartado 8.1 se incluirá todo lo necesario para llevar a cabo esta mejora.
- **Compatibilidad:** el código generado en GUIDE para crear una conexión con la placa Arduino, solo contempla la opción de utilización en Mac OS X. Por lo que sería conveniente generar un nuevo código que permita la utilización en otros sistemas operativos.
- También sería interesante añadir algún tipo de señal acústica, visual o sensitiva que permita conocer que se están sobrepasando algunos límites de manera continuada. Esto permitiría aplicar de inmediato alguna medida correctiva en el puesto del trabajador para mejorar sus condiciones de trabajo.

- Otra posible mejora sería una generación de un informe de manera automática, de forma que cualquier usuario pudiera entender los resultados obtenidos sin necesidad de tener conocimientos técnicos sobre el funcionamiento del dispositivo o sobre la legislación vigente. Así se podría aplicar de inmediato las medidas correctivas oportunas para mejorar su calidad en trabajo.

8.1 Mejora Módulo Tarjeta SD

El módulo seleccionado para leer y/o escribir archivos en tarjetas micro SD es el módulo de Adafruit.com, como se muestra en la Figura 55, en la que también se muestran los pines de conexión.

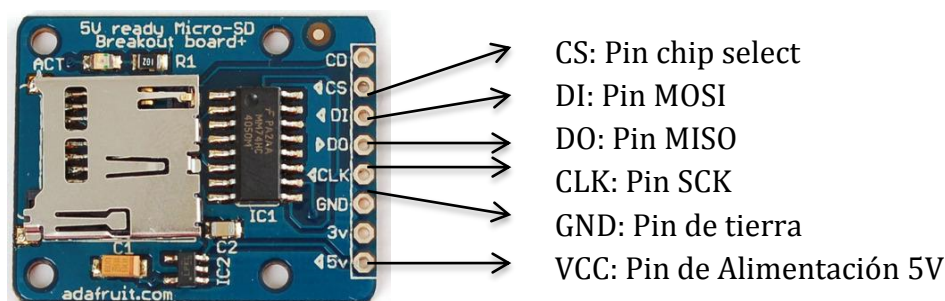


Figura 55: Vista general del módulo micro SD y detalles de pines de conexión.

Debido a que las tarjetas SD requieren una gran cantidad de transferencia de datos, conectar el modulo a los pines SPI de la placa Arduino le dará un mejor rendimiento. En la Tabla 22 podemos observar cuales son los pines asociados los pines SPI.

Placa Arduino	MOSI	MISO	SCK	CS	VCC
UNO	Pin digital 11 o ICSP-4	Pin digital 12 o ICSP-1	Pin digital 13 o ICSP-3	10	5V

Tabla 22: Configuración SPI en placa Arduino UNO

Tradicionalmente para el pin CS siempre se usaba el pin 10, pero se puede utilizar cualquier pin digital disponible. Debido al conexionado de la pantalla el pin 10 de nuestra placa Arduino no está disponible, por lo que utilizaremos el pin número 13.

En la Figura 56 se muestra como debe de conectarse a la placa Arduino, cabe destacar que se utilizaría los pines ICSP de nuestra placa debido a la utilización de los pines digitales por parte de la pantalla LCD.

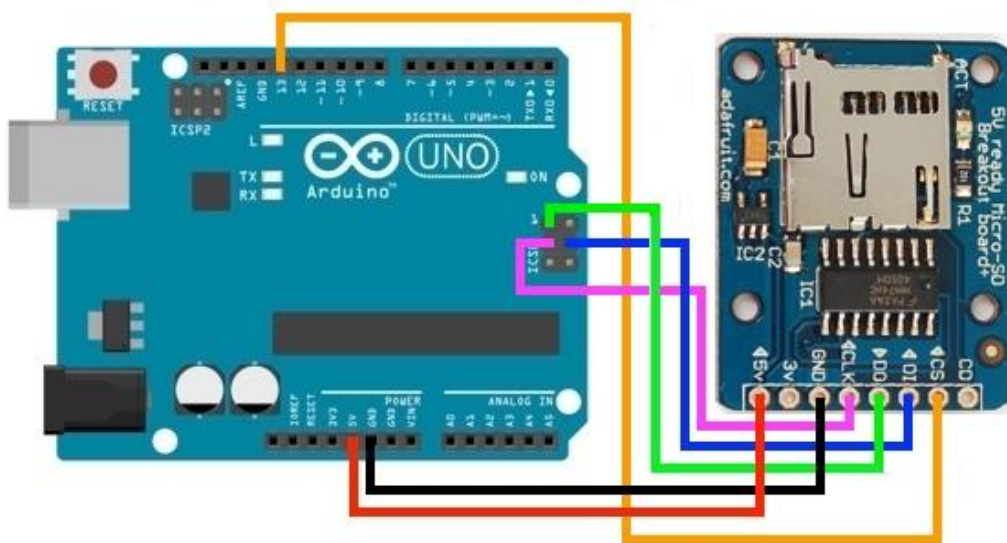


Figura 56: Esquema de conexión del módulo SD con placa Arduino

Una vez finalizada la parte de conexión con la placa Arduino, solo quedaría añadir a nuestro código las librerías y sentencias necesarias para hacer funcionar el módulo. Para completar el proceso se cargaría a la placa con el software de Arduino (IDE). El código a incluir se detalla a continuación:

```

/*****Librerías*****/
#include <SPI.h>
#include <SD.h>

/*****Definiciones*****/

const int chipSelect = 13;
File dataFile;

/***** Incluir en el void setup() ya existente*****/
void setup()
{
  pinMode(SS, OUTPUT);

  if (!SD.begin(chipSelect)) // Comprobación de que se inicia correctamente
  {
    Serial.println("Inicio fallido");
    while (1);
  }
  Serial.println("Tarjeta Iniciada");

```

```

// Abrimos el archivo en el que vamos a escribir
dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);
if (! dataFile)
{
  Serial.println("error opening datalog.txt");
  while (1) ;
}

/***** Incluir en el void loop() ya existente*****/

void loop()
{
  String dataString = ""; // Creamos una cadena para unir los datos a escribir
  // Escribimos los valores de las variables en la cadena
  dataString = String(h); dataString += ",";
  dataString+= String(0.9*T1); dataString += ",";
  dataString+= String(P); dataString += ",";
  dataString+= String(percentage); dataString += ",";
  dataString+= String(lux);

  //Guardamos los datos en la tarjeta SD
  dataFile.flush();
}

```

9. Conclusiones del Proyecto

El objetivo de este proyecto era desarrollar un dispositivo capaz de medir las condiciones ambientales en las que se desarrolla un determinado puesto de trabajo apoyándose de la plataforma de código abierto Arduino. Utilizar esta plataforma nos permitió desarrollar un dispositivo con un coste bajo. Cabe destacar que el dispositivo desarrollado cumple con todos los requisitos para lograr el objetivo del proyecto. Estos son:

- Cuantificar de la manera más precisa posible las condiciones ambientales, reuniendo todos los sensores en un único dispositivo.
- Gracias a la plataforma de código abierto Arduino, se ha podido desarrollar un dispositivo a un coste mucho menor que el de dispositivos ya existentes en el mercado. El coste del dispositivo está en torno a los 120€.
- Tanto la placa Arduino como los sensores que utiliza el dispositivo tienen un consumo excepcionalmente bajo, por lo que podría ser alimentada a través de baterías.
- Es un dispositivo pequeño y ligero, que se puede transportar con facilidad y adaptar a cualquier puesto de trabajo.
- Gracias a la utilización Matlab, se ha podido desarrollar una interfaz gráfica para cumplir con los siguientes requisitos:
 - Monitorizar las medidas mediante el uso de graficas en tiempo real.
 - Análisis mediante la generación de un archivo de texto, que guarda los datos recogidos para una posible recuperación o análisis estadístico posterior.

10. Bibliografía

- [1] www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1995-24292
- [2] www.insht.es/portal/site/Insht/
- [3] www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/46.pdf
- [4] www.arduino.cc
- [5] <https://openwebinars.net/tutorial-arduino-ide-arduino/>
- [6] <https://panamahitek.com/dht22-sensor-de-humedadtemperatura-de-precision-para-arduino/>
- [7] <http://panamahitek.com/sensor-de-presion-atmosferica-el-bmp180/>
- [8] <https://cmosgr.wordpress.com/2013/09/02/bh1750fvi-gy-302-light-sensor-module/>
- [9] www.dfrobot.com/index.php?route=product/product&product_id=1023#.Vy21vGMzM5h
- [10] http://eii.unex.es/profesores/jisuaresz/descargas/ip/lcd_alfa.pdf
- [11] http://www.construmatica.com/construpedia/?title=El_Ruido_en_el_Trabajo._Alcance_de_un_Problema_Global&redirect=no

11. Anexos

11.1 Código Arduino

```
/****** Librerías *****/

#include <DHT.h>           //Sensor temperatura y humedad DHT
#include <SFE_BMP180.h>    //Sensor presión BMP180
#include <Wire.h>          //Sensor presión BMP180
#include <BH1750.h>        //Sensor luminosidad BH1750
#include <LiquidCrystal.h> //Pantalla LCD

/****** Definiciones *****/

#define DHTPIN (2)        //Define el pin de Arduino al cual se conecta el sensor.
#define DHTTYPE (DHT22)  //Define el tipo de sensor DTH usado.
#define ALTITUDE (34.0)   //Altitud en Aeropuerto de Sevilla (en metros).
#define DC_GAIN (8.5)     //Define la ganancia del amplificador.
//Estos dos valores cambian en de sensor a sensor. El usuario debería
determinar los valores.
#define ZERO_POINT_VOLTAGE (0.455) //Define la salida del sensor en voltios
cuando la concentración de CO2 es de 400PPM
#define REACTION_VOLTAGE (0.020) //Define la caída de tensión del sensor
cuando movemos los valores del sensor desde aire a 10000 ppm CO2

/****** Variables Locales *****/

char status;
double T, P, p0, a, CO2,h, T1;
uint16_t lux;
float CO2Curve[3] =
{2.602,ZERO_POINT_VOLTAGE,(REACTION_VOLTAGE/(2.602-3))};
int percentage;
float volts;
long intervalo = 55000; long timer = millis();

/****** Esquema de Conexiones de los sensores con Arduino *****/

/**Diagrama Sensor Temperatura**/ /**Diagrama sensor de Presión**/
// Pin VCC Sensor a +5V de Arduino // Pin VIN a Pin +3,3V de Arduino
// Pin DAT Sensor a Pin 2 de Arduino // Pin GND a Pin GND de Arduino
// Pin GND Sensor a GND de Arduino // Pin SCL a Pin a SCL de Arduino
// Pin SDA a Pin a SDA de Arduino

/**Diagrama Sensor Luz**/ /**Diagrama Sensor CO2**/
// Pin VCC Sensor a +5V de Arduino // Pin VCC Sensor a +5V de Arduino
// Pin GND Sensor a GND de Arduino // Pin GND Sensor a GND de Arduino
// Pin SCL a Pin a SCL de Arduino // Pin DAT a Pin a A0 de Arduino
// Pin SDA a Pin a SDA de Arduino
```

```

/****Diagrama Pantalla LCD****/
//Pin 1,5,16 Pantalla a GND Arduino
//Pin 2,15 Pantalla a VCC Arduino
//Pin 3 Pantalla a Potenci6metro
//Pin 4 Pantalla a Pin 12 Arduino
//Pin 6 Pantalla a Pin 11 Arduino
//Pin 11 Pantalla a Pin 7 Arduino
//Pin 12 Pantalla a Pin 8 Arduino
//Pin 13 Pantalla a Pin 9 Arduino
//Pin 14 Pantalla a Pin 10 Arduino

/***** Inicializaci6n de librerías *****/

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
SFE_BMP180 pressure;
BH1750 lightMeter;
LiquidCrystal lcd(12, 11, 7, 8, 9, 10);

/***** Configuraci6n de Arduino *****/

void setup() {

  Serial.begin(9600);    //Inicia Arduino

  dht.begin();           //Inicia Sensor DTH
  pressure.begin();      //Inicia Sensor BMP180
  lightMeter.begin();     //Inicia Sensor BH1750

  CreaCaracteres();      //Crea caracteres especiales

  lcd.begin(20, 4);       //Inicia Pantalla
  lcd.clear();            //Escribe el mensaje inicial
  lcd.setCursor(3, 0);
  lcd.print("Proyecto Fin");
  lcd.setCursor(4, 1);
  lcd.print("De Carrera ");lcd.write(1);
  lcd.setCursor(3, 2);
  lcd.print("Luis Uru");lcd.write(6);lcd.print("uela ");lcd.write(2);
  lcd.setCursor(3, 3);
  lcd.print("Sevilla 2016 ");lcd.write(3);lcd.write(4);lcd.write(5);

  delay (3000);          //Muestra el mensaje de inicio durante 3s

  lcd.clear();
  lcd.setCursor(1, 1);
  lcd.print("Iniciando Sensores");
}

```

```

/***** Ejecución de la rutina *****/

void loop() {

    delay(2000);    // Espera 2 segundos para realizar la primera medición.

    h = dht.readHumidity();    // Obtiene la Humedad
    T1 = dht.readTemperature();    // Obtiene la Temperatura en Celsius
    ReadPresion();    // Obtiene los valores de Presión
    //int lux = lightMeter.readLightLevel(); // Obtiene los valores de luminosidad
    lux = lightMeter.readLightLevel();
    volts = MGRead();    //Obtiene valor del voltaje
    percentage = MGGetPercentage(volts,CO2Curve); // Obtiene el nivel de CO2

    // Control de errores, valida que se obtuvieron valores para los datos medidos
    if (isnan(h) || isnan(T1))
    {
        Serial.println("Falla al leer el sensor DHT!");
        return;
    }

    //Mostramos por pantalla los valores obtenidos

    lcd.clear();

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.write("T: "); lcd.print((T1*0.9),1); lcd.write((char)223); lcd.write("C ");
    lcd.write("H: "); lcd.print(h,1); lcd.write("%");

    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.write("CO2: "); if (percentage == -1) {lcd.print( "<400" );} else
    {lcd.print(percentage);}; lcd.write(" ppm ");

    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.write("P: "); lcd.print(P,1);lcd.write(" hPa");

    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.write("L: "); lcd.print(lux); lcd.write(" Lux ");

    //Enviamos los valores por puerto serie para leerlos con Matlab

    if (timer == 0 || (millis() - timer) >= intervalo) {

        enviadatos();
    }

    delay(1000); // Espera 1 segundos para realizar la siguiente medición.

}

```

```

/***** enviadatos *****/
Entradas: h,T1,P,percentage,lux.
Salidas: Actualiza el valor de la variable timer.
Observaciones: Envía los valores de las variables a través de puerto serie
*****/

```

```

void enviadatos(){

    Serial.print(h,1);
    Serial.print(",");
    Serial.print((0.9*T1),1);
    Serial.print(",");
    Serial.print(P,1);
    Serial.print(",");
    if (percentage == -1) {Serial.print( "400" );} else {Serial.print(percentage);}
    Serial.print(",");
    Serial.println(lux);

    timer = millis();
}

```

```

/***** CreaCaracteres *****/
Entradas: -
Salidas: Caracteres creados
Observaciones: Genera los caracteres necesarios en la pantalla de inicio
*****/

```

```

void CreaCaracteres()
{

```

```

    byte circulo[8] = {
        B00000,
        B00000,
        B00000,
        B01110,
        B11111,
        B11111,
        B11111,
        B01110
    };

```

```

    byte cuadrado[8] = {
        B00000,
        B00000,
        B11111,
        B11111,
        B11111,
        B11111,
        B11111,
        B00000
    };

```

```

byte base1[8] = {
    B01100,
    B01110,
    B00111,
    B00011,
    B00000,
    B00000,
    B00000,
    B00000
};

```

```

byte base2[8] = {
    B00011,
    B01111,
    B11100,
    B11000,
    B00000,
    B00000,
    B00000,
    B00000
};

```

```

byte base3[8] = {
    B11000,
    B11100,
    B01110,
    B00110,
    B00000,
    B00000,
    B00000,
    B00000
};

```

```

byte enhe[8] = {
    B11111,
    B00000,
    B10110,
    B11001,
    B10001,
    B10001,
    B10001,
    B00000
};

```

/**Asignamos los caracteres a un numero***/

```

    lcd.createChar(1, circulo);    lcd.createChar(2, cuadrado);
    lcd.createChar(3, base1);      lcd.createChar(4, base2);
    lcd.createChar(5, base3);      lcd.createChar(6, enhe); }

```

```
/****** ReadPresion *****/
```

Entrada: Valores de los pines.

Salida: Valores de presión absoluta, presión relativa y altitud

Observaciones: Calcula los valores en función de la temperatura

```
*****/
```

```
void ReadPresion() {
    status = pressure.startTemperature();
    if (status != 0)
    {
        delay(status);
        status = pressure.getTemperature(T);
        if (status != 0)
        {
            status = pressure.startPressure(3);
            if (status != 0)
            {
                delay(status);
                status = pressure.getPressure(P, T);
                if (status != 0)
                {
                    p0 = pressure.sealevel(P, ALTITUDE);
                    a = pressure.altitude(P,p0);
                }
                else Serial.println("error retrieving pressure measurement\n");
            }
            else Serial.println("error starting pressure measurement\n");
        }
        else Serial.println("error retrieving temperature measurement\n");
    }
    else Serial.println("error starting temperature measurement\n");
}
```

```
/****** MGRead *****/
```

Entrada: Valor del pin analógico

Salida: Media de los valores leídos a la salida del SEN-000007

Observaciones: Esta función lee la salida del SEN-000007 y realiza una media.

```
*****/
```

```
float MGRead() {
    int i;
    float v=0;

    for (i=0;i<5;i++) {
        v += analogRead(1);
        delay(50);
    }
    v = (v/5) *5/1023 ;
    return v;
}
```

```

/***** MQGetPercentage *****/
Entradas: voltaje - salida de SEN-000007 medida en voltios
          pcurve - punto de la curva de CO2
Salida: ppm de CO2
Observaciones: Mediante el uso de la pendiente y un punto de la línea.
               X (valor logarítmico de ppm) podría derivarse si se proporciona Y
               (salida de MG-811). Como se trata de una gráfica logarítmica, se utiliza
               la potencia de 10 para convertir el resultado a un valor no logarítmico.
*****/
int MQGetPercentage(float volts, float *pcurve) {
    if ((volts/DC_GAIN )>=ZERO_POINT_VOLTAGE) {
        return -1;
    } else {
        return pow(10, ((volts/DC_GAIN)-pcurve[1])/pcurve[2]+pcurve[0]);
    }
}

```

11.2 Código Matlab

```

function varargout = Datalogger(varargin)
% DATALOGGER MATLAB code for Datalogger.fig
%     DATALOGGER, by itself, creates a new DATALOGGER or raises the
%     existing singleton*.
%
%     H = DATALOGGER returns the handle to a new DATALOGGER or the
%     handle to the existing singleton*.
%
%     DATALOGGER('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls
%     the local function named CALLBACK in DATALOGGER.M with
%     the given input arguments.
%
%     DATALOGGER('Property','Value',...) creates a new DATALOGGER
%     or raises the existing singleton*. Starting from the
%     left, property value pairs are applied to the GUI before
%     Datalogger_OpeningFcn gets called. An unrecognized
%     property name or invalid value makes property application
%     stop. All inputs are passed to Datalogger_OpeningFcn via
%     varargin.
%
%     *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows %
%     only one instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help Datalogger

% Last Modified by GUIDE v2.5 29-Apr-2016 17:02:21

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @Datalogger_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @Datalogger_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [] , ...

```

```

        'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before Datalogger is made visible.
function Datalogger_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to Datalogger (see VARARGIN)

% Choose default command line output for Datalogger
handles.output = hObject;

% Dibuja Titulos en las graficas
set(handles.graf1,'xlabel',text(0,0,'Tiempo (min)'),
'ylabel',text(0,0,'Humedad (%)'),
'title',text(0,0,'Captura de humedad en tiempo real con Arduino'));

set(handles.graf2,'xlabel',text(0,0,'Tiempo (min)'),
'ylabel',text(0,0,'Temperatura (°C)'),
'title',text(0,0,'Captura de temperatura en tiempo real con
Arduino'));

set(handles.graf3,'xlabel',text(0,0,'Tiempo (min)'),
'ylabel',text(0,0,'Presión (hPa)'),
'title',text(0,0,'Captura de presión en tiempo real con Arduino'));

set(handles.graf4,'xlabel',text(0,0,'Tiempo (min)'),
'ylabel',text(0,0,'Nivel CO2 (ppm)'),
'title',text(0,0,'Captura del nivel CO2 en tiempo real con
Arduino'));

set(handles.graf5,'xlabel',text(0,0,'Tiempo (min)'),
'ylabel',text(0,0,'Luminosidad (Lux)'),
'title',text(0,0,'Captura de luminosidad en tiempo real con
Arduino'));

% Variables
handles.j=1;
handles.z=0;

% Crea nombre fichero
d = date;
handles.f = strcat(d, '.txt');

% borrar previos
delete(instrfind({'Port'}, {'/dev/cu.usbmodem411'}));

```

```

% crear objeto serie
handles.s =
serial('/dev/cu.usbmodem411','BaudRate',9600,'DataBits',6,'Terminato
r','CR/LF');
warning('off','MATLAB:serial:fscanf:unsuccessfulRead');

% abrir puerto
fopen(handles.s);

% inicializar
handles.i = 1;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes Datalogger wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = Datalogger_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)
% varargout    cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject      handle to figure
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% -----
--
function archivo_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to archivo (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% -----
--
function graficas_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to graficas (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

% -----
--
function mostrar_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to mostrar (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

if(handles.j==1)
    set(hObject,'Checked','off')

```

```

        handles.j=0;
        set(handles.graf1,'title',text(0,0,''));
        set(handles.graf2,'title',text(0,0,''));
        set(handles.graf3,'title',text(0,0,''));
        set(handles.graf4,'title',text(0,0,''));
        set(handles.graf5,'title',text(0,0,''));
    else
        set(hObject,'Checked','on')
        handles.j=1;
        set(handles.graf1,'title',text(0,0,'Captura de humedad en
        tiempo real con Arduino'));
        set(handles.graf2,'title',text(0,0,'Captura de temperatura en
        tiempo real con Arduino'));
        set(handles.graf3,'title',text(0,0,'Captura de presión en
        tiempo real con Arduino'));
        set(handles.graf4,'title',text(0,0,'Captura del nivel CO2 en
        tiempo real con Arduino'));
        set(handles.graf5,'title',text(0,0,'Captura de luminosidad en
        tiempo real con Arduino'));
    end

    handles.output = hObject;
    guidata(hObject, handles);

% -----
--
function grid_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to grid (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

if (handles.z==0)
    set(hObject,'Checked','on')
    handles.z=1;
    set(handles.graf1,'XGrid','on','YGrid','on');
    set(handles.graf2,'XGrid','on','YGrid','on');
    set(handles.graf3,'XGrid','on','YGrid','on');
    set(handles.graf4,'XGrid','on','YGrid','on');
    set(handles.graf5,'XGrid','on','YGrid','on');

else
    set(hObject,'Checked','off')
    handles.z=0;
    set(handles.graf1,'XGrid','off','YGrid','off');
    set(handles.graf2,'XGrid','off','YGrid','off');
    set(handles.graf3,'XGrid','off','YGrid','off');
    set(handles.graf4,'XGrid','off','YGrid','off');
    set(handles.graf5,'XGrid','off','YGrid','off');
end

handles.output = hObject;
guidata(hObject, handles);

% -----
--
function guardar_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to guardar (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

```

```

options.Resize = 'on';
options.ButtonNames = {'Guardar','Cancel'};
options.FontSize = 13;

prompt = {'Nombre del archivo:','Ubicación:','Formato:'};
name = 'Guardando Archivo';
formats = struct('type', {}, 'style', {}, 'items', {}, 'format',
 {}, 'limits', {}, 'size', {}, 'span', {});

formats(1,1).type = 'edit';
formats(1,1).format = 'text';
formats(1,1).size = [-1 20];

formats(2,1).type = 'edit';
formats(2,1).format = 'dir';
formats(2,1).size = [-1 20];

formats(3,1).type = 'list';
formats(3,1).style = 'popupmenu';
formats(3,1).items = {'jpeg','tiff','png','pdf'};
formats(3,1).size = [80 20];

defaultanswer = {'',pwd,1};

[answer, canceled] =
inputdlg(prompt,name,formats,defaultanswer,options);

switch answer{3}
    case 1,
        tipo = '-djpeg';
    case 2,
        tipo = '-dtiff';
    case 3,
        tipo = '-dpng';
    case 4,
        tipo = '-dpdf';
end

print (tipo,'-r300', answer(1),'-dpsc2');

% -----
--
function imprimir_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to imprimir (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)
printdlg;

% -----
--
function salir_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to salir (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)
fclose('all');
button = questdlg('¿Estás seguro que quieres salir de Matlab?',
'Dialogo de Salida','si','No','No');
switch button

```

```

        case 'Yes',
            close;
        case 'No',
            quit cancel;
    end

% --- Executes on button press in B1.
function B1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject      handle to B1 (see GCBO)
% eventdata    reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles      structure with handles and user data (see GUIDATA)

set(handles.B1, 'String', 'Detener Captura de Datos');
while (get(hObject, 'Value')==1)

    % leer del puerto serie
    a = fscanf(handles.s, '%g,%g,%g,%g,%g');
    b = a';
    save ('Datos.txt', 'b', '-ascii', '-tabs', '-append');

    % dibujar en la figura
    x = linspace(0,handles.i,1);
    handles.g1 = plot(handles.graf1,x,a(1),'b. ');
    handles.g2 = plot(handles.graf2,x,a(2),'r. ');
    handles.g3 = plot(handles.graf3,x,a(3),'m. ');
    handles.g4 = plot(handles.graf4,x,a(4),'k. ');
    handles.g5 = plot(handles.graf5,x,a(5),'g. ');
    drawnow;

    %Borrado valores vector a
    clear a;

    % seguir
    handles.i = handles.i+1;

    %pausar funcion 1 min
    pause(60);

end

if (get(hObject, 'Value')==0)
    set(handles.B1, 'String', 'Iniciar Captura de Datos');
    copyfile ('Datos.txt',handles.f);
    delete('Datos.txt');
end

guidata(hObject, handles);

```