

**ESCUELA DE INGENIERÍA MINERA E INDUSTRIAL DE
ALMADÉN**



TRABAJO FIN DE GRADO

**DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES
DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS
MEDIOAMBIENTAL**

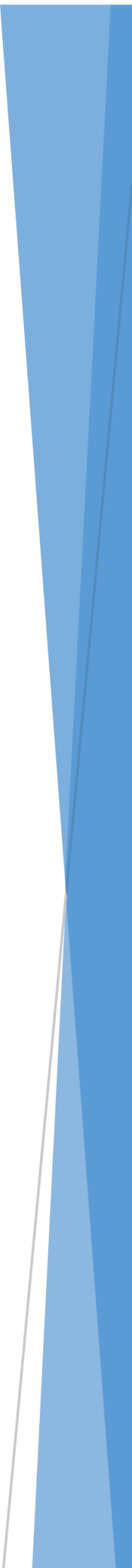
UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

Autor: Vicente Mbogo Ndong Okomo

Director: Dr. Javier A. Albusac Jiménez

Curso 2015-2016



“Nunca consideres el estudio como una obligación, sino una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber”.

Albert Einstein

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

Un agradecimiento especial debo a mi director de proyecto que, me ha orientado, apoyado y corregido en mi labor a lo largo del desarrollo de este trabajo, con un interés y una entrega que han sobrepasado, con mucho, todas las expectativas, como alumno, asenté en su persona.

A mi Abuela Martina Obono por ser la abuela más bella y generosa del mundo quien brindó persistentemente ese amor incondicional para mi superación personal, sin ningún interés material a ti vaya este triunfo eres mi ejemplo personal a seguir, aunque vivas lejos y pasemos mucho tiempo sin vernos; siempre te llevo en mi corazón.

El presente trabajo lo dedico a toda mi familia y de manera especial a mi papa Fernando Ndong pues fue el principal cimiento para la construcción de mi vida científica y tecnológica, por brindarme la confianza, consejos, oportunidad y recursos para lograrlo a pesar de las adversidades que la vida nos puso en camino, él sentó en mí las bases de responsabilidad y ansias de superación, en él tengo el espejo en el cual me quiero reflejar pues sus virtudes infinitas y su gran corazón me llevan a admirarlo cada día más.

A mis compañeros ya con ellos he vivido los buenos y malos momentos que solo se viven en la Universidad y que con algunos más que compañeros fuimos verdaderamente amigos.

Gracias a mi universidad, gracias por haberme permitido formarme y en ella, gracias a todas las personas que de alguna manera fueron partícipes de este proceso, gracias a todos ustedes, fueron ustedes los responsables de realizar su pequeño aporte, que ha causado un gran cambio en mí y que el día de hoy se vería reflejado en la culminación de mi paso por esta institución.

Este proyecto fin de grado ha sido una gran bendición en todo sentido y les agradezco tío Pancracio Ebea y Emilia Metehe, y no cesan mis ganas de decir que gracias a ustedes esta meta está cumplida, supieron formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ayudado a salir adelante buscando siempre el mejor camino.

A mis hermanos y primos M^a Magdalena, Fernando, Francisco, Riolen Martina, Estefanía, Anais, Cristian Francisco, Priscila, Ignacio, Hipólito, Valentín y a todos los que no he mencionado para que siempre tengan en cuenta que lo que nos proponamos en la vida

lo podemos lograr si trabajamos fuerte e incesantemente con rectitud, sigan adelante y para que mis éxitos de hoy sean los suyos mañana y siempre. Los quiero mucho, gracias por ser mis hermanos.

Una dedicatoria singular a mis Tías, Saturnina, Margarita y Purita, por haberme sacrificado sus vidas para sacar adelante a sus hijos y sobrinos sin distinción, que Dios las llene felicidad, las amo muchísimo.

Les dedico este trabajo a mis amigos, Perpetua Osia, Jaime Serafín, Manuel Eyama y Pablo Enganga por estar siempre conmigo y brindarme este apoyo incondicional, que es propio de una amistad verdadera y sincera. Les tengo mucho aprecio.

Un agradecimiento particular para el Pueblo Almadén, por su acogida, jamás olvidaré la grandeza de espíritu y hospitalidad de su gente.

Muchas gracias a aquellos seres queridos que siempre aguardo en mi alma.

Resumen

En el presente proyecto se realiza un estudio, diseño y evaluación de unos módulos multisensoriales distribuidos para análisis medioambiental, de bajo coste y con comunicación inalámbrica. Para su desarrollo se ha empleado el microcontrolador Arduino y componentes compatibles con él, lo que favorece la reducción de los costes.

El principal objetivo trazado en la implementación de este sistema es agregarle una herramienta en las soluciones adaptadas para:

- Optimizar el comportamiento energético de los edificios. Haciendo un estudio y comparación de las condiciones de climatización e iluminación de adentro y fuera del edificio, para determinar cuándo es necesario utilizar la climatización e iluminación artificial y cuándo es necesario la natural, evitando de esta forma el desperdicio de energía y consumo irresponsable de la misma.
- Proporcionar al pequeño agricultor una herramienta que le permita obtener datos en su entorno agrario para ayudar en la toma de decisiones.
- Debido a que esos módulos pueden adaptarse en cualquier entorno mediante pequeñas modificaciones, también es un recurso más para estudio, análisis y prevención de desastres naturales, incendios y accidentes en las industrias.

Para desarrollar el proyecto se ha tomado las siguientes estrategias:

- a) Implementar dos subsistemas de detección independientes con el objetivo de medir diversos parámetros.
- b) Creación de una red inalámbrica, mediante la cual otro módulo recibirá los datos medidos.

Todos los módulos pertenecen a un mismo sistema, manteniendo la independencia de sus partes para la posible adecuación del detector a diferentes parámetros de medida o para ser utilizados en otros entornos de operación cambiando los módulos.

En la parte experimental, en primer lugar, se ha comprobado el funcionamiento de los módulos individuales por separado, incluyendo la transmisión de varios datos como parámetros físicos, fecha y tiempo y, la ubicación de los módulos cuando se utiliza en distintos entornos. Una vez ajustados dichos módulos específicamente, el diseño del detector

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

ha pasado a ser evaluado, centrando el análisis en los tiempos requeridos para garantizar una comunicación inalámbrica correcta durante el envío de todos datos.

Palabras clave

Arduino, Módulos Multisensoriales, Cápsulas, Eficiencia Energética, Transmisión-recepción, Sensores, Almacenamiento.

Abstract

In the present project a study is realized, design and evaluation of a multi-sensory modules distributed for environmental analysis, Of low cost and with wireless communication. For its development we used the Arduino microcontroller and components compatible with it, what favors the reduction of the costs.

The principal aim planned in the implementation of this system is to add a tool in the solutions adapted for:

- To optimize the energetic behavior of the buildings. Doing a study and comparison of air conditioning and lighting conditions inside and outside the building, To determine when it is necessary to use the air conditioning and artificial lighting and when the native is necessary, avoiding of this form the waste of energy and irresponsible consumption of the same one.
- To provide to the small farmer a tool that allows him to obtain information in his agrarian environment to help in the capture of decisions.
- Due to the fact that these modules can adapt in any environment by means of small modifications, also it is one more resource for study, analysis and prevention of natural disasters, fires and accidents in the industries.

To develop the project one has taken the following strategies:

- a) To implement two independent subsystems from detection with the aim to measure diverse parameters.
- b) Creation of a wireless network, by means of which another module will receive the measured information.

All the modules belong to the same system, supporting the independence of his parts for the possible adequacy of the detector to different parameters of measure or to be used in other environments of operation changing the module.

In the experimental part, first, there has been verified the functioning of the individual modules separately, including the transmission of several information as physical parameters, date and time and, the location of the modules when it is in use in different environments. Once the exact above mentioned modules specifically, the design of the detector has happened to be evaluated, centring the analysis on the times needed to guarantee a wireless correct communication during the sending of all information

Keywords

Arduino, multisensory modules, capsules, Energy efficiency, Transmission - reception, sensors, Storage.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1	Introducción.....	21
2	Objetivos.....	27
2.1	Objetivo general	27
2.2	Objetivos específicos	27
3	Estado del conocimiento.....	30
3.1	antecedentes	30
3.2	Sistemas de medida	30
3.2.1	Funciones de un sistema de medida.....	31
3.2.2	Tipos de sistemas de medida	32
3.2.3	Control de procesos	33
3.2.4	Sistema electrónico de medida	34
3.2.5	Caracterización de sensores	36
3.2.6	Características ideales de un sensor	37
3.2.7	Clasificación de sensores	38
3.2.8	Sistemas de sensores comerciales	45
3.3	Definiciones de algunos sensores.....	47
3.3.1	Detectores de ultrasonidos	47
3.3.2	Sensores de corriente	48
3.3.3	Sensores de presión y fuerza.....	49
3.3.4	Sensores de temperatura	51
3.4	La radiofrecuencia.....	59
3.4.1	El espectro electromagnético	59
3.4.2	Frecuencias de transmisión.....	60
3.4.3	Primeros experimentos y teorías con radiofrecuencia	64
3.4.4	James Clerk Maxwell.....	67
3.4.5	Heinrich Rudolf Hertz	70
3.4.6	Guillermo Marconi	74
3.4.7	Inicios de la radiodifusión.....	75
3.4.8	Comunicaciones.....	76
3.4.9	Navegación	77
3.4.10	Radar.....	77

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

3.4.11	Las antenas.....	77
3.4.12	Aplicaciones médicas	87
3.4.13	Identificación por radiofrecuencia	88
3.5	Hardware Arduino.....	94
3.6	Microcontrolador.....	94
3.7	Arduino	95
3.8	El origen de Arduino	99
3.9	Arduino Software Libre	99
3.10	Arduino Hardware Libre.	101
3.11	Características del micro de la placa Arduino Uno.....	102
3.11.1	El encapsulado del microcontrolador	102
3.11.2	El modelo del microcontrador	103
3.11.3	Las memorias del microcontrolador	105
3.11.4	Interfaces de comunicación I ² C/TWI y SPI.....	106
3.11.5	Las entradas y salidas digitales	112
3.11.6	Las entradas analógicas	113
3.12	Placas Arduino oficiales y no oficiales	114
3.12.1	Placas oficiales.....	116
3.12.2	Arduino TRE.....	117
3.12.3	Arduino/Genuino 101	118
3.12.4	Arduino Zero.....	118
3.12.5	Arduino Yun	119
3.12.6	Arduino Leonardo.....	120
3.12.7	Arduino Due	121
3.12.8	Arduino Mega	122
3.12.9	Arduino Ethernet.....	122
3.12.10	Arduino Fio	123
3.12.11	Arduino Nano.....	124
3.12.12	Arduino LilyPad.....	125
3.12.13	Arduino Pro.....	125
3.12.14	Arduino Pro Mini	126
3.12.15	Arduino Mega ADK.....	127
3.12.16	Arduino Esplora	127

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

3.12.17	Arduino Micro.....	128
3.12.18	Arduino BT	129
3.12.19	Arduino Duemilanove	129
3.13	Placas no oficiales (compatibles)	130
3.13.1	AVR.duno U+	130
3.13.2	SainSmart UNO y Mega	131
3.13.3	Roboduino.....	131
3.13.4	Seeeduino.....	132
3.13.5	Zigduino.....	132
3.14	Instalación del IDE Arduino	133
3.15	Usos de los pines-hembra de la placa	134
3.16	Librerías	135
3.16.1	La librería VirtualWire	135
3.16.2	La librería SD.....	136
3.16.3	Librerías GPS y SoftwareSerial	141
4	Diseño y construcción de módulos multisensoriales.....	145
4.1	Introducción	145
4.1.1	Consideraciones previas	146
4.2	Sensores.....	158
4.2.1	Sensores en la gestión de eficiencia energética	158
4.2.2	Sensores en la agricultura	165
4.2.3	Desastres naturales.....	170
4.2.4	La placa Arduino que se adapta a las necesidades de mi proyecto.....	174
4.3	Datos y registro en memoria	177
4.4	Comunicaciones y recogida de datos	180
4.4.1	Sistema de transmisión y recepción de datos RF 433.....	180
4.4.2	Sistema de localización.....	182
4.4.3	Sistema de detección de temperatura.....	184
4.4.4	Sistema de almacenamiento de datos.....	185
4.4.5	Sistema de control de luz	187
4.4.6	Equipamiento	193
4.5	Representación de datos	198
4.6	Montaje final	202

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

4.6.1	Descripción y combinación de los sistemas individuales	202
4.6.2	Fase 1	202
4.6.3	Fase 2	205
4.6.4	Fase 3	211
4.6.5	Fase final	219
4.6.6	Implementación real	222
4.6.7	Funcionamiento del proyecto.....	224
4.7	Caso particular (EIMIA)	244
4.8	Otros casos	245
4.8.1	Aplicación de módulos multisensoriales en la agricultura	245
4.8.2	Incendios	245
5	Experimentos y resultados.....	248
5.1	Alcance.....	248
5.2	Estudio de eficiencia energética en EIMIA	250
6	Conclusiones.....	264
6.1	Trabajos futuros	265
7	Referencias	266

TABLAS

Tabla 1 Ejemplos de magnitudes físicas por naturaleza	38
Tabla 4 Designación de banda CCIR	61
Tabla 1 Iluminancias recomendadas en función de las tareas desarrolladas.....	151
Tabla 2 Unidades y magnitudes de iluminación	151
Tabla 3 Gases y sus efectos.....	158
Tabla 4 Valores de salida de sensor LM35	159
Tabla 5 Características principales.....	160
Tabla 6 Hoja de características DHT22	166
Tabla 7 Hoja de características de MQ-7	172
Tabla 8 Comparación de las placas de Arduino.....	176
Tabla 9 Conexión Módulo Micro SD a Arduino.....	178
Tabla 10 Características GPS.....	183
Tabla 11 Conexión de GPS	183

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

IMÁGENES

Imagen 1 Sensaciones que se perciben por los sentidos	21
Imagen 2 Los cinco sentidos corporales	22
Imagen 3 Esquema Multisensor.....	25
Imagen 4 Diagrama de bloques de un sistema de medida	31
Imagen 5 Sistema de medida en lazo abierto.....	32
Imagen 6 Sistema de medida en lazo cerrado.....	32
Imagen 7 Diagrama de bloques para control de procesos	33
Imagen 8 Sistemas electrónicos.....	35
Imagen 9 Topología en estrella.....	36
Imagen 10 Topología en árbol	36
Imagen 11 Sensor de fuerza piezoeléctrico	39
Imagen 12 Sensor fotoeléctrico tipo Réflex	40
Imagen 13 Sensores termoelectrónicos duales	40
Imagen 14 Señal digital binaria en formato paralelo.....	43
Imagen 15 Señal digital binaria en formato serie	43
Imagen 16 Diagrama de bloques de un sensor temporal	44
Imagen 17 Diagrama de bloques de un sensor Todo-Nada	45
Imagen 18 Tipos de Sensores	46
Imagen 19 Funcionamiento de un sensor de ultrasonido.....	47
Imagen 20 Sensor de ultrasonido.....	48
Imagen 21 Detectores de ultrasonidos	48
Imagen 22 Sensor de corriente.....	48
Imagen 23 Configuración de un sensor de corriente	49
Imagen 24 Sensores de fuerza	49
Imagen 25 Sensor de fuerza resistivo	50
Imagen 26 Sensores de presión.....	50
Imagen 27 Sensores de temperatura	51
Imagen 28 Sensores de temperatura infrarroja	51
Imagen 29 Termopares	52
Imagen 30 Termistores	53
Imagen 31 Termistor NTC.....	54
Imagen 32 Termistor PTC	54
Imagen 33 Detector de temperatura resistiva	55
Imagen 34 Una sonda Pt100	57
Imagen 35 Actuadores	58
Imagen 36-Espectro electromagnético de frecuencias.....	60
Imagen 37 Espectro electromagnético de longitud de onda	63
Imagen 38-Longitud de onda.....	63
Imagen 39-La pila de Volta	65
Imagen 40-Experimento de Faraday.....	66
Imagen 41-Condensador	69

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Imagen 42-Experimentos con bobinas espirales.....	71
Imagen 43-Experimentos con oscilador lineal y experimentos con reflectores parabólicos	72
Imagen 44-Las herramientas de Edouard Branly	72
Imagen 45-Experimentos de Edouard Branly.....	73
Imagen 46-Componentes básicos de antenas inteligentes	83
Imagen 47-Lóbulo de radiación de una antena inteligente	84
Imagen 48-Patron de radiación de un arreglo lineal uniforme de 7 elementos	86
Imagen 49 Radiofrecuencia facial	87
Imagen 50 Generador de Radiofrecuencia.....	88
Imagen 51-Sistema de RFID.....	89
Imagen 52 Inventario Instantáneo.....	90
Imagen 53 lector RFID Dragon	91
Imagen 54 Chip microcontrolador	95
Imagen 55 Microcontroladores ATMEL	96
Imagen 56 Arduino Hernando Barragán.....	97
Imagen 57 Lenguaje de programación Arduino	98
Imagen 58 El lenguaje Arduino-CC++	98
Imagen 59 Arduino UNO R3.....	102
Imagen 60 Arduino UNO SMD	102
Imagen 61 Arduino UNO genuino DIP y Arduino UNO SMD	103
Imagen 62 Tipos de microcontroladores	104
Imagen 63 Estructura de microcontrolador tipo DIP	104
Imagen 64 Interfaz de comunicación I ² C	107
Imagen 65 Interfaz de comunicación SPI	109
Imagen 66 El adaptador Arduino.....	110
Imagen 67 Partes de Arduino.....	111
Imagen 68 Entradas-Salidas digitales	112
Imagen 69 Entradas Analógicas	113
Imagen 70 El logo de Arduino.....	115
Imagen 71 Arduino UNO	117
Imagen 72 Arduino TRE.....	117
Imagen 73 Arduino/Genuino 101	118
Imagen 74 Arduino Zero.....	119
Imagen 75 Arduino Yun	119
Imagen 76 Arduino Leonardo.....	120
Imagen 77 Arduino Due	121
Imagen 78 Arduino Mega	122
Imagen 79 Arduino Ethernet.....	123
Imagen 80 Arduino Fio.....	124
Imagen 81 Arduino Nano	124
Imagen 82 Arduino LilyPad	125
Imagen 83 Arduino Pro.....	126

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Imagen 84 Arduino Pro Mini.....	126
Imagen 85 Arduino Mega ADK	127
Imagen 86 Arduino Esplora.....	128
Imagen 87 Arduino Micro	128
Imagen 88 Arduino BT	129
Imagen 89 Arduino Duemilanove.....	129
Imagen 90 AVR.duno U+	130
Imagen 91 SainSmart UNO y Mega	131
Imagen 92 Roboduino.....	131
Imagen 93 Seeeduino.....	132
Imgaen 94 Zigduino.....	132
Imagen 95 Dimensiones de Micro SD	137
Imagen 96 Comunicación SPI	138
Imagen 97 Esquema de cápsula de Transmisión	145
Imagen 98 Esquema de cápsula de Recepción	145
Imagen 99 Fotosíntesis	154
Imagen 100 Proceso de la fotosíntesis.....	155
Imagen 101 Sensor de temperatura LM35.....	159
Imagen 102 Sensor LM35 esquema eléctrico y montaje	160
Imagen 103 Sensor LDR.....	162
Imagen 104 Curvas LDR	163
Imagen 105 Fotorresistor LDR esquema eléctrico y montaje.....	163
Imagen 106 Gráfica resistencia-intensidad de la luz	164
Imagen 107 Humedad del suelo esquema de montaje y conexión	165
Imagen 108 Sensor de humedad	166
Imagen 109 Esquema de montaje DHT22	167
Imagen 110 Conexionado de DHT22	167
Imagen 111 Sensores de lluvia	168
Imagen 112 Placa sensor de lluvia YL-83	168
Imagen 113 Detector de lluvia esquema eléctrico y montaje	169
Imagen 114 Sensor de velocidad viento y anemómetro	169
Imagen 115 Sensor de presión barométrica.....	170
Imagen 116 Sensor de flama esquema eléctrico y montaje	171
Imagen 117 Sensor de CO ₂	171
Imagen 118 Sensor CO	172
Imagen 119 Sensor de O ₂	172
Imagen 120 Sensor de ozono	173
Imagen 121 Sensor óptico de polvo.....	173
Imagen 122 Sensor de NH ₃	174
Imagen 123 Arduino mega 2560, Leonardo y UNO	177
Imagen 124 Módulo Micro y tarjeta SD.....	178
Imagen 125 Esquema eléctrico de Micro SD	179
Imagen 126 Registro de datos.....	179

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Imagen 127 Módulos RF	180
Imagen 128 Conexión transmisor	181
Imagen 129 Conexión receptor RF	181
Imagen 130 Características Emisor	182
Imagen 131 Características Receptor	182
Imagen 132 GPS GY-GPS6MV2	183
Imagen 133 Conexión Arduino y GY-GPS6MV2.....	184
Imagen 134 Diagrama de conexión	185
Imagen 135 Esquema de conexión del circuito	185
Imagen 136 Módulo Micro SD	186
Imagen 137 Características Módulos Micro SD	186
Imagen 138 Conexión Módulo Micro SD	187
Imagen 139 Tarjetas SD	187
Imagen 140 Modos de conexión LDR.....	188
Imagen 141 Símbolos de resistencia.....	189
Imagen 142 Código de colores	190
Imagen 143 Programa Resistor	190
Imagen 144 Esquema de montaje	191
Imagen 145 Composición del LED	191
Imagen 146 Variedad de color de los LEDs	192
Imagen 147 Pilas de 9V	194
Imagen 148 Placa Arduino	194
Imagen 149 Cable USB	194
Imagen 150 Módulos RF 433 MHz	195
Imagen 151 Sensor temperatura LM35	195
Imagen 152 Fotoresistor LDR	195
Imagen 153 Kit de resistencias	196
Imagen 154 Placas prototipado.....	196
Imagen 155 Cables Macho y Dupont	196
Imagen 156 Soldador y un rollo de estaño	197
Imagen 157 Módulos GPS.....	197
Imagen 158 Micro SD Kington 8GB.....	197
Imagen 159 Módulos Micro SD	198
Imagen 160 Kit de Leds.....	198
Imagen 161 Hoja de cálculo Excel	199
Imagen 162 Apache OpenOffice Calc	200
Imagen 163 Hoja de cálculo Gnumeric	200
Imagen 164 Hoja de cálculo Lotus 1-2-3.....	201
Imagen 165 Esquema Eléctrico	203
Imagen 166 Esquema de Montaje.....	204
Imagen 167 Diagrama de flujo	204
Imagen 168 Sistema de lectura de temperatura e iluminación	205
Imagen 169 Esquema Medición y Transmisión	206

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Imagen 170 Diagrama de flujo fase 2	206
Imagen 171 Circuito Fase 2	207
Imagen 172 Circuito de Recepción Fase 2	210
Imagen 173 Esquema montaje Receptor Fase 2	210
Imagen 174 Diagrama de flujo Receptor Fase 2.....	211
Imagen 175 Esquema de montaje Emisor Fase 3	212
Imagen 176 Montaje de Receptor Fase 3.....	212
Imagen 177 Diagrama de flujo Fase 3	213
Imagen 178 Diagrama eléctrico Receptor Fase 3	213
Imagen 179 Diagrama Eléctrico Receptor Fase 3	216
Imagen 180 Circuito Emisor final	219
Imagen 181 Esquema eléctrico Receptor.....	220
Imagen 182 Esquema de Montaje Emisor final.....	221
Imagen 183 Esquema de Montaje Receptor final.....	221
Imagen 184 Cápsula A transmisora	222
Imagen 185 Cápsula B transmisora	223
Imagen 186 Cápsula C receptora	223
Imagen 187 Diagrama de bloques del sistema emisor.....	224
Imagen 188 Diagrama de bloques del sistema receptor	224
Imagen 189 Diagrama de flujo Cápsulas transmisoras.....	225
Imagen 190 Diagrama de flujo de cápsula receptora.....	225
Imagen 191 Dos cápsulas transmisoras y otra receptora	237
Imagen 192 Dos cápsulas reales y una emisora.....	238
Imagen 193 Transmisión-Recepción	238
Imagen 194 Lectura-almacenamiento-transmisión.....	239
Imagen 195 Recepción-almacenamiento	240
Imagen 196 Adaptador micro SD al PC	240
Imagen 197 Contenido de la tarjeta	241
Imagen 198 Hoja de cálculo Excel	241
Imagen 199 Selección delimitados	242
Imagen 200 Separador Coma.....	242
Imagen 201 Selección General	243
Imagen 202 Insertar datos.....	243
Imagen 203 Hoja de Cálculo con los datos.....	244
Imagen 204 Ampliación de señal.....	248
Imagen 205 Módulo nRF24l01 con amplificador.....	249
Imagen 206 Temperatura e iluminación del exterior Cápsula 2.....	251
Imagen 207 Temperatura e iluminación Biblioteca Cápsula 1.....	251
Imagen 208 Receptor Interior y exterior Biblioteca	253
Imagen 209 Pasillo Plana 1 Edificio E'lhuyar	253
Imagen 210 Exterior Planta 1 Edificio E'lhuyar	254
Imagen 211 Receptor Exterior y Pasillo	255
Imagen 212 Análisis de los resultados.....	256

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Imagen 213 Cápsula A.....	258
Imagen 214 Cápsula B.....	259
Imagen 215 Cápsula C Receptor	259
Imagen 216 Cápsula B.....	260
Imagen 217 Cápsula A.....	260
Imagen 218 Localización de la Cápsula A y B.....	261
Imagen 219 Distancia Cápsula A y Cápsula B.....	261
Imagen 221 Cápsula A y B.....	262
Imagen 220 Cápsula A y B Google Earth.....	262

GRÁFICAS

Gráfico 1 Temperatura e iluminación Biblioteca Cápsula 1	252
Gráfico 2 Temperatura e iluminación Exterior Cápsula 2	252
Gráfico 3 Pasillo planta 1 Edificio E'lHuyar	254
Gráfico 4 Exterior planta 1 Edificio E'lHuyar.....	255

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN



1 INTRODUCCIÓN

El anhelo de imitación de los sentidos humanos es una constante a lo largo de la historia del hombre. La electrónica ha proporcionado la facultad de hacer realidad este anhelo. En las áreas auditiva y visual se han logrado grandes sofisticaciones. Los campos gustativos y olfativos han ido más rezagados, aunque actualmente se está llevando a cabo una actividad de investigación en estas áreas.

El hombre puede percibir sensaciones como frío, calor, duro o blando, pesado o liviano, fuerte o desagradable; esto viene desde el hombre primitivo.

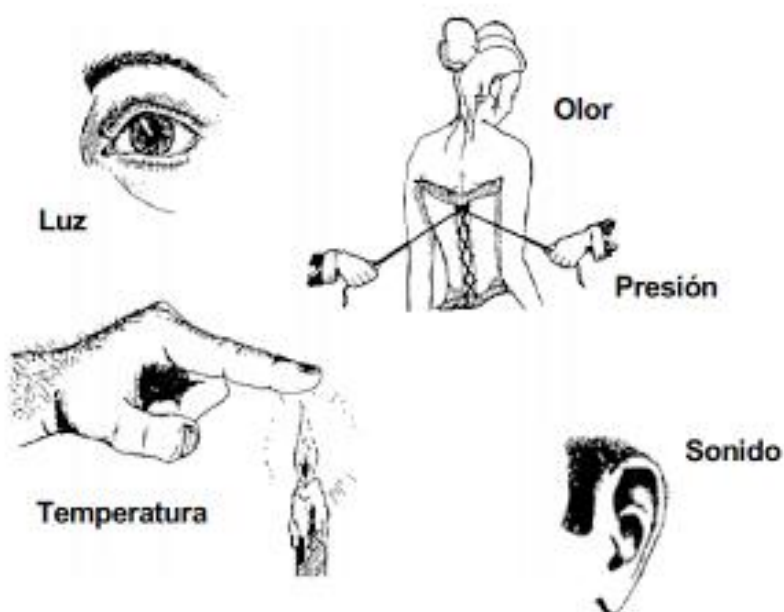


Imagen 1 Sensaciones que se perciben por los sentidos

Todo lo que hace el hombre sobre el medio viene precedido por dos importantes fases; una de información sobre el suceso en sí y sus circunstancias y la otra de decisión antes de efectuar la acción.

La primera fase, de experimentación de sensaciones o de información, se lleva a cabo por los órganos sensoriales-los sentidos-, pero existen diversas magnitudes sean físicas como químicas, a las que bien por su origen o su magnitud nuestros sentidos no pueden percibir.

Estas restricciones sensoriales, pueden evitarse mediante la utilización de distintos sistemas físicos artificiales llamados sensores, ya que reemplazan a los órganos sensoriales.



Imagen 2 Los cinco sentidos corporales

Los sensores, por consiguiente, componen el primer y más importante enlace de dicha cadena, información, decisión y actuación, ya que, si su aportación es insuficiente, las siguientes fases se desarrollarán por medios equivocados.

Un requisito imprescindible que deben incorporar los sensores es que faciliten información de manera sucesiva y en tiempo real, al igual que lo hacen nuestros sentidos.

El desarrollo y aplicación de los sensores engloba, todos los ámbitos de la vida cotidiana, desde los controles de calidad de los alimentos, industriales, militares y civiles pasando por la detección de fraudes o el control ambiental. La industria automovilística vaticina un aumento en los costes de casi un 30% por la integración paulatina de estos dispositivos mientras que en la industria de la robótica se prevé un incremento del 60% anual por el mismo concepto.

Este acelerado progreso podrá conllevar una sociedad del siglo XXI ideal, en la que el ser humano dispondrá de vehículos inteligentes y morará en hogares que nos prevendrán de todas las sensaciones que los sentidos no pueden experimentar.

Los sensores desempeñan un papel fundamental a la hora de monitorizar magnitudes principales, como temperatura, fuerza, presión, etc «sensores físicos», de igual forma demuestran su eficacia en la determinación de parámetros químicos, como dióxido de carbono «sensores químicos».

El crecimiento de la actividad industrial ha cambiado considerablemente tanto el modo de vivir del hombre como las condiciones del entorno donde lleva a cabo sus actividades. Esta interacción mutua hombre-medioambiente ejerce un considerable efecto, en la mayoría de los casos dañino, sobre la calidad de vida del hombre, lo que hizo que en los últimos tiempos la sociedad experimente una gradual concienciación sobre la importancia de la calidad del medioambiente.

La aparición de estos dispositivos que desbancan a nuestros sentidos cuando y donde éstos no pueden alcanzar, es el gran objetivo que se plantea la investigación del presente siglo.

Ahora bien, podría decirse que un sensor es un receptor de alguna señal específica. Este dispositivo está pensado para detectar las acciones del mundo físico que puede ser intensidad, lumínica, distancia, inclinación, desplazamiento, aceleración, temperatura, fuerza, presión, muchas más magnitudes; y hacer una transformación de esta señal en una magnitud eléctrica que seamos capaces de medir, manipular, cuantificar; por consiguiente, un sensor es un dispositivo para captar e indicar una condición de cambio.

La investigación en pos de contar con un entorno inteligente tiene una de sus partes fundamentales en la recolección de datos sobre los sistemas, usuarios y entornos. De este modo, las redes de sensores permiten captar esta información, y transferirla de forma eficiente. La instalación de estas redes en distintos ámbitos trae consigo sus ventajas y beneficios: permiten medir parámetros y cambios en características físicas, así como también controlar de cierta manera, estos parámetros con el objeto de mejorar y facilitar el manejo de cualquier actividad a la que sean aplicadas; no existen cables físicos; son más económicas; casi cualquier aplicación puede beneficiarse de su uso; permiten más libertad en el desplazamiento de los puntos conectados, algo que puede convertirse en un verdadero problema en las redes cableadas; Estos dispositivos realizan actividades que anteriormente requerían de un operario, actualmente desarrollan esta misma tarea, con más rapidez y precisión, sin estrago ni cansancio y a bajo coste, además el tiempo de reacción en los sensores es repentino, una vez que el objeto que se desea captar cae dentro de su campo de operación en el que se ajustó el dispositivo.

Este tipo de sistemas se pueden aplicar en multitud de situaciones como, por ejemplo: agricultura, ahorro energético y situaciones de desastres naturales (controlar los daños con el objetivo de reducirlos o eliminarlos).

La agricultura constituye uno de los campos donde el sueño de implementación de las redes de sensores ya se está haciendo realidad. Este tipo de tecnología favorece una reducción en el consumo de recursos disponibles, contribuyendo al mantenimiento del entorno. Además, gran parte de nuestro tiempo transcurre en los edificios, ya sea en el trabajo, en los hogares o en otras actividades. La utilización de energía se da más en los edificios que en cualquier otra actividad, ya que es vital para mantener la calidad de vida y llevar a cabo numerosos trabajos y el mantenimiento del edificio. Es utilizada para la calefacción, climatización, iluminación y en diversas actividades. Los sistemas de gestión de iluminación y climatización permitirían una reducción drástica de la energía invertida en la iluminación y climatización artificial. Y, por último, casi en todas partes del mundo, se registran cada año daños diversos, ocasionados por huracanes, incendios, tormentas, accidentes nucleares y otros fenómenos, que impactan a miles de personas y provocan pérdidas millonarias a la economía; pero la gestión de un desastre natural requiere acciones inmediatas y bien planificadas, nuestro sistema puede desempeñar un papel significativo en este proceso, siendo una herramienta útil para recolección, organización, análisis y representación de datos.

En la mayoría de los casos mencionados, los sistemas de gestión de datos disponibles actualmente para la agricultura, los edificios y los desastres naturales son muy costosos, muy difíciles de instalar, mantener y operar con ellos, poco eficientes, grandes consumidores de energía e incluso en algunos sistemas aún se necesita instalar mediante cable multitud de dispositivos en los diferentes puntos de los entornos citados.

En el presente proyecto se pretende desarrollar una plataforma multisensorial que permita la obtención de datos en diferentes escenarios y su análisis global para la resolución de problemas. Para ello será necesario que la plataforma tenga la capacidad de registrar de forma persistente los datos captados por los sensores y, por otro lado, la capacidad de poder transmitirlos para su análisis.

La plataforma estará formada por diversas "cápsulas", de tamaño reducido y bajo coste, constituidas por un conjunto de sensores, que estarán distribuidas geográficamente en

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

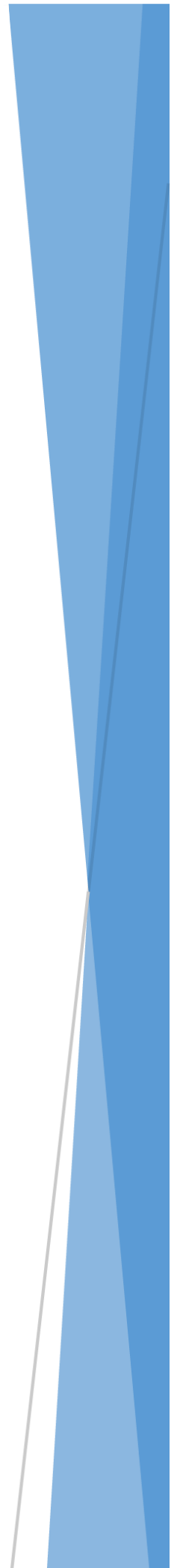
un determinado escenario. Además, estas cápsulas con sensores registrarán en una memoria todos los datos obtenidos. Por otro lado, la plataforma se complementa con un segundo dispositivo encargado de recoger toda la información registrada por las cápsulas. Este dispositivo irá adherido a un dispositivo móvil (vehículo terrestre, drone volador o viandante, entre otros) que iniciará una comunicación por radio cuando esté próximo a las cápsulas que monitorizan el entorno. Los datos recogidos por este segundo dispositivo serán volcados a una estación central donde se procederá al análisis.

La solución que ofrece este proyecto, es una solución general que tiene como gran virtud su adaptabilidad a multitud de problemas. Este proyecto se centra principalmente en el diseño y desarrollo de la plataforma descrita anteriormente, pero también se realizará un estudio sobre cómo aplicarla en tres escenarios distintos: Agricultura, Ahorro Energético en los Edificios de la EIMIA y, por último, control en la propagación de incendios.



Imagen 3 Esquema Multisensor

CAPÍTULO 2: OBJETIVOS



2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

El desarrollo de este proyecto está orientado a la aplicación de las competencias generales de la titulación de Ingeniería Eléctrica en el diseño de módulos multisensoriales distribuidos para análisis medioambiental y en la aplicación de lenguajes de programación a casos de ingeniería.

2.2 Objetivos específicos

El primer objetivo de este proyecto consiste en el desarrollo de un sistema de recolección de datos de bajo coste que comunique de forma inalámbrica con otros módulos y sea adaptable a distintos entornos de operación, es decir, un sistema de comunicación compuesto por módulos de medición y transmisión a los que se armarán de sensores capaces de captar diversos parámetros físicos, otros de recepción que tendrán la capacidad recibir y almacenar la información enviada por las estaciones de medición y transmisión, y un canal (el aire) que es el medio a través del cual fluirá la información captada por los sensores. Dado que existe muchos tipos de tecnologías inalámbricas para establecer la comunicación entre los módulos trabajaremos con la radiofrecuencia.

El segundo objetivo es encontrar un programa con un entorno de simulación controlado donde realizar las pruebas del sistema implementado. Donde los datos que recogerán los módulos serán analizados, registrados y representados.

El tercer objetivo es poner a prueba el sistema desarrollado. Se pretenderá encontrar dos fuentes de excitación simples y fáciles de manipular. Para ello utilizaremos nuestros módulos multisensoriales para evaluar el comportamiento energético de algunas aulas de EIMIA.

Los sensores serán los encargados de detectar ciertas acciones del entorno, almacenarlas en el micro sd integrado en los módulos y posteriormente enviarlas a la estación receptora.

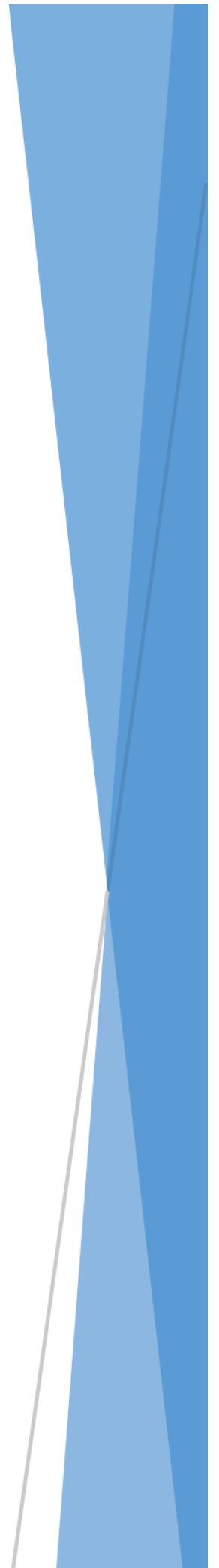
Para cumplir los objetivos expuestos es necesario satisfacer los siguientes puntos:

1. Diseño y construcción desde cero de una cápsula, módulos de medición y transmisión lo más económico posible: Para ello se deberá elegir los microcontroladores y componentes que sean más económicos pero que a su vez tengan buenas

características y se consigan los objetivos especificados, es decir, haya un equilibrio entre calidad precio.

2. Comunicación entre las estaciones emisoras y receptoras mediante radiofrecuencia:
La radiofrecuencia en términos de este proyecto, se va a emplear como aquel medio que se puede usar para establecer contacto entre dos dispositivos mediante las ondas electromagnéticas dirigidas por medio del vacío, como se conoce comúnmente como ondas de radio. Para ello la estación receptora deberá ser capaz de captar y almacenar las señales emitidas por las estaciones transmisoras cada vez que se encuentre dentro del rango de comunicación permitido o establecido.
3. Análisis global de los datos recogidos para obtener conclusiones relevantes.

CAPÍTULO 3: ESTADO DEL CONOCIMIENTO



3 ESTADO DEL CONOCIMIENTO

3.1 antecedentes

La evolución de las redes de sensores tiene su origen en el ámbito militar. Por eso no se dispone de mucha información sobre la fuente de la idea. Como precursor de estos sistemas modernos se podía llegar a considerar a *Sound Surveillance System (SOSUS)*, se trataba de una red de boyas sumergidas instaladas en Estados Unidos en el periodo de la Guerra Fría para detectar submarinos. Los estudios en redes de sensores cerca de los 80' comenzaron con el proyecto (DSN) *Distributed Sensor Networks* de la compañía militar de investigación avanzada de EE. UU *Defense Research projects Agency (DARPA)*. Existe la probabilidad de que las investigaciones sobre estos proyectos militares siguen en curso.

Sensor *network* (en español una red de sensores) es una red de microordenadores, armados con sensores que colaboran en una tarea colectiva. Las redes de sensores están constituidas de un conjunto de sensores con ciertas capacidades sensitivas y de comunicación inalámbrica los cuales posibilitan la formación de redes *ad hoc* sin necesidad de infraestructura física ni administración central¹.

Cuando uno dirige la vista a su alrededor observa que los instrumentos de medida se hallan en todas las partes. Una gran parte de la instrumentación está vinculada con la medición de variables de procesos. Esto puede ser para indicar, controlar ó propósitos de conteo. El omnipresente es el reloj, pero en las calles hay gran cantidad de termómetros y los salpicaderos de los vehículos están repleto de indicadores: nivel de gasolina, revoluciones, velocidad, etc.

3.2 Sistemas de medida

La instrumentación es la parte de la electrónica que tiene como propósito observación y medida del mundo físico (sea o no de tipo eléctrico) manejando herramientas (equipos e instrumentos) electrónicas.

Se define sistema a la mezcla varios elementos, subconjuntos y partes necesarias para llevar a cabo una o varias funciones. En los sistemas de medida esta función es la denominación objetiva y empírica de un número a una propiedad o cualidad de un objeto o evento de tal forma que la describa. Esto es, la medida es un proceso que deber ser objetiva

¹ nuevastecnologias.awardspace.com

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

(independiente del observador), empírico (basado en la experimentación), y de tal forma que hay una conexión entre las relaciones numéricas y las relaciones entre las propiedades descritas.

La medida tendría como objetivos: la vigilancia o seguimiento de procesos, como sucede en la medida de la temperatura ambiente, de los contadores de agua y de gas, de la monitorización clínica, etc.; el control de nivel en un depósito o el control de un proceso, como en el caso de un termostato, y de igual forma puede ser una necesidad de la ingeniería experimental, como ocurre con el estudio de la distribución de temperaturas adentro de una pieza irregular, o de las fuerzas sobre el conductor simulado de un automóvil cuando éste colisiona contra un objeto. Por el volumen o la naturaleza de la información que se desea. Las medidas en prototipos son de igual modo necesarias para comprobar los resultados de los modelos desarrollados en un ordenador.

Un sistema de medida es aquel que adquiere información sobre un proceso del mundo físico mediante la atribución de un número a un rasgo de un objeto o suceso para describirlo, con el propósito de controlar un proceso y proveer información para la evaluación de un sistema. La información adquirida por sistema de medida es expuesta a un observador o a un sistema de control para su examen.

3.2.1 Funciones de un sistema de medida

- **Adquisición de datos**

Se obtiene la información de las variables a evaluar y transforma a una señal eléctrica.

- **Procesamiento de datos**

Se tratan, distinguen y manipulan los datos a través de un microcontrolador.

- **Distribución de datos**

En esta etapa se muestra el valor medido al observador, se guarda o se envía a otro sistema.

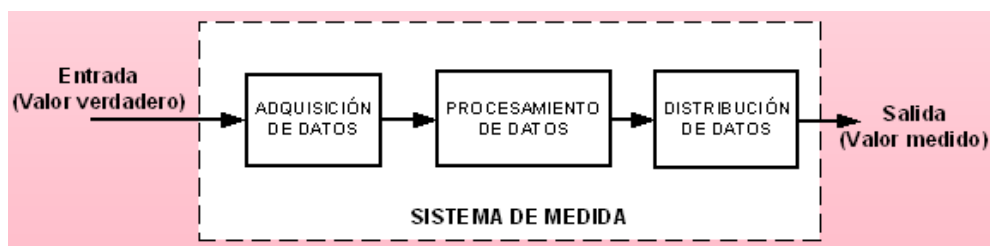


Imagen 4 Diagrama de bloques de un sistema de medida

3.2.2 Tipos de sistemas de medida

Sistema de medida en lazo abierto

Son aquellos sistemas en los cuales el operador interviene en el proceso a través del sistema de control, pero no obtiene ninguna respuesta del control.

En todos los sistemas de control en lazo abierto, no hay comparación entre la salida y la entrada de referencia. Por consiguiente, a cada entrada de referencia le retribuye una condición invariable, como consecuencia, la exactitud del sistema está sujeta a la calibración. Ante la presencia de agitaciones, un sistema de control en lazo abierto no lleva a cabo la tarea pretendida. En realidad, el control en lazo abierto sólo se aplica a los sistemas en los que se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no agitaciones internas ni externas.

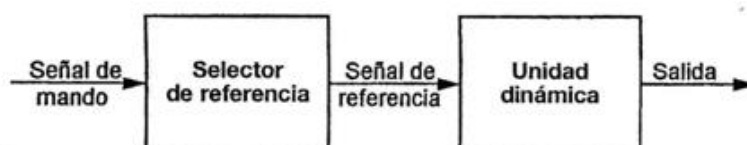


Imagen 5 Sistema de medida en lazo abierto

Sistema de medida en lazo cerrado o realimentado

Son los sistemas en los cuales el operador actúa sobre el sistema de control, el cual obtiene respuesta del proceso, transformándose en un sistema más robusto a perturbaciones externas, pese a que la realimentación lo convierte en inestable. En realidad, las expresiones control realimentado y control en lazo cerrado se utilizan sin distinción. En este sistema se inyecta al controlador la señal de error de actuación, que es la suma entre la señal de entrada menos la salida de realimentación con el propósito de minimizar el error y llevar la salida del sistema a un valor adecuado.

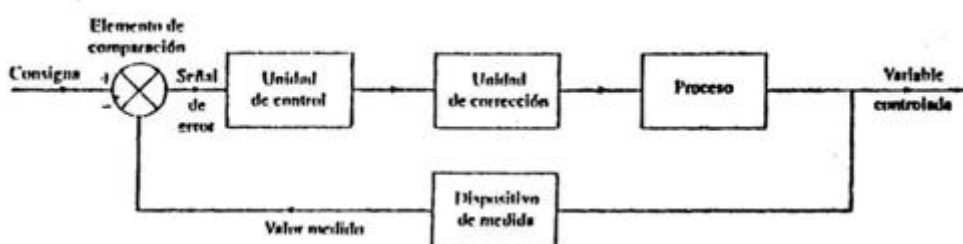


Imagen 6 Sistema de medida en lazo cerrado

3.2.3 Control de procesos

Los procesos industriales pueden ser de distinta índole, pero básicamente tienen como aspecto común, que se requiere del control de algunas magnitudes, como son: la presión, el flujo, la temperatura, etc. El sistema de control para dichas magnitudes se definiría como: un sistema que hace comparaciones entre el valor de la variable a controlar con un valor deseado y cuando surge una desviación, realiza unas acciones de corrección sin necesidad de intervención humana.

Los sistemas de medida en el control de procesos se pueden representar con la figura:

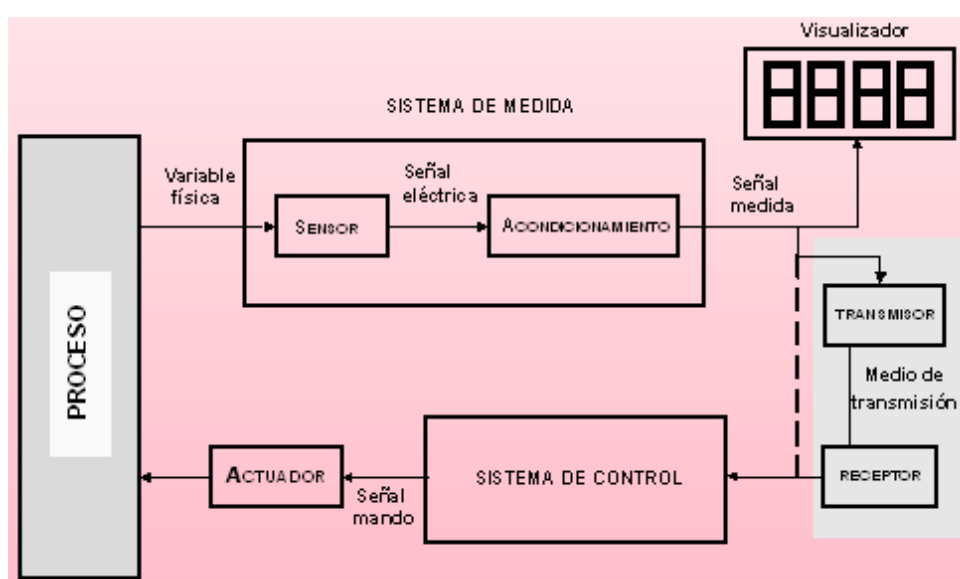


Imagen 7 Diagrama de bloques para control de procesos

A continuación, se describe cada una de las partes del sistema de medida.

- **Proceso:**

Es la parte del sistema donde se va a controlar la variable.

- **Sensor:**

Es un dispositivo diseñado para tomar información de una variable física y transforma en una variable eléctrica.

- **Acondicionamiento:**

Es el bloque que permite entregar al sistema de control una señal tratable (frecuencia, corriente, tensión) interviniendo sobre la salida del sensor. Lo más peculiar de acondicionamiento es el filtrado y amplificación de señal.

- **Actuador:**

Es el dispositivo o dispositivos que manipulan las variables de control.

- **Sistema de control:**

En este bloque se tratan los datos de la señal de control, originando señales de mando que accionan los actuadores.

- **Receptor:**

Recibe la señal emitida por el transmisor y se la envía al sistema de control para su análisis.

- **Visualizador:**

Es la interfaz donde el operador obtiene la información sobre el estado del sistema.

- **Transmisor:**

Es el encargado de enviar al receptor la señal de medida.

3.2.4 Sistema electrónico de medida

Un sistema electrónico es una asociación de circuitos que interactúan entre sí para conseguir un objetivo. Una manera de interpretar los sistemas electrónicos consiste en dividirlos en los siguientes bloques:

- **Entradas o inputs:**

Son dispositivos electrónicos conectados juntos, para interpretar, manipular y transformar las señales de corriente y voltaje procedentes de los transductores.

- **Circuitos de procesamiento de señales:**

Transductores (o sensores) electrónicos o mecánicos que reciben las señales (en forma de temperatura, presión, etc.) del mundo físico y los transforman en señales de voltaje o corriente.

- **Salidas u Outputs:**

Actuadores u otros dispositivos que transforman las señales de voltaje o corriente en señales físicamente útiles².

² es.wikipedia.org/wiki/Electrónica

SISTEMAS ELECTRÓNICOS



3

Imagen 8 Sistemas electrónicos

3.2.4.1 Características de un sistema electrónico de medida

- Disponen de muchos circuitos integrados para adecuar las señales que origina el sensor.
- La transmisión de señales eléctricas es más ligera, pero más propenso a las interferencias que las transmisiones neumáticas, hidráulicas o mecánicas.
- Por el origen electrónico de la materia, una alteración de un parámetro no eléctrico supone una alteración de un parámetro eléctrico.
- Es necesario convertir los valores de una propiedad a medir en valores de otra propiedad diferente, considerando que gran parte de las propiedades a medir no son eléctricas.

3.2.4.2 Topología de los sistemas electrónicos de medida

Topología en estrella

A la red en estrella se la puede considerar como la topología más simple a desplegar. Hay que tener en cuenta que este tipo de red cuando dispone de muchos sensores es más sensible a las interferencias (ruido eléctrico) entre ellos. Por otro lado, si en el sistema se instalan pocos sensores, el precio de conexionado será elevado si los sensores se hallan mayor distancia.

³ es.wikipedia.org

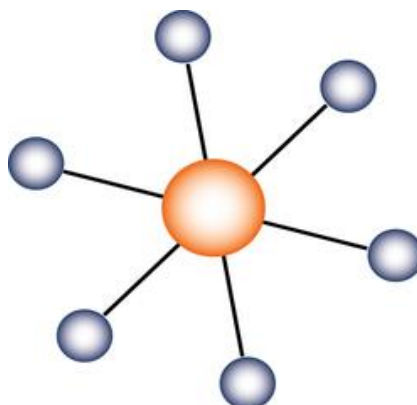


Imagen 9 Topología en estrella

Topología en árbol

Es una red mucho más compleja y más costosa que la de en estrella. Este modelo de conexión es semejante a la usada en redes de PC, en la cual los dispositivos están dispuestos en forma de ramas de un árbol. Esta topología es menos sensible al ruido con capacidad para albergar muchos dispositivos.

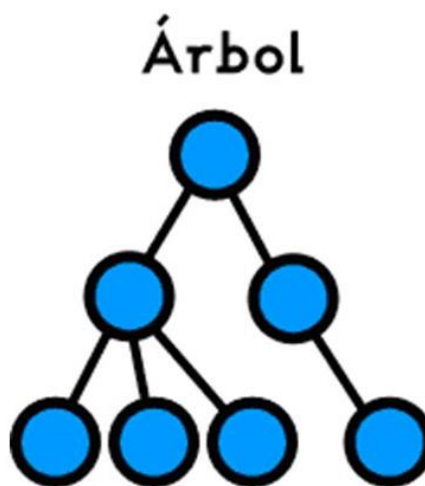


Imagen 10 Topología en árbol

3.2.5 Caracterización de sensores

Según la definición dada por la Real Academia Española, un sensor es un dispositivo que detecta una determinada acción externa, temperatura, presión, etc., y la transmite adecuadamente. Como se ha expuesto en las páginas anteriores, dentro de un sistema de

medida, el sensor también desempeña la función de transducción de la señal física muestreada a una señal eléctrica.

3.2.6 Características ideales de un sensor

Las características dignas de ser deseadas de todo sensor, aunque son escasos los que las tienen todas, nos facilitan las cosas en el momento de seleccionar un sensor que se adapte a nuestras necesidades.

Exactitud

Todo sensor responde a un principio químico, físico o biológico que hace posible su funcionamiento, es por eso que cualquier sensor tendrá sus debilidades que serán inseparables a sus principios, y una de estas debilidades es la exactitud. La exactitud de la medición debe ser tan alta como sea posible. Se denomina exactitud al valor verdadero de la variable monitoreada, se pueda detectar sin errores en la medición. Sobre las distintas mediciones de la variable, la media de error entre el valor real y el valor captado tenderá a ser cero.

Precisión

La precisión denota que existe o no una variación reducida aleatoria, en la medición de una variable. La precisión de la medición tiene que ser tal alta como sea posible.

Velocidad de respuesta

La rapidez de reacción del transductor debe ser tan alta como sea posible para responder a las variaciones de la variable que se está detectando o monitoreando; si la cinética a la que se hace la medición es más lenta que la de la propia variable, habrá que tener a disposición sistemas de medición de este, si es que el proceso así lo ordena, y no basarse únicamente del valor instrumental.

Rango de funcionamiento

Es necesario que el sensor tenga un amplio rango de funcionamiento y deber ser preciso y exacto en todo el campo de detección. Con el rango de trabajo hay mejora de resolución, pero no necesariamente la sensibilidad.

Calibración

La calibración del sensor debe ser fácil. El tiempo y los procedimientos necesarios para realizar el proceso de calibración deben ser mínimos. Asimismo, el sensor no debe necesitar una recalibración frecuente. El término desviación se usa frecuentemente para señalar la pérdida continua de exactitud del sensor que produce con el tiempo y la utilización, lo cual hace necesaria su recalibración.

Fiabilidad

La fiabilidad del sensor debe ser alta. No debe estar sometido a fallos frecuentes durante su funcionamiento.

3.2.7 Clasificación de sensores

En este apartado se presentan los tipos de sensores existentes actualmente atendiendo a **distintos criterios de clasificación**:

3.2.7.1 Según el tipo de variable física medida

En este grupo se hallan los siguientes: mecánicos, térmicos, acústicos, eléctricos, ultrasónicos, láser, ópticos, radiación y químicos.

En la tabla que se presenta a continuación, se hace un compendio de las magnitudes físicas típicas detectables por un sensor.

Naturaleza	Ejemplos
Eléctrica	Corriente, resistencia, tensión, carga, tensión, polarización, frecuencia, etc.
Mecánica	Aceleración, masa, velocidad, presión, desplazamiento, flujo, etc.
Térmica	Temperatura, calor, etc.
Óptica	Visible, ultravioleta, infrarrojo, etc.
Biológica	Proteínas, hormonas, antígenos, etc.
Química	Gas, humedad, pH, etc.
Acústicas	El sonido, etc.

Tabla 1 Ejemplos de magnitudes físicas por naturaleza

3.2.7.2 Según el principio físico de funcionamiento:

a) Activos

Son aquellos que generan su propia energía para llevar a cabo la transducción, sin necesitan de una fuente de alimentación externa. A continuación, se cita algunos de estos sensores:

- **Piezoeléctricos (zumbador)**

El funcionamiento de estos sensores se basa en el efecto piezoeléctrico, descubierto por Pierre Curie y Jacques en 1880 en los cristales de cuarzo. Determinados sistemas cristalinos generan este fenómeno y consiste en la aparición de una cierta carga eléctrica cuando se le suministra al cristal algún tipo de información.

Otras sustancias naturales que poseen comportamiento semejante al del cristal de cuarzo tales como la turmalina o *la Rochelle*. Los sensores piezoeléctricos se aplican para la medición de diversas variables como, presión, fuerza o movimiento.



Imagen 11 Sensor de fuerza piezoeléctrico⁴

⁴ www.sensores-de-medida.es

- **Fotoeléctricos (fotocélula)**

Estos sensores utilizan un haz de luz para identificar los objetos. Estos dispositivos constituyen una alternativa ideal a sensores de proximidad inductivos cuando el objeto que se desea detectar no es metálico y se halla a larga distancia.



Imagen 12 Sensor fotoeléctrico tipo Réflex⁵

- **Termoeléctricos**

Comúnmente conocidos como termopares, son dispositivos electrónicos constituidos por la unión de dos metales distintos entre los que se da una diferencia de potencial muy reducida, función de desequilibrio de temperatura entre los extremos. Este fenómeno se denomina efecto Seebeck.

La construcción y el funcionamiento de los sensores diferencian según el componente del gas a medir.



Imagen 13 Sensores termoeléctricos duales⁶

⁵ www.directindustry.es

⁶ www.tme.eu

b) Pasivos

Son aquellos que necesitan ser alimentados por una fuente externa para poder realizar la transducción. Cabe citar algunos de ellos:

- **Resistivos**

Popularmente conocidos como sensores de resistencia variable, transforman la variación de la magnitud a medir en una variación de su resistencia eléctrica.

- Termorresistivos.
- Potenciométricos.
- Fotorresistivos.
- Magnetorresistivos.
- Electroquímicos.
- Extensiométricos.

- **Capacitivos**

Denominados habitualmente sensores de capacidad variable, son aquellos que convierten la mutación de la magnitud a medir en una variación de la capacidad de un condensador.

- **Inductivos**

A estos se los conocen también como sensores de inductancia variable, son dispositivos que transforman la variación de la variable medida en una variación de la inductancia de una bobina.

- Permeancia variable.
- Transformador variable.
- Reluctancia variable.
- Magnetostrictivos.

3.2.7.3 Clasificación de sensores según el tipo de señal eléctrica generada

a) Analógicos

Son los que proporcionan un valor de corriente o voltaje, la señal de salida es continua puede tomar valor dentro de los límites determinados y la información se obtiene en su amplitud, la señal que a menudo se utiliza en aplicaciones industriales es un circuito de corriente de dos hilos y 4-20 mA.

- **Según el tipo de señal**

- **Señales continuas**

Son aquellas pueden separarse en una adición de senoides cuya frecuencia mínima es cero. Poseen un cierto nivel estable durante largo tiempo y la información se indica mediante su amplitud.

- **Señales variables**

Corresponden a la suma de una asociación de sinusoides con una frecuencia mínima mayor que cero.

- **Según la polaridad**

- **Unipolares**

- **Bipolares**

b) Digitales

Estos sensores generan señales eléctricas que sólo toman número finito de niveles o estados entre un máximo y un mínimo, por ello se denominan digitales. Las más utilizadas son las binarias, que sólo pueden tomar dos estados de tensión, que se asignan a los valores binarios 0 y 1. La variable se denomina “bit”. El orden de asignación de los estados es totalmente arbitrario. Para representar una información se necesita un cierto número n de variables binarias cuyo valor depende de la precisión que se desee. Las n variables binarias se pueden expresar de dos formas diferentes:

- **Mediante señales binarias independientes**

Se expresa así, por ejemplo, el número 10011 en un único instante t_1 (imagen 11). En instantes sucesivos se pueden tener números diferentes (por ejemplo, 01010 en t_2 , en la imagen 11). Este formato se denomina paralelo (parallel output).

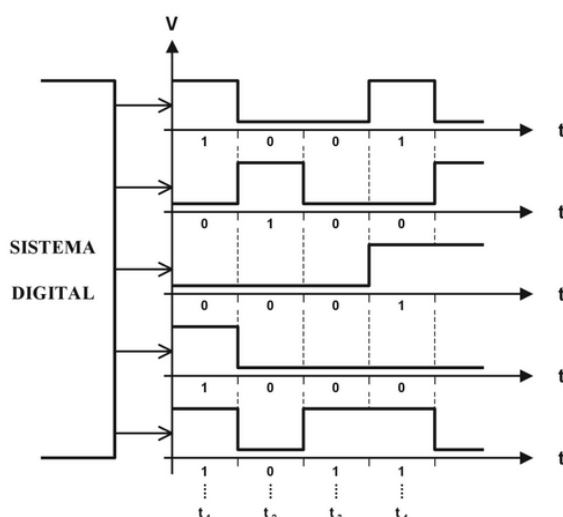


Imagen 14 Señal digital binaria en formato paralelo

- **Mediante una secuencia de niveles cero y uno de una señal digital**

En la imagen 11 se indica una señal digital binaria que representa el número 10011 en el sistema de numeración binario. Este formato recibe el nombre de serie (*serial output*).

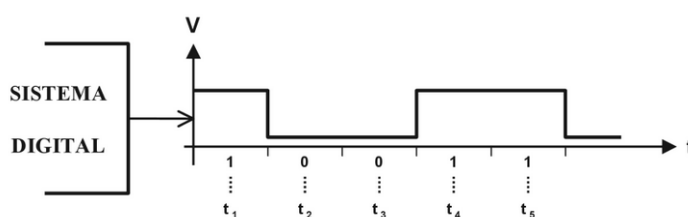


Imagen 15 Señal digital binaria en formato serie

El formato serie es utilizado para transmitir a distancia una información digital, mientras el paralelo es el utilizado por los procesadores digitales y el que proporcionan algunos tipos de sensores, como por ejemplo los codificadores absolutos angulares de posición. En general, el formato serie se genera a partir del paralelo, mediante un procesador de comunicaciones, que constituye un circuito de interfaz de un procesador digital⁷.

c) Temporales

Sensores que proveen a su salida señales eléctricas en las que la información está ligada al parámetro tiempo.

⁷ books.google.es

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Consideraciones importantes

Son pocos los sensores que generan información en dominio temporal.

La señal analógica dada a la salida del sensor puede convertirse en una señal temporal que lleva la información en la frecuencia mediante un oscilador controlado por tensión.

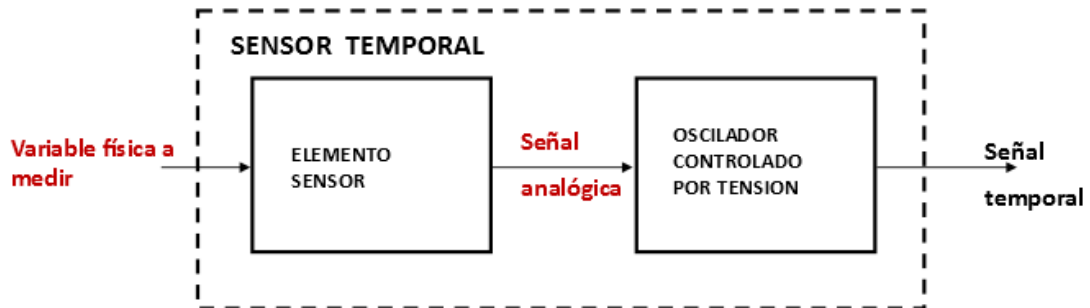


Imagen 16 Diagrama de bloques de un sensor temporal

Tipos de señales temporales

- **Señales temporales cuadrados**

Poseen una amplitud fija y un parámetro cambiante que puede ser:

- **Frecuencia o periodo**

Relación entre la duración del uno y el cero (on/off):

- **Periodo fijo**

La información que contiene respecto a la relación entre el tiempo que se está en cada estado (Ciclo de trabajo).

En ocasiones se dice que está modulada en anchura de pulso(PWM).

- **Duración de un impulso**

Número total de impulsos que aparecen a la salida a partir de un determinado instante.

- **Señales temporales senoidales:**

Se denominan señales moduladas y se obtienen modificando un parámetro temporal de una señal senoidal proporcionada por un circuito oscilador mediante circuito electrónico denominado demodulador.

3.2.7.4 Según el campo de valores que miden

- **Todo o nada**, son los que tienen dos estados, y que, estos estados, solamente están segregados por un valor umbral de la variable monitoreada.
- **De medida**: proveen a la salida todos los valores posibles correspondientes a cada valor de la variable de entrada dentro de un determinado rango.

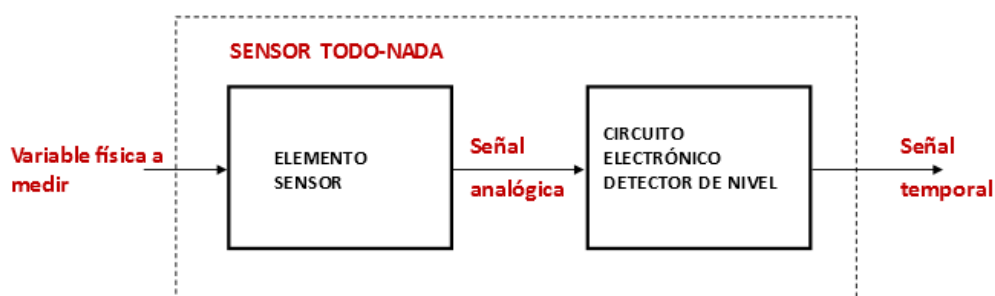


Imagen 17 Diagrama de bloques de un sensor Todo-Nada

3.2.7.5 Según el nivel de integración de los sensores

- **Integrado**: el circuito acondicionador está compuesto con el elemento sensor en un único circuito integrado, monolítico o híbrido.
- **Discreto**: los componentes electrónicos que componen el circuito de acondicionamiento están segregados e interconectados entre sí.
- **Inteligente**: es un sensor que al menos lleva a cabo una de las siguientes funciones:
 - Autocalibración y autodiagnóstico
 - Comunicación en red (no una de punto a punto).
 - Cálculos numéricos.
 - Diversas medidas con identificación del sensor.

3.2.8 Sistemas de sensores comerciales

El anhelo de automatización industrial es cada vez mayor, y con ella la utilización de sistemas y elementos computarizados y electromagnéticos para controlar desde pequeños recintos hasta procesos industriales y maquinarias de grandes dimensiones. Se trata de un campo que abarca sensores, transmisores de campo, sistemas de control y sistemas de transmisión y recolección de datos e integra las aplicaciones software en tiempo real con las que mantener las plantas y procesos industriales. Es aquí donde los sensores juegan un papel importante en el sistema productivo. Es imprescindible utilizar aquellos que sean apropiados

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

a las zonas industriales, donde se registran frecuentemente las altas temperaturas, la presencia de polvo o los ambientes de alta humedad entre otras características.

Para determinar si un detector se ajusta o no a las necesidades del entorno en el que se quiere emplear aparte de conocer qué se desea detectar, se ha de fijar con mucho cuidado la hoja de especificaciones del fabricante en lo que se refiere a la configuración, dimensiones externas, tipo, instrucciones de montaje, forma de llevar a cabo los ajustes externos, tamaño y localización de las conexiones eléctricas y mecánicas y grado de protección de la misma ante agentes externos. Igualmente, es importante estar al tanto de las condiciones ambientales que tendrá que soportar al sensor. Características del entorno que engloban los efectos de la aceleración, efectos térmicos y vibraciones, efectos de las perturbaciones eléctricas, efecto de la presión ambiental, corrosión, atmósfera salina y los efectos del montaje. Además, es esencial conocer el estado del dispositivo como fiabilidad, que viene determinada por la vida útil, la vida de almacenamiento, la deriva de cero, la estabilidad temporal de la salida y deriva de la sensibilidad.



Imagen 18 Tipos de Sensores⁸

⁸ www.lostipos.com

3.3 Definiciones de algunos sensores

3.3.1 Detectores de ultrasonidos

Sensores que se basan en la interacción de los ultrasonidos con un objeto. Se llama ultrasonidos a las vibraciones de frecuencia mayor a las perceptibles por el ser humano (>20 KHz) que se originan en un medio elástico.

La medida de distintas variables físicas a través de los ultrasonidos están vinculadas básicamente con su velocidad, tiempo de propagación y, en algunos casos, con la disminución o interrupción del haz propagado.

¿Cómo funciona un sensor de ultrasonidos? Los sensores que miden la distancia usando este tipo de sonidos están constituidos de dos transductores. Definiendo transductores como componentes electrónicos que tienen la capacidad de transformación de una magnitud física en otra. Uno comporta como un altavoz y envía un pulso de ultrasonidos que, al chocar contra un objeto, originan un eco. El segundo transductor actúa como un micrófono y percibe este eco⁹.

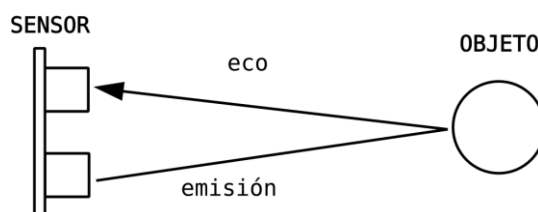


Imagen 19 Funcionamiento de un sensor de ultrasonido

Si se sabe el tiempo transcurrido cuando el micrófono recibe el eco, se puede obtener la distancia a la que se halla el objeto utilizando una sencilla fórmula:

$$d = \frac{v \cdot t}{2}$$

Donde la d es la distancia que se pretende saber, v la velocidad del sonido en el aire y t el tiempo que transcurre para que el micrófono capte el eco. Se divide por dos, porque la señal recorre dos veces la distancia entre el sensor y el objeto.

⁹ <http://robologs.net/>



Imagen 20 Sensor de ultrasonido

Existen tres fundamentos físicos como cimiento del funcionamiento de los sensores ultrasonidos:

- Transmisión de los ultrasonidos en medios homogéneos y no homogéneos.
- Reflexión de los ultrasonidos en objetos inmóviles o fijos.
- Efecto Doppler¹⁰.



Imagen 21 Detectores de ultrasonidos

3.3.2 Sensores de corriente

Un sensor de corriente es un dispositivo que monitoriza corriente continua o alterna y produce una señal proporcional. La señal que se origina puede ser una corriente o tensión analógica o incluso salida digital. Luego se puede utilizar para visualizar la corriente obtenida en un amperímetro o se puede almacenar para estudios posteriores en un sistema de adquisición de datos o se puede utilizar con fines de control.

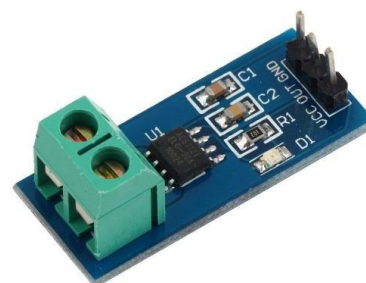


Imagen 22 Sensor de corriente

¹⁰ <http://www.marcombo.com/>
Vicente Mbogo Ndong Okomo

¿Cómo funciona? Este sensor genera un campo magnético, mediante el paso de la corriente por un alambre de cobre interno en el sensor, y lo transforma en un voltaje variable. Esto quiere decir que mayor cantidad de corriente que se tenga, mayor voltaje se tendrá¹¹.



Imagen 23 Configuración de un sensor de corriente

3.3.3 Sensores de presión y fuerza

La presión es la fuerza ejercida sobre un área determinada, el resultado se obtiene en unidades de fuerzas por unidades de área. Las mediciones de presión van desde valores muy bajos considerados un vacío, hasta miles de toneladas de por unidad área.



Imagen 24 Sensores de fuerza

¹¹ saber.patagoniatec.com

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Los principios aplicados para medir la presión son aplicables también en la determinación de flujos, temperaturas y niveles de líquidos. Por lo tanto, es imprescindible conocer los principios básicos de operación, los principios de instalación, los tipos de instalación, el manejo de instrumentos, para obtener el mejor funcionamiento posible.



Imagen 25 Sensor de fuerza resistivo

Para medir la presión se emplean sensores que disponen de un elemento sensible a la presión y que difunden una señal eléctrica al variar la presión o que inducen operaciones de conmutación si esta supera un determinado valor límite¹².

¿Cómo funcionan? Su funcionamiento se basa en la transformación de una magnitud física en una eléctrica, en este caso convierten una fuerza por unidad de superficie en un voltaje equivalente a esa superficie ejercida¹³.

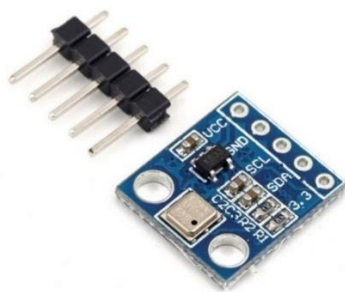


Imagen 26 Sensores de presión

¹² sensoresdepresion.blogspot.com

¹³ www.sensing.es

3.3.4 Sensores de temperatura

Las aplicaciones de los sensores de temperatura son diversas, se hallan en dispositivos médicos, para la elaboración de alimentos, manipulación de productos químicos, climatización para control ambiental y control de dispositivos en el sector automotriz.

Estos sensores se utilizan para determinar el calor para asegurar que el proceso se halle, o bien en un cierto intervalo, lo que ofrece seguridad en el uso de la aplicación, o bien en atención de una condición obligatoria cuando se trata de calor excesivo, riesgos, o puntos de medición inaccesibles.



Imagen 27 Sensores de temperatura

Existen dos variables principales: sensores de temperatura con contacto, son aquellos que incorporan termopares y termistores que entran en contacto con el objeto a medir, y sensores sin contacto son los encargados de medir la radiación térmica producida por una fuente de calor para obtener su temperatura. Este segundo grupo mide la temperatura a distancia y frecuentemente se utilizan en entornos peligrosos.



Imagen 28 Sensores de temperatura infrarroja

3.3.4.1 Tipos de sensores de temperatura

3.3.4.1.1 Termopares

Un termopar es un sensor para medir la temperatura. Consta de un par de empalmes o uniones que se componen a partir de dos metales diferentes. Uno de los empalmes representa una temperatura de referencia y el otro representa la temperatura a medir. Cuando la fusión de los dos metales se calienta o enfría, se genera una tensión que es proporcional a la temperatura¹⁴. Los termopares se usan porque sus precios son asequibles, resistentes y confiables, no utilizan baterías, y pueden ser utilizados en una amplia gama de temperaturas. Estos sensores pueden conseguir mejor rendimiento de hasta 2750° C y pueden incluso ser utilizados por periodos reducidos a temperaturas de hasta 3000° C y mínimas de hasta -250° C.

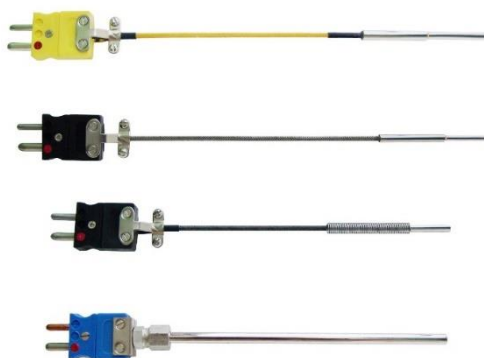


Imagen 29 Termopares

Ventajas y retos de los termopares incorporan:

- No miden en las uniones.
- Estos sensores reaccionan rápidamente en comparación con los termómetros de resistencia.
- Son conductores eléctricos por lo que está prohibido ponerlos en contacto con otra fuente de electricidad.
- Miden su propia temperatura.
- Son propensos a errores de lectura de la temperatura después de un uso prolongado. ¿Motivos? Si reduce la resistencia del material que compone el aislamiento debido a

¹⁴ es.omega.com

la humedad o las condiciones térmicas, o si hay interferencias químicas, mecánicas o de radiación nuclear en el entorno.

- La temperatura del objeto se debe inferir, y operador debe asegurarse de que no hay flujo de calor entre ellos.

3.3.4.1.2 Termistores

Son resistores térmicamente sensibles, los hay de dos tipos según la variación de la resistencia o coeficiente de temperatura, pueden ser negativo o positivos, NTC O PTC.



Imagen 30 Termistores

Están hechos a base de óxidos de metales de transición (cobalto, cobre, manganeso y níquel).

Los termistores NTC son semiconductores que dependen de la temperatura. El rango de operación va de -200°C a $+1000^{\circ}\text{C}$. Estos sensores deben elegirse cuando se requiere una variación continua de la resistencia en una amplia gama de temperaturas. Se destacan por las siguientes ventajas: proporcionan estabilidad mecánica, eléctrica y térmica, junto con un alto grado de sensibilidad.

Son económicos y ofrecen un buen rendimiento, esta combinación ha hecho disparar la demanda y una amplia utilización de los NTCs en aplicaciones tales como control y medición de temperatura, medición del flujo de fluidos y compensación de temperatura.



Imagen 31 Termistor NTC

Un termistor PTC se define como un resistor dependiente de la temperatura, son fabricados a partir de titanato de bario y su elección es necesaria cuando se requiere una variación drástica en la resistencia a una temperatura específica o nivel de corriente. Estos sensores pueden operar en los siguientes modos:

- Sensor de nivel de líquidos.
- Fusible de estado sólido de protección contra el exceso de corriente, que oscilan entre miliamperios a varios amperios (temperatura ambiente 25° C) a niveles de tensión continua mayor que 600V.
- Sensores de temperatura, en temperaturas que van desde 60° C a 180° C¹⁵.



Imagen 32 Termistor PTC

¹⁵ ayudaelectronica.com

3.3.4.1.3 Los detectores de temperatura resistiva

Los detectores de temperatura resistiva (RTD): Son sensores de temperatura basados en el cambio de la resistencia de un conductor con la temperatura.

Se conocen a las siglas RTD como *Resistive Temperature Detector*. Son sensores de temperatura cuyo fundamento físico se basa en la resistividad de los metales, es decir, en cambio de la resistencia de un conductor con la temperatura. Es se debe a que al aumentar la temperatura los iones vibran con mayor amplitud y así oponiendo el paso de los electrones a través del conductor.

La variación de la resistencia viene expresada por la siguiente ecuación:

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

Donde R_0 representa la resistencia inicial.

$\Delta T = T - T_0$ es la variación de la temperatura.

α simboliza el coeficiente de temperatura del conductor

Condiciones que deben cumplir los metales son un alto coeficiente y alta resistividad para que su sensibilidad sea mayor y que haya correlación lineal entre la temperatura y la resistencia. El platino es el metal perfecto, ya que, además de cumplir las condiciones deseadas, tiene un rango de temperatura mayor, pero, puesto que su precio es elevado, se utilizan otros como el cobre o níquel.



Imagen 33 Detector de temperatura resistiva

Los dos modelos de RTD son: uno es laminado que posee menor masa térmica, de bajo precio, y tiene menor estabilidad, y el otro bobinado que permite la contracción y dilatación del material sensible.

Las fortalezas que presentan este tipo de sensores es que tiene un límite de temperatura muy amplio; como son muy sensibles, las medidas se obtienen con mucha exactitud y repetitividad; presentan derivas en la medida de 0.1° C anual por lo que son demasiados estables en el tiempo. Las debilidades son que el coste es muy elevado que el de los termopares o termistores, también el volumen que ocupa limita su velocidad de reacción, son frágiles ante vibraciones, golpes.

Por lo tanto, los detectores de temperatura resistiva son los adecuados para aplicaciones en las que la exactitud de la medida es lo importante¹⁶.

3.3.4.1.4 Sensores de temperatura Pt100

Los sensores Pt100 son un tipo particular de sensor RTD. La particularidad más importante de los elementos Pt100 es que están hechos con platino con una resistencia eléctrica de 100 ohmios a una temperatura de 0°C y es con diferencia el tipo más popular de sensor RTD. El sensor Pt500, dispondría a su vez, una resistencia de 500 ohmios a 0° C y un Pt1000 consta de una resistencia de 1000 ohmios a 0°C. Los elementos Pt100 están dispuestos normalmente con algún tipo de vaina o funda protectora para forma sonda, y éstos se conocen habitualmente como sonda Pt100¹⁷.

Este sensor que a 0° C tiene 100 ohmios y que al incrementar la temperatura crece la resistencia eléctrica. Este sensor Pt100 es el núcleo preciso a la temperatura de termómetro de resistencia. A parte de su estructura, son sus características las que esencialmente determinan las propiedades técnicas de medida del sensor. La variación de la resistencia de la Pt100 no es lineal, pero si progresivo y característico del platino de tal manera que a través de tablas es posible encontrar la temperatura precisa a la que corresponde. Realmente las sondas Pt100 industriales se construyen encapsuladas en la misma forma que fabrican los termopares, es decir en el interior de un tubo de acero inoxidable (vaina). En un extremo está

¹⁶ Ingeniatic.euitt.upm.es

¹⁷ <http://es.omega.com>

el elemento sensitivo (sensor RTD), y en el otro extremo se tiene el terminal eléctrico de los cables protegido en el interior de una caja redonda de aluminio (cabezal)¹⁸.



Imagen 34 Una sonda Pt100

3.3.4.1.5 Los sensores de temperatura infrarrojos

Sensores infrarrojos apropiados para realizar medidas de mayor rendimiento de objetos y materiales inaccesibles o en movimiento. Su rango de medición de temperatura va de -20° C a 2000° C. La intensidad de salida es de 4-20 mA o termopar¹⁹. Estos sensores transforman la energía térmica enviada desde un objeto en un rango de longitud de onda de 0.7 a 20 μm en una señal eléctrica que transforma la señal para indicar en unidades de temperatura tras compensar para cualquier temperatura ambiente.

Los sensores de temperatura infrarrojos se utilizan para medir la temperatura cuando:

- Se requiere una respuesta rápida.
- La utilización de los termopares o sondas son imposibles.
- Si el objeto de destino se encuentra en el vacío.
- Si las distancias son muy amplias.
- Si existe riesgo de alto voltaje.
- Si las temperaturas son muy elevadas para sensores de contacto.
- Si el objeto de destino está en movimiento (sobre maquinaria en movimiento, rodillos, cintas transportadoras).

¹⁸ <http://www.srcsl.com>

¹⁹ <http://www.srcsl.com>

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Cuando se elige una opción de infrarrojos, las debilidades incluyen campo de visión (ángulo de visión), emisividad, respuesta espectral, rango de temperatura y montaje.

El rango de tensión del sensor infrarrojo va desde -40°C a 125°C para permitir el uso en una gran variedad de aplicaciones. Tienen las siguientes ventajas: es de bajo consumo de energía junto con el voltaje operativo sea el adecuado para aplicaciones con alimentación a batería. La baja altura del paquete de formato de escala de chip permite métodos estándar de ensamblaje de alto volumen y puede ser útil cuando hay espacio limitado en el objeto medido.

La circuitería interna de un sistema electrónico procesa la magnitud eléctrica convenientemente. El tratamiento de dicha magnitud estará sometido tanto del diseño de los diferentes elementos que componen el hardware del sistema, como de la agrupación lógica de instrucciones (es decir, del “programa”) que dicho hardware antes tenga grabado y que sea capaz de ejecutar de forma autónoma.

Los actuadores son dispositivos mecánicos cuya función es transformar la magnitud acabada de procesar por los circuitos internos en energía que actúa directamente sobre otro dispositivo mecánico. La fuerza que produce el actuador deriva de tres fuentes posibles: fuerza motriz eléctrica, presión hidráulica y presión neumática. De acuerdo de la derivación de la fuerza el actuador recibe el nombre de “eléctrico”, “hidráulico” o “neumático”. Ejemplos de actuadores son: un altavoz (energía acústica), un motor (energía mecánica), una bombilla (energía lumínica), etc.



Imagen 35 Actuadores

La fuente alimentación es la que se encarga de proporcionar energía eléctrica a los diferentes componentes de nuestro sistema electrónico, para que se pueda llevar a cabo todo el proceso reseñado de “adquisición de información del medio <-> procesamiento <-> actuación sobre el medio”. Ejemplos de fuentes son las baterías, adaptadores AC/DC, etc.

3.4 La radiofrecuencia

La palabra radiofrecuencia, o también denominado espectro de radiofrecuencia, se define como la parte menos energética del espectro electromagnético ubicado entre los 3000 Hz y los 30.000 MHz. La radiofrecuencia es un tipo de onda electromagnética que tiene propiedades que le permiten ser empleado para los sistemas de radiocomunicación, es decir, para la transmisión de señales a través del aire.

Desde hace milenios las manifestaciones del magnetismo y la electricidad son conocidas por el hombre, hace al menos de 150 años que tuvo lugar la primera unificación de los dos sucesos, es la denominada teoría electromagnética. Einstein elaboró una nueva agrupación al argumentar que los campos magnéticos no son más que la exposición de campos eléctricos de cargas en movimiento; hace más de 100 años.

Para que originara todo eso, fue necesario iniciar por la cuestión de Campos de Fuerza, trabajo que empezó Faraday y prosiguió con éxito Maxwell, para finalizar con la obtención de ondas electromagnéticas en el laboratorio, otorgándole a los campos electromagnéticos una existencia real más allá de las demostraciones matemáticas, en el mundo físico.

3.4.1 El espectro electromagnético

El propósito de un sistema de comunicaciones es transmitir información entre dos o varios lugares, que se conocen comúnmente como estaciones. Esto se consigue transformando la información original a energía electromagnética, para transferirla posteriormente a una o más estaciones receptoras, donde se vuelve transformar en su forma original. La energía electromagnética se puede irradiar en forma de corriente o voltaje, por medio de un conductor o hilo metálico, o bien tomando forma de ondas de radio radiadas en dirección al espacio libre, o como ondas luminosas por medio de una fibra óptica. La energía electromagnética se reparte en un transcurso casi infinito de frecuencias.

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

La frecuencia es la cantidad de veces que se produce un movimiento en un período de tiempo, como puede ser una onda senoidal de corriente o de voltaje, a lo largo de determinado periodo. Cada vuelta completa de la onda se denomina *ciclo*. La unidad más común de frecuencia es el Hertz (Hz), y un Hertz equivale a un ciclo por segundo (1 Hz= 1 cps). En electrónica es frecuente utilizar prefijos métricos para expresar las altas frecuencias. Por ejemplo, se utiliza el kHz que representa miles de Hertz, y el MHz para expresar millones de Hertz.

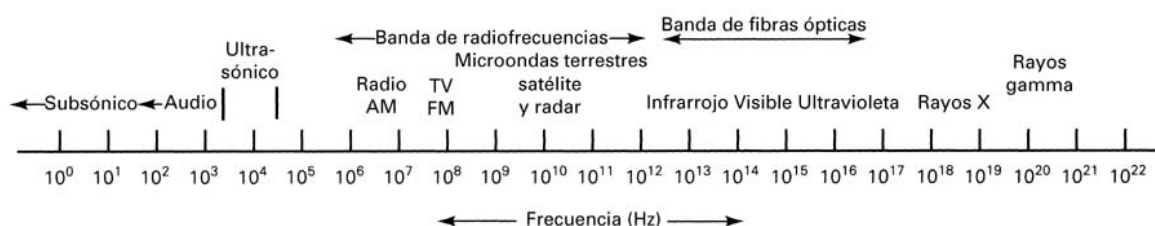


Imagen 36-Espectro electromagnético de frecuencias²⁰

3.4.2 Frecuencias de transmisión

El espectro electromagnético de frecuencias completo, donde se expone los lugares aproximado de varios servicios, se ve en la imagen 26. Este espectro de frecuencia oscila desde las subsónicas hasta los rayos cósmicos.

El espectro de frecuencias se fragmenta en bandas o subsecciones. Cada banda posee una denominación y sus límites. Las frecuencias justas establecidas a transmisores determinados que funcionan en varios tipos de servicios se renuevan en forma constante, para cumplir con los requisitos de comunicaciones en un país.

El espectro completo provechoso de radiofrecuencias (RF) se clasifica en bandas de frecuencia más estrechas, a las proporcionan nombres y números descriptivos, y algunas de ellas se ramifican a su vez en múltiples clases de servicios. Las denominaciones de banda de acuerdo al Comité consultivo internacional de radio (CCIR) se expresan en la tabla siguiente:

Número de banda	Intervalo de frecuencias	Designación
2	30 Hz-300 Hz	ELF (frecuencias extremadamente bajas)
3	0.3 kHz-3 kHz	VF (frecuencias de voz)
4	3 kHz-30 kHz	VLF (frecuencias muy bajas)

²⁰ fortiz.8k.com

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

5	30 kHz-300 kHz	LF (bajas frecuencias)
6	0.3 MHz-3 MHz	MF (frecuencias intermedias)
7	3 MHz-30 MHz	HF (frecuencias altas)
8	30 MHz-300 MHz	VHF (frecuencias muy altas)
9	300 MHz-3 GHz	UHF (frecuencias ultra altas)
10	3 GHz-30 GHz	SHF (frecuencias super altas)
11	30 GHz-300 GHz	EHF (frecuencias extremadamente altas)
12	0.3 THz-3 THz	Luz infrarroja
13	3 THz-30 THz	Luz infrarroja
14	30 THz-300 THz	Luz infrarroja
15	0.3 PHz-3 PHz	Luz visible
16	3 PHz-30 PHz	Luz ultravioleta
17	30 PHz-300 PHz	Rayos X
18	0.3 EHz-3 EHz	Rayos gamma
19	3 EHz-30 EHz	Rayos cósmicos

Tabla 2 Designación de banda CCIR

Frecuencias extremadamente bajas: denominadas ELF (extremely low frequencies). Son aquellas que se hallan en el intervalo de 30 a 300 Hz, es el rango de señales de distribución eléctrica (60 Hz) y las de telemetría de baja frecuencia.

Frecuencias de voz: VF (voice frequencies). Son aquellas que se encuentran en el intervalo de 0.3 a 3 kHz, y abarcan a las que comúnmente están ligadas a la voz humana. Los canales telefónicos ordinarios poseen un ancho de banda de 0.3 a 3 kHz, y con frecuencia se denominan *canales de frecuencia de voz, o canales de banda de voz*.

Frecuencias muy bajas: VLF (very low frequencies), son aquellas que se localizan en el intervalo de 3 a 30 kHz, que engloban al extremo superior del intervalo perceptible al oído humano. Las frecuencias muy bajas se emplean en algunos sistemas especiales, del gobierno y militares, es el caso de las comunicaciones con submarinos.

Frecuencias bajas: LF (low frequencies). Son aquellas que se encuentran en el intervalo de 30 a 300 kHz y se utilizan principalmente en la navegación marina y aeronáutica.

Frecuencias intermedias: MF (médium frequencies). Son las que se hallan en la zona comprendida entre 300 kHz y 3 MHz, y se utilizan esencialmente para emisiones comerciales de radio AM (535 A 1605 kHz).

Frecuencias altas: HF (high frequencies). Son señales comprendidas entre 3 a 30 MHz, con frecuencia denominadas *ondas cortas*. La mayor parte de las radiocomunicaciones doble sentido utiliza este intervalo, y la Voz de América y la Radio Europa Libre emiten en él. Igualmente, los radios aficionados y la banda civil (CB) aprovechan señales de frecuencias altas.

Muy altas frecuencias: VHF (very high frequencies). Son aquellas que se encuentran en el intervalo de 30 a 300 MHz, y son aplicables en radios móviles, comunicaciones marinas y aeronáuticas, difusión comercial en FM (de 88 a 108 MHz) y en la transmisión de televisión, en los canales 2 a 13 (54 a 216 MHz).

Frecuencias ultra altas: UHF (ultra high frequencies). Comprenden de 300 MHz a 3 GHz, y se aplican en las emisiones comerciales de televisión, en los canales 14 a 83, en los servicios móviles de comunicaciones de tierra, en servicios de telefonía celular y en comunicaciones militares.

Frecuencias super altas: SHF (superhigh frequencies). Son señales de la zona 3 a 30 GHz, donde está la mayor parte de las frecuencias que se emplean en sistemas de radiocomunicaciones por microondas y satelitales.

Frecuencias extremadamente altas: EHF (extremely high frequencies), abarcan de 30 a 300 GHz. Estas señales casi no son aplicables en radiocomunicaciones, los aparatos empleados establecer comunicación son más complicados, costosos y especializados.

Infrarrojo: es la sección comprendida entre 0.3 y 300 THz, y por lo común no se estima como ondas de radio. Infrarrojo en sentido general es una radiación electromagnética ligada al calor. Las señales infrarrojas son útiles en los sistemas de guía de cohetes con blancos térmicos, o con retrato electrónico y la astronomía.

Luz visible: son frecuencias electromagnéticas perceptibles al ojo humano, comprendidas entre 0.3 y 3 PHz. Las comunicaciones con ondas luminosas se emplean en los sistemas de fibra óptica, que han evolucionado significativamente hasta convertirse en un canal principal de transferencia en los sistemas electrónicos de comunicaciones.

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Rayos ultravioletas, rayos X, rayos gamma y rayos cósmicos: no se utilizan tanto en las comunicaciones electrónicas y por lo tanto no se definirán.

Cuando se utilizan ondas de radio es frecuente manejar unidades de longitud de onda en lugar de las de frecuencia. La longitud de onda es la distancia recorrida por el pulso entretanto que un punto realiza oscilación completa. La longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia de la onda, y directamente proporcional a su velocidad de

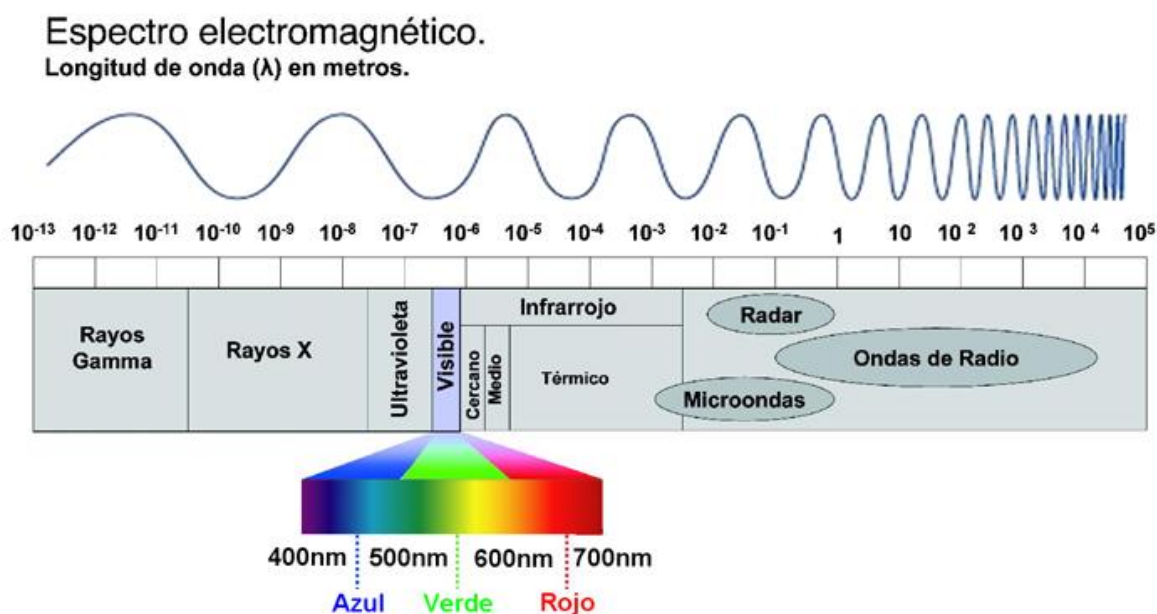


Imagen 37 Espectro electromagnético de longitud de onda

propagación. Se da la suposición de que la velocidad de propagación de la energía electromagnética en el espacio libre equivale a la velocidad de la luz 300 millones m/s. La expresión matemática que relaciona frecuencia, velocidad y longitud de onda se represente como se indica a continuación:

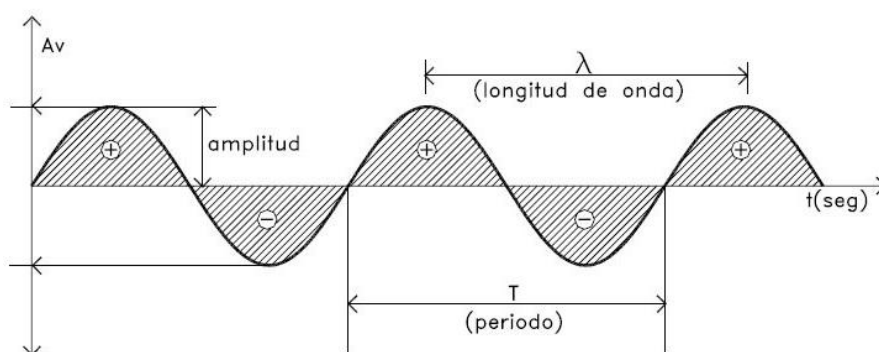


Imagen 38-Longitud de onda

$$\text{longitud} = \frac{\text{velocidad}}{\text{frecuencia}} \quad \lambda = \frac{c}{f} \quad f = \frac{1}{T}$$

Donde

λ =Longitud de onda (metro por ciclo)

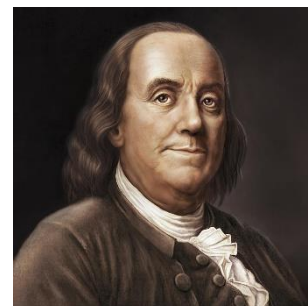
c =velocidad de la luz (300,000,000 metros por segundo)

f =frecuencia (Hertz)

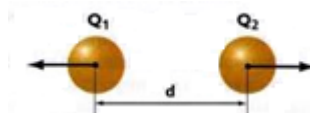
T =periodo (segundo)

3.4.3 Primeros experimentos y teorías con radiofrecuencia

Benjamín Franklin y su experimento de la cometa (1752). Para su ejecución, el científico estadounidense concibió una cometa que incorporaba estructura metálica unida a un hilo de seda. Lanzó a volar la cometa y demostró en poco tiempo cómo ésta atraía un rayo que chocaba contra el alambre metálico y cuya chispa descendía hasta la llave. De estos descubrimientos el inventor concluyó que: las cargas eléctricas positivas fluyen contrarrestando las negativas.



Charles Coulomb, el físico francés inventó en 1777 una balanza de torsión para medir las fuerzas eléctricas y fundó la expresión que une esta fuerza con la distancia. Con experimentos se ha establecido la ley física que lleva su nombre, que dice: la fuerza electrostática entre dos cargas eléctricas es proporcional al producto de las cargas puntuales e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa (ley de Coulomb 1780).



$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$$

Alessandro Volta, inventó en 1800 la primera pila eléctrica. Desde año 1881, se estableció como unidad de fuerza electromotriz de Sistema Internacional el Voltio, en honor al admirado científico italiano.

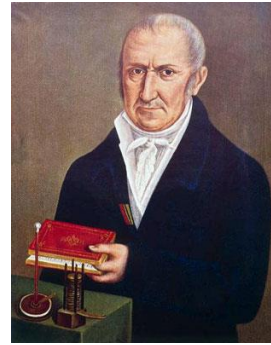


Imagen 39-La pila de Volta

En 1819 **Hans Christian Oersted** (1777-1851), descubre el electromagnetismo, cuando en un experimento para sus alumnos, se dio cuenta del movimiento de aguja de la brújula que colocó accidentalmente cerca de un cable. Esta revelación fue decisiva en la evolución de la electricidad y supuso una primera aproximación entre el magnetismo y la electricidad. La unidad de medida de la Reluctancia Magnética es Oersted.

En 1820 André Marie Ampere, prosiguió los estudios de Oersted, el físico-matemático francés inventó una bobina logrando la magnetización. La fórmula que nos permitir obtener los campos magnéticos a partir de las corrientes eléctricas, es la Ley de Ampere, descubierta en 1826 y que establece lo siguiente: el movimiento de un campo magnético a lo largo de una línea cerrada es igual al producto de μ_0 por la intensidad total que atraviesa el área limitada por la trayectoria.



$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \cdot i$$

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

En 1927 **Georg Simon Ohm** (1789-1854), en sus investigaciones descubrió una de las



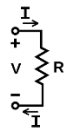
importantes leyes de la corriente eléctrica, que actualmente se conoce como Ley de Ohm. Esta Ley enuncia que: la corriente que fluye por un circuito eléctrico cerrado, es directamente proporcional a la tensión que tiene aplicada e inversamente proporcional a

la resistencia que ofrece a su paso la carga que tiene conectada.

○ $V = R \cdot I$

○ $I = \frac{V}{R}$

○ $I = \frac{V}{R}$



- Las unidades en el sistema internacional, para estas magnitudes son respectivamente, voltios (V) en honor a Alessandro Volta, amperios (A) debido a Andre Marie Ampere y ohmios (Ω) en honor Simon Ohm.

En 1831 **Michael Faraday** realizó una serie experimentos demostrando que un campo



magnético cambiante podía originar una corriente eléctrica, utilizó un imán en movimiento y observando la corriente inducida en un hilo próximo. Como resultado de sus investigaciones descubrió la ley que lleva su nombre, la Ley de inducción electromagnética de Faraday que postuló: el voltaje que se le induce a un circuito cerrado es directamente proporcional a la velocidad con que cambia en el tiempo

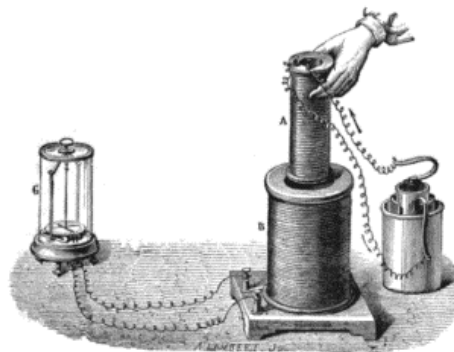


Imagen 40-Experimento de Faraday

el flujo magnético que atraviesa una superficie cualquiera, teniendo como limite a propio circuito.

$$\oint_c \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_s \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

Joseph Henry, como Faraday, Henry se interesó por el trabajo de Oersted, es el descubridor del principio de la inducción electromagnética, pero demoró tanto en anunciar los resultados de su trabajo y le anticipó Michael Faraday. Pero si es reconocido como descubiertos del fenómeno de la autoinductancia, que publicó en 1832.



- La unidad de inductancia en Sistema Internacional es henrio en honor a Henry.
- Estudió y perfeccionó el electroimán, descubierto en 1823 por el británico William Sturgeon.
- Hacia el año 1831 inventó el primer telégrafo, mejoró su invento en 1835 para que fuese usado a las largas distancias. Pero Henry no patentó su trabajo. Fue Samuel Morse, quien instaló la primera línea telegráfica en 1839 entre Baltimore y Washington, con la financiación del congreso de los EE.UU.
- En sus investigaciones, Joseph Henry descubrió que con un circuito de descargar podía imantar agujas situadas en el sótano, dos pisos más abajo. Empleando el hilo de forma vertical detectó rayos a una distancia de unos 12 Km.

3.4.4 James Clerk Maxwell

James Clerk Maxwell es conocido como el físico que desarrolló la teoría electromagnética clásica, resumiendo todas las anteriores teorías, investigaciones y leyes sobre la electricidad, magnetismo e incluso sobre óptica, en una teoría consistente. El físico escoces demostró en sus ecuaciones que la electricidad, el magnetismo hasta la luz inclusive, son fenómenos de la misma naturaleza: el campo electromagnético.



- En su obra *Treatise on Electricity and Magnetism* (1873) manifestó que su principal trabajo consistía en demostrar matemáticamente las ideas físicas descritas hasta entonces de forma únicamente cualitativa, como los principios de inducción electromagnética y de los campos de fuerza, expuestos por

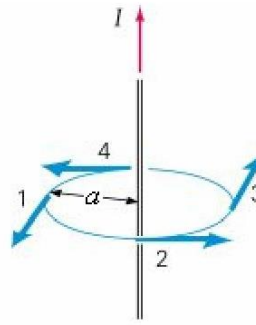
DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Faraday. Con esta finalidad, el físico introdujo la concepción de onda electromagnética, que proporciona una descripción matemática apropiado de interdependencia de la electricidad y el magnetismo por medio de sus famosas ecuaciones que detallan y cuantifican los campos de fuerzas. Su trabajo sugirió la posibilidad de engendrar ondas electromagnéticas en el laboratorio, hecho que fue corroborado por Heinrich Hertz años posteriores de la muerte del célebre físico, y que más tarde supuso el comienzo de desarrollo de sistema de comunicación veloz a distancia.

- Ampere en sus observaciones dedujo que:

Ley de Ampère

La integral de línea de $\mathbf{B} \cdot d\mathbf{l}$ alrededor de cualquier trayectoria cerrada es igual a $\mu_0 I$, donde I es la corriente estable total que pasa a través de cualquier superficie delimitada por la trayectoria cerrada.



$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint B dl = B \oint dl = B l$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} 2\pi a = \mu_0 I$$

Esto se cumple siempre y cuando las corrientes fuesen continuas.

Maxwell había demostrado que esta ley se podía extender sin excepciones, incorporando las corrientes discontinuas. Hecho que le condujo a introducir lo que llamó corrientes de desplazamiento Maxwell.

$$I_d = \epsilon_0 \cdot \frac{d\phi_E}{dt}$$

Donde ϕ_c es el flujo que atraviesa la superficie de contorno C. La ley de Ampere queda deducida de forma generalizada de la siguiente manera:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_o \cdot (I + I_d) = \mu_o \cdot I + \mu_o \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{d\phi_E}{dt}$$

Un ejemplo son los condensadores. En la superficie S_1 atraviesa la corriente I pero en la superficie S_2 que posee el mismo contorno, por ella no atraviesa ninguna corriente. Por tanto, no se satisface la frase de la ley de Ampere: "la corriente que circula en un área cualquiera que encierra un contorno C ".

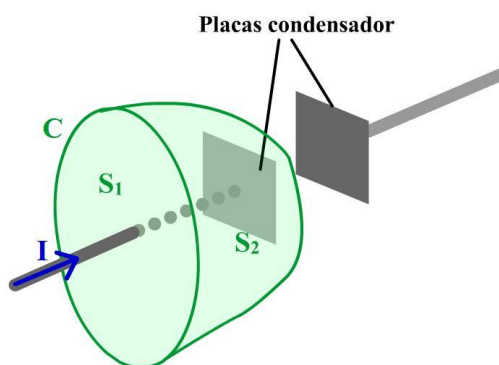


Imagen 41-Condensador

Si en este momento se aplica la corriente de desplazamiento de Maxwell a la Figura y se considera la corriente generalizada como $I_g = I + I_d$ de acuerdo a lo que se ha visto, debe atravesar la misma corriente generalizada cualquier área delimitada por la curva C . De este modo la corriente generalizada tiene que cruzar el área S_1 como el S_2 ya que ambos poseen el mismo contorno C . Si en la entrada del volumen formado por las superficies S_1 y S_2 atraviesa una corriente neta I , en la salida de dicho volumen deberá existir una corriente de desplazamiento I_d .

3.4.4.1 Las ecuaciones de Maxwell

Una vez ampliada la ley de Ampere, Maxwell concluyó que las leyes empíricas de la electricidad y del magnetismo de (Gauss, Biot y Savart, Ampere, y Faraday), podían resumirse matemáticamente en lo que se llamó como ecuaciones de Maxwell.

Las ecuaciones de Maxwell coordinan los campos eléctricos $\vec{E}$ y $\vec{B}$ con sus fuentes. Al comienzo se puede resolver cualquier, sea eléctrico como magnético, mediante éstas ecuaciones.

- Esta ecuación se basa en la ley de Coulomb y trabaja con la ley de Gauss, que explica como las líneas de campo eléctrico convergen en las cargas negativas y divergen en las positivas.

$$\oint_S \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \frac{q}{\epsilon_0}$$

- b) La siguiente ecuación es la ley de Gauss para el magnetismo, en la que establece la no existencia de monopolos magnéticos, fundando que las líneas de campo son cerrados, decir no tienen ni principio ni fin.

$$\oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$$

- c) Esta ecuación no es más que la ley de Faraday, que expone como las líneas de campo eléctrico rodean cualquier superficie a través de la cual existe un flujo magnético variable y relaciona el campo $\vec{E}$ con la variación de campo $\vec{B}$.

$$\oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

- d) Esta ley explica como rodean las líneas de campo magnético a una superficie a través de la cual está pasando una corriente o existe un flujo eléctrico variable.

$$\oint_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \mu_0 \cdot I + \mu_0 \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{d\phi_E}{dt} = \mu_0 \cdot I + \mu_0 \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{d}{dt} \int_C \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S}$$

- e) Fuerza de Lorentz, que muestra las fuerzas de que un campo magnético y/o puede ejercer sobre corrientes o cargas en movimiento.

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} + q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

3.4.5 Heinrich Rudolf Hertz

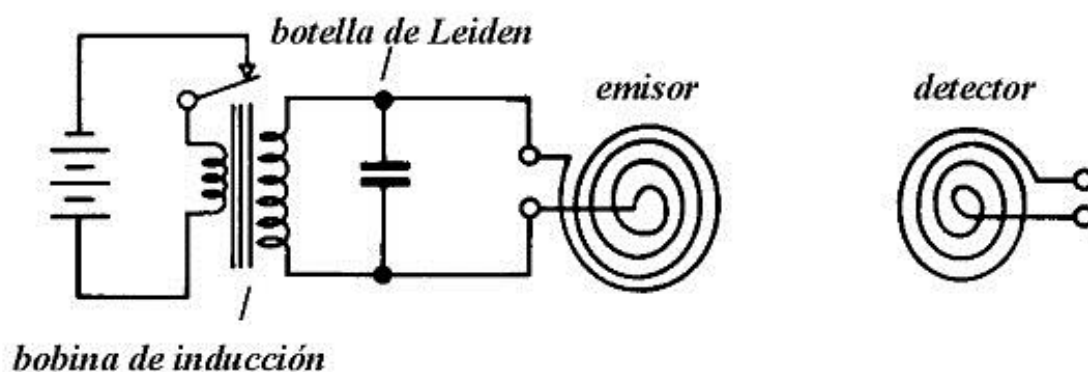
Heinrich Rudolf Hertz esclareció la teoría electromagnética de la luz, que formuló el físico británico James Clerk Maxwell en el año 1884.

- Manifestó que la electricidad puede radiarse en forma de ondas electromagnéticas, las cuales viajan a la velocidad de la luz y poseen además muchas de sus propiedades.
- Y en 1887 observó que el arco que bota entre dos electrodos conectados a alta tensión escapa a largas distancias cuando se irradia con luz ultravioleta que cuando se deja en la oscuridad. Hertz demuestra básicamente que los electrones de una superficie pueden alcanzar de ella si obtienen la energía suficiente proporcionada por luz de

longitud de onda lo suficientemente corta. Dicho fenómeno es conocido como efecto fotoeléctrico.

3.4.5.1 Experimento de Hertz

En uno de sus trabajos empleó un alambre envuelto en espiral (emisor o resonador) enlazado a un circuito oscilante (constituido de una botella de Leiden y una bobina de inducción). Las oscilaciones generadas por este dispositivo (ondas electromagnéticas) se detectaban por otro alambre con la misma disposición (detector) que en sus puntas tenía acopladas dos pequeñas esferas muy cercanas, aisladas por el aire. Cada vez que se generaba una oscilación en el emisor, en el detector botaba una chispa entre las dos esferas.



Experimentos con bobinas e espirales, Hertz c. 1886.

Imagen 42-Experimentos con bobinas espirales

Esta era la certeza de la presencia de las ondas electromagnéticas (ondas hertzianas) que hasta entonces nadie había demostrado y al mismo sus observaciones sirvieron para ilustración práctica de las ecuaciones de Maxwell.

Hertz manejó distintas configuraciones de resonadores y detectores en sus trabajos y también empleó reflectores parabólicos en los mismos.

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

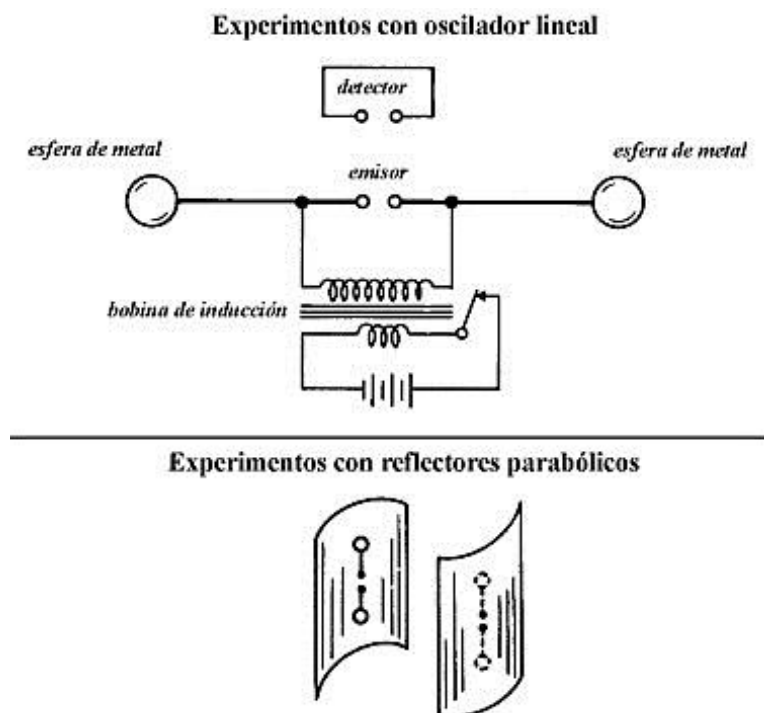


Imagen 43-Experimentos con oscilador lineal y experimentos con reflectores parabólicos

Hertz prosiguió sus investigaciones sobre las ondas electromagnéticas, calculando la longitud y velocidad de éstas, a su vez comprobó que se podían someter a refracción y reflexión y que al mismo tiempo eran capaces de cruzar ciertos materiales.

- El físico y médico francés, observando los cambios de conductividad eléctrica de los metales en diferentes estados, contempló un fenómeno insólito: las limaduras de diversos metales, bajo influencia de ondas hertzianas disminuían notablemente su resistencia eléctrica. Dicho suceso conllevó al invento del ‘cohesor’

Edouard Branly y algunas de las herramientas empleadas en sus investigaciones

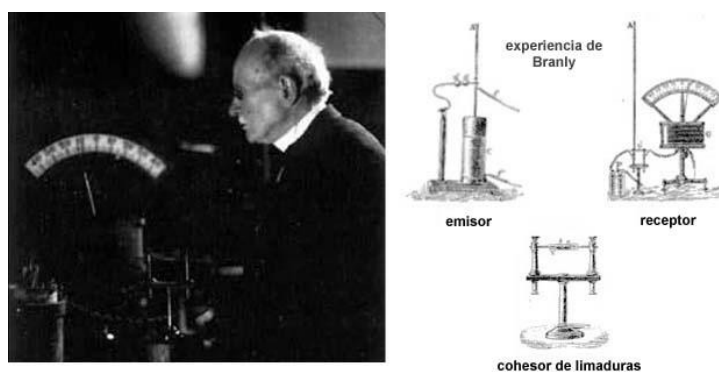


Imagen 44-Las herramientas de Edouard Branly

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

- El cohesor se componía de un tubo aislante de escasos centímetros de longitud, repleto de limaduras metálicas y con un terminal conductor cada brazo. Las limaduras en su estado normal presentan una alta resistencia al cruce de la corriente, normalmente próximo al megaohmio. Cuando el cohesor detectaba entre sus contactos la excitación de una señal alterna bastante potente, la resistencia caía de forma brusca, a sólo unos escasos ohmios. Desde este instante, el cohesor se mantenía en estado de conducción hasta que las limaduras eran agitadas mediante un golpe sobre el tubo contenedor.

Circuito empleado para accionar el cohesor

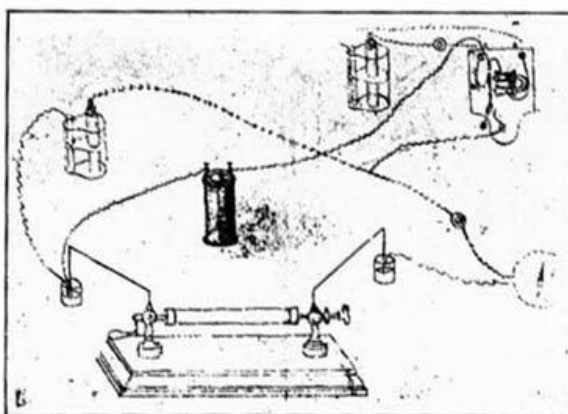


Imagen 45-Experimentos de Edouard Branly

Edouard Branly se dedicó al estudio de este fenómeno. Metía limaduras de níquel y de hierro en tubos aislantes acabados en los dos extremos con terminales metálicos, y los acopló en serie con instrumento de medida y una batería.

Oliver Joseph Lodge, gracias a los descubrimientos de Edouard Branly, logró construir un dispositivo para detectar las ondas de radio, que se llamaba cohesor, y que fueron utilizados en los primeros receptores de telegrafía sin hilos.

Como resultado de sus estudios de la resonancia eléctrica, en 1897 patentó varios sistemas de circuitos de resonancia utilizados en la transmisión y detección de señales, entre emisor y receptor.

3.4.6 Guillermo Marconi

Guillermo Marconi siendo joven consiguió transformar un experimento científico en un sistema útil de comunicación radiotelegráfica, dando el cimiento de la radiotelefonía y el radar, la televisión y radiodifusión. Realizó sus trabajos en un laboratorio de poco equipamiento científico que había construido en el desván de la casa de campo familiar.



- Fue un aficionado a la teoría de las ondas electromagnéticas, aprovechó los trabajos de Hertz y los circuitos resonantes de Edourd Blarly para encarar con éxito la posibilidad de las comunicaciones radioeléctricas.
- En 1894, en una finca familiar en Ponchecchio, cerca de Bolonia, Guillermo Marconi empezó a llevar a cabo sus primeros trabajos, que dieron como resultado la construcción de un emisor y un receptor basado fundamentado en el modelo inventado por Hertz. En sus observaciones comprobó que era posible ampliar el alcance de las transmisiones que hacía, usando antenas verticales. Intentó, además, de perfeccionar la sensibilidad del oscilador y del receptor inalámbrico, aumentar su potencia y extender la distancia.
- En el otoño de 1895, luego de haber realizado muchos ensayos, consiguió que su transmisor alcanzara una distancia de 2 kilómetros e incluso atravesaba obstáculos naturales.
- El 12 diciembre de 1901 Marconi funda la primera comunicación transatlántico que conectaba Cornualles d Gran Bretaña y Terranova, en Canadá. Utilizando una frecuencia de 820 KHz (366 m). La energía del transmisor era 15 kW. La antena emisora era de un solo polo en abanico, sujetado por dos mástiles de 48 m separados 60 m. La antena receptora era un hilo metálico colgado de una cometa.
- El colaborador de Marconi, Jhon Ambrose Fleming, empleó por primera vez en 1904 una válvula termoiónica para detectar señales de radio.
- En 1905 las antenas evolucionaron hacia un solo polo piramidal, una estructura capacitiva con 200 radiales, a una altura de 60 m en el lado canadiense y a 70 KHz en Gran Bretaña.

- En 1906 Marconi calculó el primer diagrama de emisión de una antena de hilo paralela al suelo. Dicha antena es la pionera de las modernas antenas de onda rómicas, progresiva y V.

El desarrollo del tríodo, en 1907 por Lee De Forest, hizo posible la construcción de amplificadores de radiofrecuencia, moduladores, osciladores y el mejoramiento de los receptores al componer las válvulas con los circuitos resonantes.

A partir de los años 1910 a 1919, este periodo se caracteriza por el desarrollo de grandes antenas de alta potencia y baja frecuencia. En 1911 se construye las antenas de Radio Virginia, en Arlington, a la frecuencia de 137 KHz con un transmisor de potencia 100 kW.

- Cabe destacar también la antena consistente en un monopolo con una altura de 150 m, una carga capacitiva de 1200 m de diámetro, obra realizada por Marconi en New Jersey, la estructura estaba soportada por trece mástiles.
- A mediados de la segunda década del XIX Marconi realizó una serie de estudios con señales de longitud de onda 2 y 3 metros, empleando reflectores parabólicos cilíndricos, hechos con hilos verticales. Los resultados de los experimentos recomendaron el uso de frecuencias de HF, dichas investigaciones conllevaron a los investigadores al descubrimiento de los enlaces troposféricos en 1932.
- En esta misma etapa se mejoraron las técnicas de navegación, las comunicaciones con submarinos sumergidos y los sistemas de control distancia.
- Tras el descubrimiento del tríodo, comenzaron los experimentos de radiodifusión. Y en la primera década del siglo XIX, se transmitió las primeras señales de voz, y durante la década siguiente se emisionen de música en New Rochelle de New York diariamente.

3.4.7 Inicios de la radiodifusión

3.4.7.1 Radiodifusión

Las emisiones por radiodifusión se inician en Pittsburgh, de la estación KDKA en los años 20. En Europa dos años más tarde la BBC emitió su primer programa no experimental. A partir de 1924 España ya contaba con la primera emisora de radio, la de Barcelona que fue inaugurada el 24 de octubre del mismo año. En 1925 ya había más de 550 emisores de ondas medias.

Las antenas de radiodifusión que utilizaban en esta época eran muy similares a las empleadas para comunicaciones punto a punto, pero no tardaron en evolucionar hacia el radiador de media onda, que brindaba la ventaja de la cobertura multidireccional.

Los receptores superheterodinos, creados por Edwin Howard Armstrong, se hicieron realidad gracias a los tubos electrónicos. Los receptores tenían como antenas la red eléctrica y como masa los conductos de agua, pero evolucionaron rápidamente hacia las antenas en forma de T y piquetas de más.

Los comienzos de la televisión se remontan a las investigaciones de Jhon Logie Baird, a finales de los años 20. Se emitió imágenes de 30 líneas en sistemas de radio onda media. A mediados de los años 30 la BBC comenzó la transmisión de televisión, usando sistemas electrónicos y mecánicos. Rápido se demostró el predominio de los sistemas electrónicos. Durante los años 40 se expuso las ventajas de incrementar la frecuencia (VHF) y el ancho de banda. A partir de 1946 la televisión extiende significativamente. Edwin Howard Armstrong utilizó la modulación de frecuencia en la banda de VHF para demostrar el mejoramiento de sonido en la emisión de señales de radio.

3.4.8 Comunicaciones

En 1923 aparecen las antenas de hilo o de Beverage, bautizada con ese nombre en honor a su constructor, son de onda progresiva. Esta antena está constituida por un hilo de diversas longitudes de onda terminado con una carga. El hilo y el suelo constituyen una línea de transmisión con una impedancia característica expresada en función del diámetro del hilo y de la distancia al suelo. Se utilizó para un sistema de comunicaciones entre Escocia y Long Island.

En 1931 se establece una conexión entre Gran Bretaña y Francia, empleando antenas reflectoras a 1760 megahercios. Marconi calculó sobre el Mar Mediterráneo el alcance sobre el mar de una transmisión a 500 megahercios, hallando que se podían detectar señales a un trayecto igual cinco veces el alcance visual, hallando lo que más tarde se conocería como enlaces troposféricos.

3.4.8.1 Las comunicaciones espaciales

En los últimos años las antenas para comunicaciones espaciales han evolucionado mucho, siendo la ESA (la Agencia Especial Europea) y la NASA (Agencia Especial Norteamericana) los líderes de los avances en dicha materia.

Las antenas han experimentado un gran avance desde las de cobertura global, hasta los satélites no estabilizados, hasta las de gran ganancia en los satélites en geoestacionaria.

Esas antenas deben ser de banda ancha, con bajos lóbulos, de ganancia eminente, y además en los últimos momentos se está exigiendo que se diseñe con posibilidad de configuración, con haces que se controla desde tierra, con haces conformados.

Se cuenta con nuevas que posibilitan el lanzamiento de satélites con grandes antenas, que se basan en dos conceptos: antenas hinchables y antenas desplegables.

También se ha diseñado nuevas técnicas para construir los paraboloïdes con altas tolerancias y menos peso, como la tecnología de la fibra de carbono.

Las antenas utilizadas son esencialmente reflectores, con varios alimentadores en el plano focal, con sistemas de distribución pasivos. La tendencia existente va hacia enormes agrupaciones activas, con total control de la amplitud y de las fases de todos los elementos del array.

3.4.9 Navegación

3.4.10 Radar

3.4.11 Las antenas

En la década de los 30, el avance más considerable fue el invento de la ranura resonante. A finales de este periodo A.D. Blumlein patentó un cilindro en forma de ranura excitado por una espira, o bien mediante la conexión directa de una línea formada por dos hilos a los extremos de la ranura. La polarización es perpendicular al tamaño mayor de la ranura. Se sugirió una asociación lineal de ranuras. También se descubrió los efectos de la carga capacitiva paralelo e inductiva serie.

Los progresos en los generadores de señal hicieron posible el uso de los reflectores insinuados el siglo anterior. Marconi construyó una línea de 25 Km entre el Vaticano y Castelgandolfo con antenas parabólicas alimentadores coaxiales, a la frecuencia de 600 MHz. Cabe también desde el punto de vista teórico mencionar el análisis de las antenas cilíndricas elaborado por Halle en 1938 y King en 1937. La formulación completa presentada se sigue empleando en la actualidad.

En el periodo de la Segunda Guerra Mundial se dedicó un esfuerzo considerable en el desarrollo de antenas de microondas, para utilidad a los sistemas radar.

En esta época se pudieron ya utilizar los reflectores, bocinas, lentes, diseñados a finales del siglo XIX, para exponer las teorías de Maxwell. Durante esta etapa se emplearon las guías de onda abiertas para la alimentación de reflectores o lentes, y bocinas como radiadores escasos directivos. También se desarrolló las bocinas con dos modos para el control de la distribución de campos en la apertura. Se construyeron variaciones del reflector parabólico, como sectores o cilindros. Las antenas "cheese" o "pillbox" se crearon en el periodo de la guerra. Para configurar el haz en forma cosecante deformaron los paraboloides o se emplearon diversos alimentadores.

Se diseñó arrays de orientaciones ranuradas, en la cara ancha o en la cara estrecha, con diseños resonantes o de onda progresiva, para proveer de energía a los cilindros parabólicos. También se diseñó arrays planos de direcciones ranuradas. En la década de los 40 se desarrolló lentes de placas metálicas paralelas para enmendar el error de fase de las bocinas. También se estudió las lentes dieléctricas. Las antenas polyrod se emplearon como radiadores para un array plano fijo (14x3), con barrido controlado por desfasadores mecánicos.

El periodo de la Posguerra se distingue por los avances en las ranuras, espiras y dipolos. Varios desarrollos fueron el cilindro ranurado, la espira resonante de Alford, la antena dipolo-ranura, la espira de cuadro de Orr. En los aviones se utilizaron las ranuras sobre el fuselaje y la antena modelo "notch". La Unión Soviética desarrolló las ranuras circulares.

Se invirtió un gran esfuerzo a los sistemas de reflectores con barrido mecánico o electrónico. Sobresale el reflector de forma teórica, reflectores con láminas polarizadoras ya los arrays retrodirectivos como el de Van Atta. En 1946 John D. Kraus descubrió la antena hélice, en la Universidad de Ohio State. Se destinó a la construcción de un radiotelescopio en 1951. La banda de actividad era de 200 a 300 MHz.

Uno de los progresos más destacados de la época lo constituyó el desarrollo de las antenas independientes de la banda ancha y la frecuencia. Rumsey fundó la teoría de que la impedancia y diagrama de una antena serán independientes de la frecuencia si la antena está determinada por ángulos. La antena espiral plana y más tarde cónica fueron construidas por John D. Dyson. En la universidad de Illinois Raymond DuHamenl y Dwight Isbell inventaron un nuevo modelo de antena con características logo-periódicas. El primer array

logo-periódico de dipolos fue construido por D. Isabell en 1960. En 1961 los cálculos de dichas antenas fueron sistematizados por Carrel.

3.4.11.1 *Los avances recientes*

Muchos de los progresos están vinculados con el empleo de los ordenadores para el cálculo.

La transformada rápida de Fourier o FFT. La radiación emitida por una apertura se puede computar como la transformada de Fourier de los campos en la apertura. No siempre es posible obtener dicha transformada de una forma analítica. El tiempo dedicado en el cálculo directo de la integral es excesivo. El algoritmo de la Transformada Rápida de Fourier hace posible la reducción de forma drástica dicho tiempo.

Actualmente se ha desarrollado la técnica denominada Teoría Geométrica de la Difracción (GTD) que posibilita analizar el efecto en los campos radiados debido a los vértices y bordes. Complementa al método de Kirchhoff.

Espectro Angular de Ondas Planas (PWS). Se fundamenta en la expansión modal de los campos en el dominio espectral. El uso del algoritmo de la Transformada Rápida de Fourier (FFT en inglés Fast Fourier Transform) posibilita reducir el tiempo de cálculo. Se puede utilizar en problemas de dirección.

El método de los Momentos. Es un procedimiento numérico que permite el análisis de antenas, por medio de la discretización del problema, y la resolución del sistema de ecuaciones resultante. Diversos programas (*MININEC*) y (*NEC*) utilizan dicho procedimiento para el cálculo de la difracción y radiación de antenas de hilo.

3.4.11.2 *Arrays de barrido de fase*

En los arrays de barrido de fase se puede realizar el control del diagrama de radiación por medio de control de la fase de cada una de las antenas que lo componen. Los postreros avances en este tipo de antenas se han producido en todos los campos tecnológicos. Específicamente se pueden citar:

- Mejoramiento de los desfasadores y divisiones de potencia en las redes de distribución.
- Uso de microprocesadores para el control perfecto de la fase y amplitud para lograr un diagrama con unas características determinadas.

- Mejoramiento de los procedimientos de análisis, concretamente en lo que afecta recíprocamente los elementos de la agrupación ya la cuantización de la fase debido a los desfasadores digitales.
- Desarrollo del método de agrupamiento adaptivo, que son idóneos de maximizar de señal a interferencia, o bien colocar nulos en las direcciones del espacio en las que hay interferencias.
- Mejoramiento en la tecnología de circuitos integrados de microondas, amplificadores con menos ruido, amplificadores de potencia y circuitos monolíticos, que posibilita la realización de antenas distribuidas.
- Exposición de nuevas técnicas de fabricación, como la de las antenas microstrip, que posibilitan la fusión de las antenas con la circuitería, así como arrays conformables.

3.4.11.3 Antenas adaptivas

La terminación antena adaptiva es aplicada a los arrays que poseen la capacidad de realizar ajustes en su diagrama de forma predefinida, dependiendo de las amplitudes y fases tomadas desde fuentes externas. El ejemplo más peculiar de una antena adaptiva es la llamada SLC (Sidelobe Canceller Antenna), que acomoda el diagrama de forma que aparece un nulo en la dirección de la interferencia o jammer. El modelo de antena mencionado posee las siguientes características, es una antena de ganancia elevada y varias antenas secundarias con un diagrama prácticamente multidireccional. El número de antenas adjuntas delimita la totalidad de interferencias que se pueden cancelar. Otro modelo es el llamado SLB (sidelobe blanking antenna). En este caso se hace una comparación de la señal recibida a través de la antena principal y la antena adjunta. El receptor se desconecta cuando la señal que llega es mayor en el canal auxiliar.

Los algoritmos matemáticos asociados con las antenas adaptivas son relativamente complicados. La puesta en funcionamiento se puede hacer en forma digital o analógica, aunque últimamente se implantando la tecnología digital.

El propósito básico actual es la disminución de los tiempos de convergencia de los algoritmos y la consecución de arrays superdirectivos, con una gran potencia de resolución.

3.4.11.4 Antena de apertura sintética

Se llama apertura sintética al criterio que permite simplificar un array de amplias dimensiones a partir de movimiento lineal de una antena relativamente pequeña, acarreada por un avión o un satélite.

La apertura es sintetizada, ya que en realidad es inexistente. Se consiguen anchos de haz muy estrechos, ganancia elevada y por consiguiente una alta resolución a partir de una antena pequeña.

Los datos que se obtiene deber ser procesados posteriormente. En tiempos pasados el procesamiento se llevaba a cabo mediante el procesamiento óptico de la información, en la actualidad se aplica el procesamiento digital.

Se pueden obtener una elevada resolución mediante métodos de focalización y por medio de procedimiento de compresión de pulsos.

Los usos más significativos que se le dan, son la realización de mapas y la detección de recursos naturales.

3.4.11.5 Antenas de bajos lóbulos

En diversas aplicaciones se necesita que la antena goce de un nivel de lóbulo principal a secundario extremadamente bajo. El parámetro citado es vital en antenas de radar, a fin de disminuir los efectos del clutter, pero sobre todo para reducir las posibles interferencias o jammer. Una antena con lóbulos bajos, en aplicaciones de comunicaciones permite que se utilice frecuencias iguales en dos satélites.

En años no muy lejanos se ha podido construir antenas con márgenes entre 40 y 50 dB, mientras que hace poco se consideraba que una antena con 30 dB de relación de lóbulo principal era excelente.

Los puntos claves que han hecho posible dichos progresos han sido el cálculo numérico, teniendo en cuenta los recíprocos efectos y los métodos avanzados de producción, con tolerancias muy rigurosas en la construcción del reflector o del array.

3.4.11.6 Antenas Inteligentes

La teoría contemporánea de las antenas inteligentes no es nueva. Este sistema fue utilizado durante muchos años en la guerra electrónica (EWF) para paliar el espionaje

electrónico. En Los medios de radares militares se utilizaron ya técnicas semejantes durante la Segunda Guerra Mundial.

El interés por las antenas inteligentes surge probablemente por el hecho de que para muchos de los operadores el incremento de la capacidad y la eficiencia del espectro, no ha sido un tema inquietante. También con el aumento del número de usuarios, las radio bases necesitarán de la ubicación de los mismos, y por ende el gasto en la computación será enorme o que sólo recientemente, ya hay disponibles procesadores con bastante capacidad. Sin embargo, el verdadero motivo está en que esta técnica presenta un aumento importante de la capacidad de los sistemas, además de otras múltiples ventajas en las redes móviles que incorporar un incremento en el ancho de banda, un nivel más elevado de seguridad, y la facultad de nuevas prestaciones.

Uno de los motivos fundamentales para el uso de sistemas de antenas inteligentes, es el crecimiento rápido que se ha experimentado recientemente en la demanda de las comunicaciones móviles.

Las antenas de la estación base poseen un comportamiento multidireccional o sectorizado. La radiación en otras direcciones, de la energía que procede de la estación base, que, hacia el usuario, puede considerarse como un despilfarro de potencia. Además, se notará también, las radiaciones emitidas por otros usuarios como interferencia. El propósito de las antenas inteligentes es emplear antena en las estaciones base con lóbulos que no sean inmóviles, sino más bien cambiantes, ajustados a las situaciones de la telefonía celular actual.

Los sistemas de antenas inteligentes ofrecen las siguientes ventajas: aumentar la capacidad del sistema, control de potencia, ofreciendo calidad de servicio y una duración considerable de las baterías de las unidades portátiles, para caso de comunicaciones móviles.

Se definiría a la antena inteligente a la unión de un arrays (arreglo de antenas) con una unidad de DSP (Procesamiento Digital de señales), que ajusta los diagramas de transmisión y recepción dinámicamente en respuesta a una señal de interés en el entorno. Es aquella que, en lugar de disponer de un diagrama de radiación inmóvil, es capaz de originar

o seleccionar haces muy directivos orientado hacia el usuario deseado, e incluso acondicionarse a las situaciones radioeléctricas en cada instante.²¹

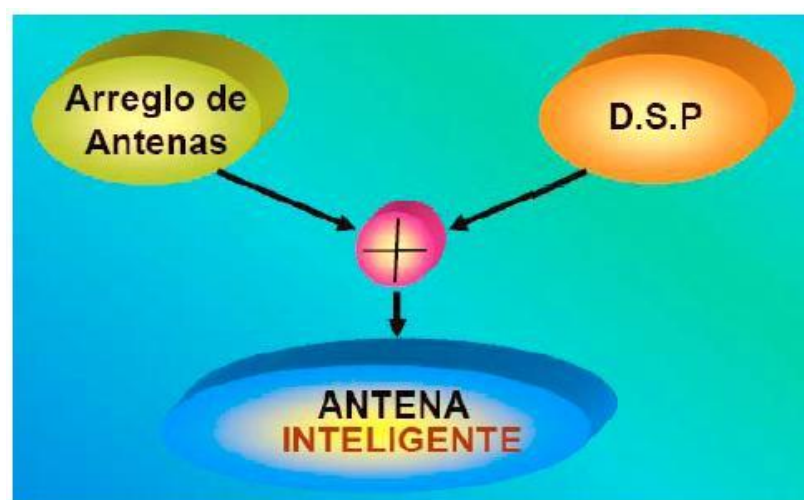


Imagen 46-Componentes básicos de antenas inteligentes

3.4.11.6.1 Funcionamiento de las antenas inteligentes

La regla básica de funcionamiento de las antenas inteligentes es que cada antena toma una señal independiente y definida. El receptor puede utilizar una señal para perfeccionar la calidad de otra señal, o podría unir los datos de varias señales para aumentar el ancho de banda, dependiendo de la configuración del sistema inalámbrico.

La señal que toman las antenas es una señal de radiofrecuencia (RF) no procesada. Esta radio frecuencia se dirige en principio a circuitos que la manipulan como una señal analógica, tal como una radio. Ciertos dispositivos con antenas inteligentes superponen sus concepciones inteligentes en esta fase analógica. Luego del procesamiento inicial, la radio frecuencia se transforma en una señal digital que después se manda al dispositivo host como una serie de datos. Gran parte de los dispositivos que utilizan las antenas inteligentes superponen sus concepciones inteligentes en éstas en coordinación con circuitos digitales.

En cuanto a las variaciones debidas a la inclusión de las antenas inteligentes en sistema de comunicación móvil, por ejemplo, se supondrá una disminución en la cantidad de estaciones base necesarias para brindar de cobertura a una zona de servicio y un incremento en la cantidad de usuarios que puede atenderse. Por otra parte, es necesario determinar y cuantificar un conjunto de parámetros que caractericen los servicios de la

²¹ Antenas Inteligentes con Aplicación en SDMA, H. Campanella, A. Comas, Y. Alba
Vicente Mbogo Ndong Okomo

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

antena inteligente en diferentes entornos para poder escoger el esquema de conformación más adecuado en cada caso.

Las antenas inteligentes (Smart antenas), se distinguen de las antenas tradicionales ya pueden operar de dos modos:

- 1) Modo omnidireccional. En este estado el funcionamiento de la antena es semejante a las antenas convencionales, es decir, la emisión de la señal se hace con la misma intensidad hacia todas las direcciones.
- 2) Modo direccional. En esta disposición la antena realiza la emisión de señal en una sola dirección y con un cierto ángulo de apertura. El resultado de transmitir en este modo se traduce en un mayor alcance hacia la ruta donde bombardea señales la antena debido a que ésta centraliza todo su espectro energético en un rango de sinfonía mucho menor.

3.4.11.6.2 Tipos de alcances

Según en el estado en que opera la antena, su alcance será uno u otro. Si la antena funciona en disposición direccional su alcance será superior que, si lo hace en modo omnidireccional ya que, en este caso, la sedimentación energética se realiza en un rango menor. Llamamos zona, como el lugar donde se ubican todos los usuarios. Esta zona clasifica en dos subzonas:

- 1) Subzona Broadcast. Esta región se corresponde con el nivel de alcance de la antena en disposición o modo omnidireccional.
- 2) Subzona Beamforming. Esta región se divide en n beams. Se define el beam como rango de alcance en disposición direccional para un determinado ángulo de apertura. De acuerdo al ángulo de apertura que se usa habrá más menos beams.

La cobertura direccional es un lóbulo redondeado donde hay una distancia máxima.

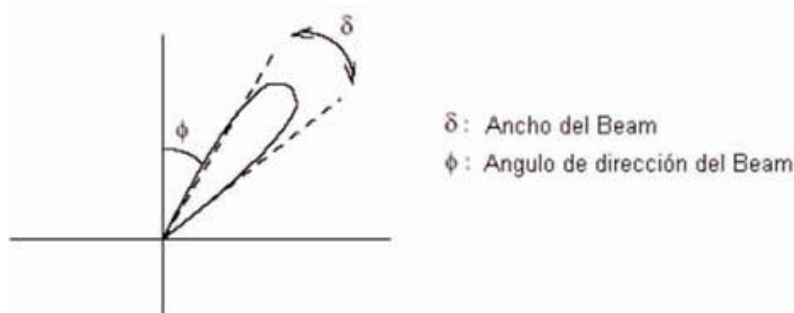


Imagen 47-Lóbulo de radiación de una antena inteligente

La característica fundamental de esta clase de antena es que pueden guiar la señal que emiten hacia una determinada dirección donde se halla el usuario con el que se establece la comunicación. Para ello, cada cliente debe tener, además de un identificador particular, una firma espacial indicadora de coordenadas de posicionamiento dentro de la región. El punto de acceso (AP) usa la firma espacial de cada usuario que le indica la posición de enfoque de la antena en cada caso.

Evidentemente, hay una etapa previa a la transferencia de datos entre AP y los usuarios. En esta etapa, el punto de acceso (AP) explora la zona para detectar los usuarios que se encuentran en dicha región y conseguir sus firmas espaciales.

Una vez el AP obtiene la firma espacial de todos y los usuarios están listos para iniciar una transmisión de información.²²

3.4.11.6.3 Tipos de antenas inteligentes

Existen, básicamente, tres tipos de sistemas de antenas inteligentes que son:

- 1) Haz Conmutado
- 2) Haz de Seguimiento.
- 3) Haz Adaptivo

3.4.11.6.3.1 Haz Conmutado

Es la forma más sencilla de Antenas inteligentes. El sistema produce diversos haces a ángulos predeterminados que se van permutando secuencialmente dando a luz un barrido discreto de la zona de cobertura en posicionamientos angulares inmóviles.

En cada ubicación discreta del haz se pone en marcha el sistema de recepción para comprobar la presencia de señales. En caso de detectar señal, el sistema archiva la información pertinente a la ubicación del haz y se crea la comunicación con el usuario en un transcurso de tiempo. Después de esta espera se permuta al próximo haz comprobando la presencia de otros posibles usuarios hasta alcanzar al límite angular de la región de cobertura²³.

²² Antenas inteligentes con aplicación SDMA, H. Campanella, A. Comas, Y. Alba

²³ Antenas Inteligentes, Ing. Rafael Albornoz

3.4.11.6.3.2 Haz de seguimiento

En sistema en comparación con el anterior es un poco complejo. Está constituido por un arreglo de antenas con una red de excitación que posibilita el control electrónico de fases de las corrientes de excitación entran a los elementos del arreglo para alterar la ruta del haz idóneamente y crear comunicación con el usuario respectivo.

El haz de seguimiento se diferencia del haz conmutado en que ejecuta algoritmos (Direction of Arrival) DoA para localizar el punto de aparición de las señales de los usuarios.

Se distinguen también en el haz conmutado los cambios de fase para el sistema permutado se efectúan a ángulos inmóviles, es decir corresponden a ángulos predeterminados en el sistema, mientras que en el haz de seguimiento la posición del haz tiene alta resolución angular²⁴.

3.4.11.6.3.3 Haz adaptivo

El método de haz adaptivo es el máximo nivel de inteligencia que se podría configurar los sistemas de antenas. En esta configuración, las salidas de cada elemento de arreglo de antenas se sopesan con un factor de peso cuyo se da para formar un diagrama de radiación que establezca relación entre el haz principal y el usuario deseado y los haces o lóbulos secundarios hacia las trayectorias de los elementos de multitrayecto de la señal deseada y nulos o mínimos de radiación en las rutas de las fuentes de interferencia.

Es procedimiento requiere la ejecución de algoritmos DoA para detectar las señales que llegan o interfieren y para optimizar los pesos que constituyen el haz.

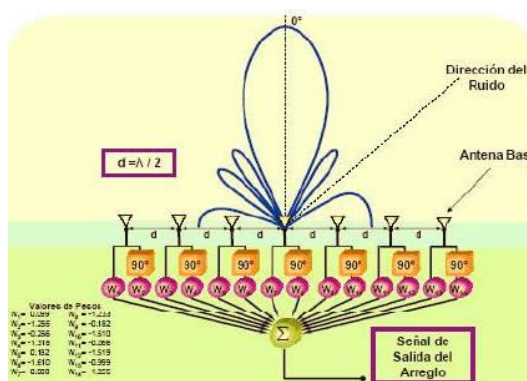


Imagen 48-Patron de radiación de un arreglo lineal uniforme de 7 elementos

²⁴ Antenas Inteligentes, Ing. Rafael Alborno
Vicente Mbogo Ndong Okomo

3.4.12 Aplicaciones médicas

3.4.12.1 Terapias de calor

El caldeo de tejidos orgánicos por medio de radiación de alta frecuencia igualmente tiene descollantes aplicaciones en el ámbito de la Medicina. Arsène d'Arsonval es uno de los precursores de los métodos terapéuticos de la radiación electromagnética. En el periodo que abarca 1890 a 1900, d'Arsonval realizó estudios extraordinarios para desarrollo de estos métodos. Sometiendo su propia mano a pruebas con corrientes eléctricas de alta frecuencia (hasta 15 kHz), d'Arsonval contempló que en vez de que le cause dolor y los espasmos musculares particularidades de las corrientes de baja frecuencia se generaba un efecto de caldeo acompañado de un incremento de la sudoración. Más tarde desarrollo su famoso sistema de autoconducción, que principalmente estribaba en una gran bobina donde intrínsecamente se alojaba al paciente para suministrar calor sin contacto directo. Con esta técnica d'Arsonval no aplicó los efectos experimentados a un aumento de temperatura.



Imagen 49 Radiofrecuencia facial²⁵

De acuerdo a Cumberbatch, el verdadero investigador de los efectos térmicos resultados por la radiación de alta frecuencia es Von Zeynech, el que en 1899 postuló que el tránsito de la corriente por medio de tejidos originaba una generación de calor, similar a lo que ocurre en cualquier resistencia eléctrica. En 1908, Franz Nagelschmidt expuso en Budapest un *aparato de diatermia*, con dicha máquina pudo evidenciar irrefutablemente que la radiación de alta frecuencia podía caldear de manera directa adentro de los tejidos. Rápido se hallaron aplicaciones al cura de artritis, poliomielitis, neumonía y disfunciones de la pelvis, y en los últimos años de la década de 1920 a 1930 las máquinas de diatermia se

²⁵ <http://laradiofrecuenciafacial.net/>

hicieron famosos en varios centros de salud. Las máquinas empleadas hasta en ese momento funcionaban a frecuencias que no superaban 1 MHz. Hoy en día, con el avance de la tecnología, se han modernizado los generadores y aplicadores de alta frecuencia, es frecuente hallar en nuestros hospitales aparatos de microondas a 915 MHz y 2.45 GHz con diferentes utilidades en el tratamiento del reuma y la artritis, igual como en la reanimación y laxitud de tejidos para la restauración del movimiento muscular luego del tratamiento de roturas óseas.



Imagen 50 Generador de Radiofrecuencia

3.4.13 Identificación por radiofrecuencia

El reconocimiento por radio frecuencia, (en inglés Radio Frequency Identification) RFID, es una técnica empleada para capturar los datos forma automática y reconocer electrónicamente artículos, productos, animales, componentes, incluso personas, por medio de la utilización de dispositivos denominados etiquetas (tags) (U.S Department of Commerce, 2005). RFID ofrece una particularidad mediante un único ID (ID number) (Garfinkel y Rosenberg, 2005). Tiene su principal utilización en la industria de manufactura, igual que en el depósito y reparto de productos, pero hay otros ámbitos en desarrollo, entre ellos los orientados a la atención médica, por lo que se prevé un crecimiento activo de RFID en los años venideros.

Esta tecnología nació en la Segunda Guerra Mundial, pero el desarrollo de sistemas de identificación por radiofrecuencia que conocemos hoy en día, comenzó en la génesis de los años 70. Mario Cardullo, en 1973 patentó en EE.UU. una réplica de la tecnología RFID pasiva, en la que los receptores (chips) exclusivamente responden ante los estímulo que perciben por parte de los lectores. Michel Beigel en 1979, desarrolló la que es aceptada como primera utilización RFID de diminuto tamaño. En 1983 se le otorgó a Charles Walton, la primera patente estadounidense en incorporar la nomenclatura RFID. Desde en ese momento, la popularidad y la aplicación de la tecnología RFID ha acrecentado, y se espera

que pueda ser útil en la construcción ambientes inteligentes, principalmente asentado en la Inteligencia Ambiental.

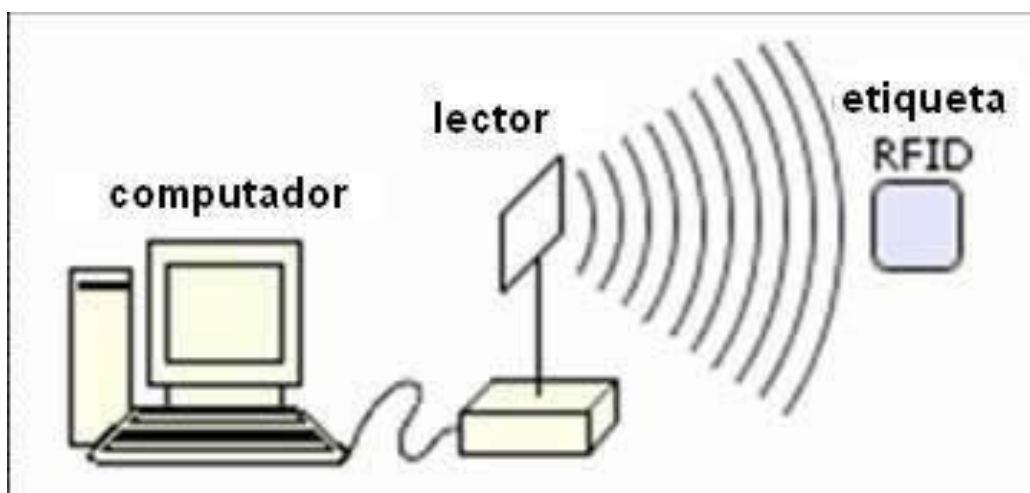


Imagen 51-Sistema de RFID

3.4.13.1 Aplicaciones de la tecnología RFID

La tecnología *RFID* ha evolucionado notablemente en los últimos años, mediante el desarrollo de nuevos sistemas electrónicos y soluciones muy diversas, dependiendo del entorno de implementación. A continuación, se cita varias de las principales utilidades que se le ha dado a la tecnología *RFID*, explicando sus más importantes características:

3.4.13.2 Logística

Una de las utilidades más comunes que se le da a la tecnología *RFID*, es el control de inventario y seguimiento de productos, con el propósito de optimar las técnicas de contabilidad y monitorización de artículos. Varias empresas de reconocimiento internacional como: *CocoCola*, *Walmart*, *McDonald's*, *Nestle*, etc, han adoptado esta tecnología en sus sistemas de reparto y deposito de productos. La industria automovilista es otro ámbito en el que se está empleando esta tecnología, con empresas como *Toyota* o *BMW*, inspeccionando en tiempo real el procedimiento de manufactura. Los servicios aduaneros, en donde se vigila una gran cantidad de productos, igualmente se han visto beneficiados de esta tecnología, cabe mencionar el caso del puerto más extenso del mundo en Rotterdam, Holanda.



Imagen 52 Inventario Instantáneo

Entre los diversos sistemas *RFID*, el implantado por la empresa Correos, es uno de los más complicados. Correos administra más de 5 mil millones de envíos postales y son entregados diariamente en más de 19 millones de hogares y 2 millones empresas. Dado al elevado volumen de demanda de los consumidores, fue necesario implementar un sistema que posibilitara mejorar la calidad en cuanto al cumplimiento del plazo de los envíos postales. El acto de etiquetar cada paquete, carta y maletas postales con marca *RFID* resultaba imposible, por lo se inclinó por un sistema de administración de la calidad que facultaba realizar, de una manera totalmente automatizada, el plano del camino seguido por una cadena de envíos elegidos. Con esta técnica se utiliza el estándar *EPC Gen 2* a 869 MHz y *ETSI EN 302 208-1*. De esta manera, con unas 5,000 etiquetas reusables, 1,900 antenas inmóviles, y 330 lectores, es posible controlar la calidad del servicio postal, perfeccionando significativamente la calidad de la monitorización de envíos.

3.4.13.3 Sistemas de pago

La tecnología *RFID* aparece como una poderosa alternativa de años venideros para sistemas de pago. Cabe mencionar como ejemplo, la ciudad de Salamanca, España, en la que se ha adoptado esta tecnología para efectuar los pagos en el autobús municipal. Este sistema está constituido de etiquetas de *RFID* en tarjetas de plásticos para depositar el saldo que cada cliente tiene disponible. Siempre que el usuario muestra la tarjeta en uno de los lectores establecidos en los autobuses, la tarifa se descuenta automáticamente de su saldo. A pesar de todo, este sistema presenta sus desventajas: no garantiza seguridad ni autenticación para los usuarios. Varios sistemas de pago más progresados se han implantado en varias partes del mundo, entre ellos se destaca el Octopus, fundamentado en el empleo de tarjetas para desembolso electrónico. Esta técnica aparece en Hong Kong en 1997 con el propósito

de solucionar los problemas de congestión que sucedían en los servicios de transporte público de la ciudad.



Imagen 53 lector RFID Dragon

Octopus usa tarjetas de desembolso con chips Sony Felica que trabajan en la frecuencia de 13,56 MHz. La distancia de comunicación ronda de 30 a 100 mm. Hay una red para recargar el saldo de tarjetas, las cuales se acoplan inmediatamente con el componente central que las gestiona, empleando encriptación *PKI (Public Key Infrastructure)* para sus comunicaciones. Actualmente hay aproximadamente 14 millones de tarjetas Octopus, usadas por 95% de la población de Hong Kong entre los doce y 65 años, elaborándose un promedio de 10 millones de transacciones diariamente. Asimismo estas tarjetas se utilizan para realizar pagos en tiendas, supermercados, restaurantes, aparcamientos, taxis, máquinas expendedoras, etc., igualmente hay tarjetas personalizadas que hacen posible el acceso a edificios de oficinas, museos, bibliotecas, etc. De esta manera, la población gozan de uno de los sistemas de desembolso electrónico mejor implementados a nivel mundial.

3.4.13.4 Localización y seguimiento de patrones

La ubicación es una de las nuevas utilidades que se dan a la tecnología RFID. Esta técnica se fundamenta en el empleo de diversas antenas y lectores situados estratégicamente, con mayor o menor número de etiquetas o lectores, dependiendo de la clase de etiquetas (activas o pasivas) y del tipo de lectores (móviles o fijos). Los sistemas localización por

medio de RFID principalmente emplean etiquetas activas, debido a que la distancia es mucho mayor. Las principales estructuras son

- Lectores fijos y etiquetas móviles. Los lectores se ponen en posturas determinadas que las etiquetas se colocan en los objetos se apiran localizar. Esta sistema es el más utilizado, e incluso para hallar personas.
- Etiquetas fijas y lectores móviles. Se ponen una cadena de etiquetas en una región determinada, entretanto que el lector va localizando las antenas a su paso, siguiendo las etiquetas o elaborando una triangulación para descifrar su posición precisa. Esta configuración, generalmente es utilizada para la orientar los robots autónomos.

La localización por medio de RFID se usa generalmente en interiores, llenar el vacío que las tecnologías como GPS han dejado a causa de su limitada precisión en ambientes cerrados donde la señal es difícil de penetrar. Un sistema de localización RFID exige la situación de marcades en posiciones estáticas. Por medio de la medición de la intensidad de la señal emitida por los marcadores o por el tiempo que demora la señal en enviarse, se puede definir la distancia cercana a los marcadores. En una superficie, basta tener dos distancias para definir la posición por técnicas de triangulación.

3.5 Hardware Arduino

El hardware es el conjunto de componentes físicos y electrónicos de la placa de Arduino.

3.6 Microcontrolador

El microcontrolador es un chip o dispositivo electrónico que alberga en un solo encapsulado un número considerable de componentes que posee la característica de ser programable. Es decir, ejecuta un programa que previamente hemos definido sus instrucciones para que realice una tarea forma autónoma.

Por descripción, un microcontrolador (también denominado comúnmente “micro”) a incorporar en su interior tres elementos básicos:

CPU, Unidad Central de Proceso (*Central Processing Unit* en inglés): es la parte que se encarga de realizar la mayoría de los cálculos y de controlar que las instrucciones se ejecuten correctamente. Normalmente, las instrucciones usan los datos disponibles preliminarmente (los “los datos de entrada”), y producen como resultado otros datos distintos (los datos de salida), que más tarde pueden ser utilizados (o no) por la posterior instrucción.

Diferentes tipos de memorias: en general son las que se encargan de albergar tanto las instrucciones como los distintos datos que estas requieren. De esta forma permiten que las instrucciones y los datos estén siempre disponibles para que la CPU pueda tener acceso y trabajar con ellos en cualquier momento. Generalmente hallamos dos tipos de memorias: las *persistentes* aquellas que su contenido es guardado permanentemente incluso tras interrupciones de alimentación eléctrica, y las *volátiles* aquellas que su contenido es perdido tras el cese de suministro de energía. Según las particularidades de la información a almacenar, esta se grabará en un tipo u otro de memoria de manera automática, asiduamente.

Diferentes patillas de entrada/salida (E/S): son aquellas que se encargan de establecer comunicación entre el microcontrolador y el exterior. En las patillas de entrada del microcontrolador se podrá conectar sensores para que éste pueda tomar datos que provienen del mundo físico externo, y en sus patillas de salida se podrá enlazar actuadores para que el microcontrolador pueda transmitirles instrucciones así comunicar con el entorno físico. De todas maneras, diversas patillas de la mayoría de microcontroladores no son únicamente de entrada o de salida, sino que pueden ser usados indistinguiblemente para ambos propósitos (de ahí el nombre de E/S).

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Pues un microcontrolador es un dispositivo con funciones semejantes de un computador (sin embargo, con prestaciones limitadas), un solo chip, está diseñado para realizar constantemente un conjunto de instrucciones prescritas. Estas instrucciones irán considerando en cada instante la información recibida y transmitida por las patillas de entrada-salida y responderán en consecuencia. Lógicamente, las órdenes serán distintas según la utilidad que se le quiera asignar al microcontrolador, y se deberá cuáles son.



Imagen 54 Chip microcontrolador

Hay cada vez productos domésticos que albergan algún tipo de microcontrolador con el propósito de incrementar sustancialmente sus servicios, disminuir su tamaño y coste, aumentar su fiabilidad y reducir el consumo. Así, podemos hallar microcontroladores en el interior de varios dispositivos electrónicos que utilizamos en nuestra vida cotidiana, que irían desde un simple timbre hasta un robot completo pasando por frigoríficos, lavadoras, juguetes, impresoras, el sistema de arranque de nuestro coche, microondas, etc.

3.7 Arduino

Es una plataforma de prototipos de electrónica programable el diseño de proyectos que se basan en software y hardware de manera flexible y rápida. Arduino es en realidad tres cosas:

Una placa hardware libre que integra un chip reprogramable y una multitud de pines-hembra (los cuales están unidos internamente a las patillas de entrada-salida del

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

microcontrolador) que hacen posible conectar allí de manera muy simple y cómo diferentes actuadores y sensores.

Cuando se habla de *placa hardware* se está refiriendo concretamente a una PCB (*printed circuit board* en inglés, o sea, placa de circuito impreso). Las PCBs son superficies elaboradas de resinas de fibra de vidrio reforzada, cerámica o plástico (normalmente son materiales no conductores) por encima de las cuales aparecen laminadas (“pegadas”) caminos de material conductor (normalmente cobre). Las PCBs son utilizadas para realizar conexión eléctrica, por medio de las pistas conductoras, distintos componentes electrónicos ligados a ella. Una PCB es la manera más densa y estable de construir un circuito electrónico (al contrario de una *perfboard*, *breadboard* o similar) pero, en contraposición de estas, una vez que se fabrica, su diseño es muy difícil de modificar. Así pues, la placa Arduino no es que una placa de circuito impreso que dota de un preciso boceto de circuitería interna.

No obstante, cuando se habla de *placa Arduino*, se debería precisar el modelo concreto, ya que hay muchas placas Arduino oficiales, cada una con distintas características (como el número de pines-hembra brindados, el tamaño físico, -y como consecuencia, entre otras, la cantidad de memoria utilizable-, el modelo de microcontrolador integrado, etc.). es necesario conocer estas características para determinar qué placa Arduino convendría en la realización de proyectos.

De todas maneras, aunque puedan ser prototipos específicos distintos, los chips integrados en las distintas placas Arduino corresponden todos a la misma familia tecnológica, por lo que su actividad en realidad es bastante semejante entre sí. En definitiva, todos los chips son de tipo AVR, una construcción de microcontroladores desarrollada y fabricada por la marca Atmel.

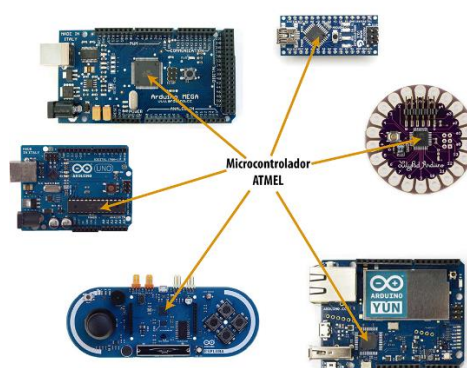


Imagen 55 Microcontroladores ATMEL

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

La construcción de la placa Arduino se inspiró de la de Wiring. Esta placa nació en 2003 como idea personal de Hernando Barragán, siendo estudiante del Instituto de Ivrea, lugar donde nació en 2005 la placa Arduino.

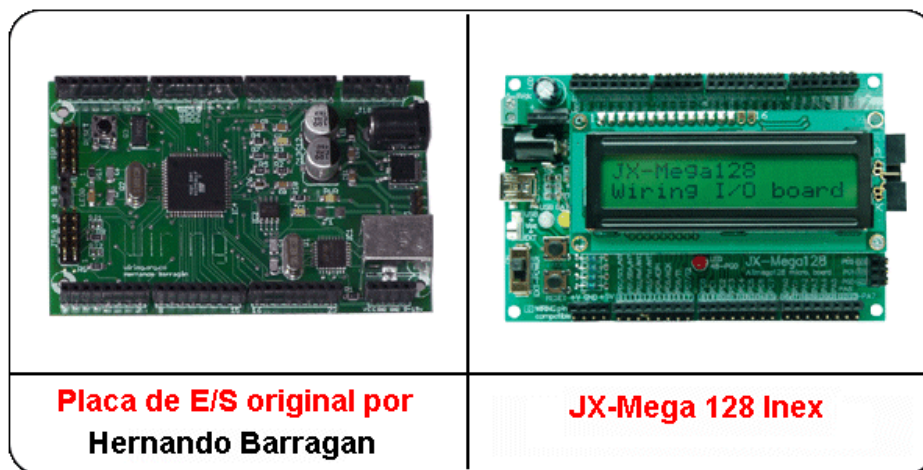


Imagen 56 Arduino Hernando Barragán

Un software libre, gratis y multiplataforma, es compatible con Linux, Mac OS y Windows que debe instalarse en el ordenador y que permite definir, comprobar y almacenar *cargar* en la memoria del chip de la placa Arduino el conjunto de órdenes que se desea que este empiece a ejecutar. La forma estándar de nuestro ordenador con Arduino para poder transmitirle y grabarle dichos órdenes es por medio de un simple cable USB, casi la mayoría de placas Arduino integran un conector de esta clase.

Los proyectos de Arduino pueden ejecutarse de forma autónoma o no. Siendo en el primer caso, que una vez depositado las instrucciones en el microcontrolador, la placa puede funcionar autónomamente si posee a disposición alguna fuente de alimentación sin necesidad de estar conectada a ningún computador. En el segundo, la placa debe estar conectada de alguna manera estable a un ordenador actuando algún software determinado que posibilite la comunicación entre este y la placa y el intercambio de información entre ambos equipos. Es software lo debe programar generalmente el usuario a través de algún lenguaje de programación estándar como, C, Java, Php, Python, etc., y no dependerá del entorno de desarrollo de Arduino, el cual no se requerirá más, una vez que el microcontrolador haya sido programado y en esté en marcha.

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

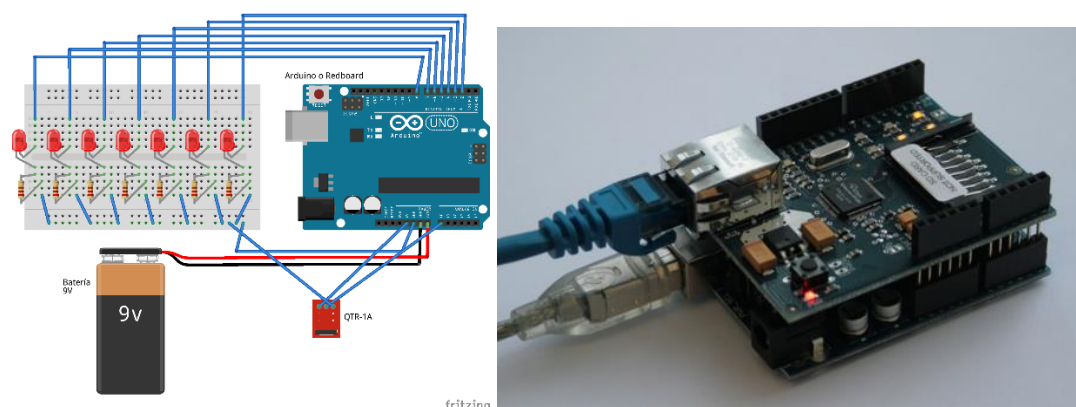


Imagen 57 Lenguaje de programación Arduino

Un lenguaje de programación libre. Se entiende por lenguaje de programación cualquier idioma artificial proyectado para expresar órdenes que pueden ser ejecutadas por máquinas. Precisamente dentro del lenguaje Arduino, se puede hallar elementos semejantes a varios otros lenguajes de programación existentes, así como distintos comandos, igualmente llamados órdenes o funciones- que nos permiten determinar de una manera coherente y sin confusiones las instrucciones exactas que queremos programar en el chip de la placa. Se escribe estos comandos por medio del entorno de desarrollo Arduino.

Tanto el lenguaje de programación como el entorno de desarrollo de Arduino fueron inspirados en otros modelos ya existentes: *Processing*, desarrollado originalmente por *Ben Fry* y *Casey Reas*. Que el software Arduino se asemeje tanto a *Processing* no es accidental, ya que este tiene las funciones de generar imágenes en tiempo real, de animaciones y de interacciones visuales, por lo que varios profesores del Instituto de Diseño de *Ivrea* lo empleaban en sus clases. Como fue en este centro donde surgió Arduino es lógico que ambos lenguajes y entornos tengan una semejanza. Aun así, conviene explicar que el lenguaje *Processing* está diseñado internamente con código definido en lenguaje Java, entretanto que el lenguaje Arduino está construido internamente con código C/C++.



Imagen 58 El lenguaje Arduino-CC++

Arduino permite llevar a cabo una diversidad de proyectos de distinta índole: partiendo de la robótica hasta domótica, atravesando por monitorización de sensores ambientales, telemática, sistemas de navegación, etc.

3.8 El origen de Arduino

Arduino surgió en el Instituto de Diseño Interactivo de *Ivrea* en el año 2005 en Italia, escuela donde los alumnos experimentaban con la interacción entre humanos y distintos dispositivos, gran parte de ellos basados en chips, para lograr la generación de espacios únicos, particularmente artísticos. Arduino surge con el propósito de contar con un artilugio para usar en las aulas que fuera más económico, que trabajase bajo cualquier sistema operativo y que facilitara el trabajo a los principiantes en dicha materia. El propósito principal era desarrollar la placa para necesidades internas de la escuela.

Sin embargo, la escuela cerró sus puertas en el mismo año que nace Arduino, pero tuvieron una idea, ante la perspectiva de preservar el proyecto Arduino, decidieron acercarlo a la comunidad para que los aficionados de la materia en todo el mundo tuvieran la posibilidad de trabajar en el progreso del proyecto, sugerir mejoramientos y propuesta y preservar su vida. Y de esta manera ha sido: la participación de varia gente ha permitido que Arduino lentamente haya tomado la forma con la que lo conocemos actualmente.

El precursor de Arduino es el denominado *Arduino Team*, compuesto por David Cuartielles, Massimo Banzi, David Mellis, Tom Igoe y Gianluca Martino.

Hay un reportaje de 30 minutos muy cautivador, en el cual participan los creadores de Arduino exponiendo todo el procedimiento de desarrollo del proyecto Arduino, desde las especificaciones técnicas que se tuvieron en cuenta hasta la filosofía del software libre que impregna su desarrollo, en el documental se puede encontrar diferentes declaraciones de cooperantes de todo el mundo.

3.9 Arduino Software Libre

Arduino es una placa de hardware, entorno y lenguaje de programación libre. ¿Qué quiere decir textualmente software libre?

De acuerdo a la organización (conocida en inglés como *Free Software Foundation*) que se ocupa de promover el empleo y desarrollo del software libre a nivel internacional, un

software será valorado como libre cuando ofrece a cualquier usuario las siguientes libertades:

Libertad 0: la libertad de usar el programa para cualquier propósito

Libertad 1: la libertad de analizar el funcionamiento interno del programa y modificarlo adaptándolo a las propias necesidades.

Libertad 2: la libertad de compartir copias del programa, con lo cual se puede echar una mano al prójimo.

Libertad 3: la libertad de enriquecer el programa y publicar los progresos, para el beneficio de toda comunidad.

Un software es considerado libre si la gente tiene todas estas libertades. La ventaja del software libre es que este se asocia su código fuente con el que fue escrito y por lo tanto los usuarios tienen la capacidad de adaptarlo a sus necesidades de manera legal, simplemente deberán recordar, así como lo recibieron ellos deben regresarlo, libre y gratuito.

Se dice que un software es libre cuando da a la gente la independencia de poder ejecutarlo, hacer copias y compartirlo, renovarlo, sin necesidad de la previa autorización del desarrollador original ni a ninguna otra entidad particular. Se puede hacer el reparto de las copias con o sin reformas propias, ojo poder ser gratuito o no, el software libre es una cuestión de libertad, no de precio.

Pero no todo se deja a la buena voluntad de los usuarios, para que un programa sea valorado como libre de forma legal debe estar sujeto a algún tipo de licencia de distribución entre las cuales se halla la licencia GPL (Licencia publica general, en inglés General Public License), o la LGPL.

El software Arduino es considerado libre y está sujeto a la licencia GPL, para el entorno visual de programación y la licencia LGPL, para los códigos fuente de gestión y gobierno del chip más interno. El resultado es que, cualquier persona puede participar en la mejora del software, añadiendo nuevas características y proponiendo ideas de competencia, cooperar en hallar soluciones a posibles errores que se presenten, etc. Esta forma de trabajar produce un grupo de personas voluntarias que cooperan mutuamente por medio de Internet, y logra que el software Arduino progrese de acuerdo a los objetivos del grupo.

3.10 Arduino Hardware Libre.

El hardware libre, al igual que el software libre, se refiere a la libertad de poder usar el dispositivo y su credencial, lo que no quiere decir que sea necesariamente gratuito. Su filosofía es similar a la del software libre, debido al propio origen de estos componentes físicos, varias de sus reglas son limitadas. Esencialmente se estima que un hardware es abierto si satisface una serie de requisitos.

La información sobre la forma establecer comunicación con el hardware, el diseño del mismo y los instrumentos empleados para su desarrollo deben ser publicados para ser usados libremente. De esta forma se posibilita el control, implementación y mejoramientos en el diseño por la comunidad de aficionados. En particular el hardware libre facilita a los usuarios estudiarlo para asimilar su mecanismo de funcionamiento, retocarlo, reutilizarlo, perfeccionarlo y distribuir dichas modificaciones a otros aficionados. Para llevarlo a cabo, el hardware ha de permitir el acceso de la comunidad de desarrolladores a los ficheros esquemáticos que lo componen. Estos ficheros exponen con detalles toda la información requerida para que cualquier usuario con los materiales, instrumentos y conocimientos apropiados pueda reproducir dicho hardware libremente y adaptarlo a sus necesidades, ya que obteniendo información en estos ficheros se puede conocer los elementos individuales que componen el hardware y diferentes conexiones existentes entre cada uno de ellos.

La placa Arduino es hardware libre los ficheros esquemáticos que lo integran se hallan disponibles en la Internet, puede descargarse de la página web del proyecto con la licencia de Creative Commons Attribution Share-Alike, la cual es una autorización libre que posibilita trabajos provenientes tanto personales como comerciales. Así pues, los usuarios pueden construir placas Arduino particulares a mano. Sin embargo, lo más habitual es adquirirlas de una empresa fabricante.

Así es que, el propósito de hardware libre, es acercar la tecnología actual a la gente teniendo en cuenta las ventajas que puede aportar. Fundamentalmente, el hardware abierto denota poseer la posibilidad de descubrir lo que hay en el interior de las cosas, y que eso sea éticamente adecuado. En definitiva, la introducción de las tecnologías de hardware libre a la comunidad conlleva sus ventajas, por ejemplo, permite mejorar la educación de las personas.

3.11 Características del micro de la placa Arduino Uno

En el mercado existen una variedad de placas Arduino, cada uno con características particulares que hay que saber para una mejor elección en cada caso. Sin embargo, existe un ejemplar de placa que estándar, que es el más empleado con diferencia y es el que emplearé también en este proyecto: la placa Arduino UNO. Desde que surgió en el año 2010 ha lanzado 3 modelos, siendo el más moderno Arduino UNO R3.

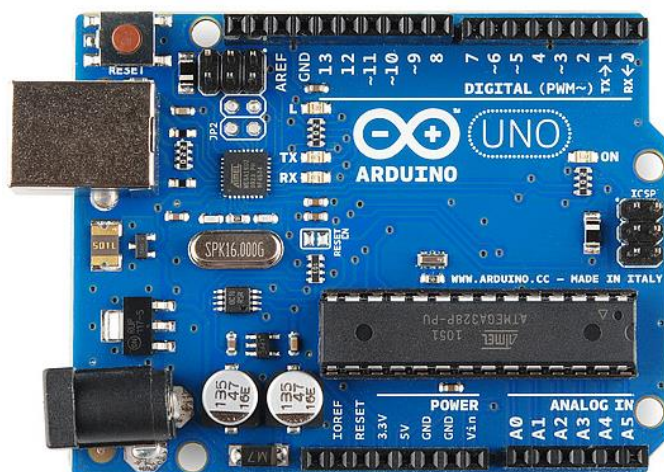


Imagen 59 Arduino UNO R3

3.11.1 El encapsulado del microcontrolador

Arduino UNO es la versión más reciente de la placa, existen dos variantes, la imagen anterior muestra la Arduino UNO convencional y la imagen siguiente se aprecia la Arduino UNO SMD.



Imagen 60 Arduino UNO SMD

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

La única diferencia entre ambas placas es el modelo de microcontrolador que llevan incorporados. Las dos tienen el mismo tipo, se distinguen en que la placa convencional lo lleva incorporado en formato DIP (en inglés Dual In-line Package) y la placa SMD lo lleva montado en formato SMD (Surface Mount Device). Tal como se muestra en las dos figuras, formato SMD es mucho más pequeño que el formato SMD.

Desemejanza considerable entre ambos formatos es que el SMD está ligado a la superficie de la placa una técnica conocida como *montaje superficial*, por medio de la tecnología SMT en inglés (Surface mount technology), en tanto que el DIP está unido a la placa por medio de un conjunto de patillas metálicas, las cuales constituyen las patillas de entrada/salida del microcontrolador, que se pueden liberar y substituir de forma sencilla por otro si fuera necesario.

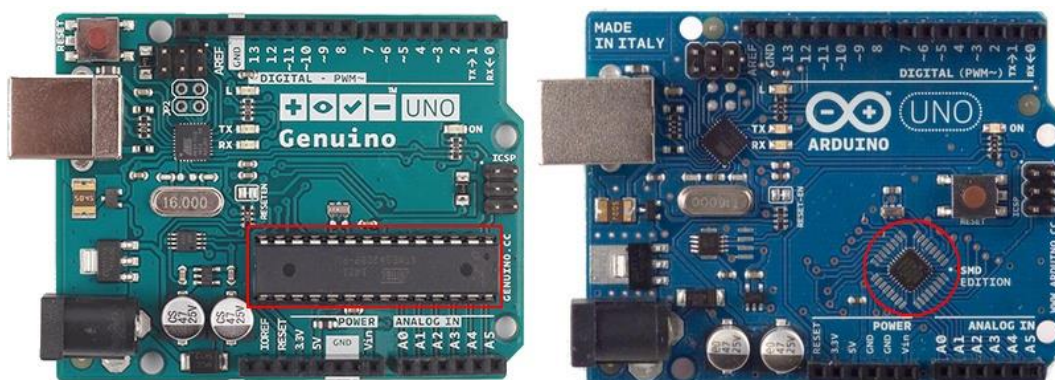


Imagen 61 Arduino UNO genuino DIP y Arduino UNO SMD

A más de los de los circuitos integrados existen otros componentes simples, tales como, condensadores, diodos, resistencias, fusibles, etc. que también pueden diseñarse en formato SMD para minimizar el espacio físico montado. Es inmersa, la multiplicidad de formas y tamaños, aunque estandarizada. La mayoría de estos formatos se suelen distinguir por un código de cuatro cifras las dos primeras de la serie denotan la longitud del componente y las últimas indican su anchura.

3.11.2 El modelo del microcontrador

El microcontrolador que lleva lleva incorporado la placa Arduino UNO es el tipo ATmega328P de la marca Atmel. La *P* que expresa el tipo de tecnología que incorpora el chip, para Arduino UNO es Picopower -dueña de Atmel-, la cual tiene bajo consumo eléctrico en comparación con el tipo equivalente ATmega328 sin la *P*, sin Picopower. De

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

todas maneras, a pesar de las diferencias en consumo y voltaje de trabajo, ambos modelos funcionan igual.

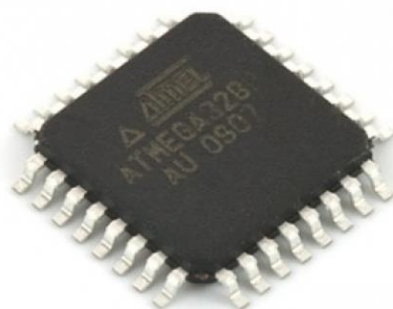
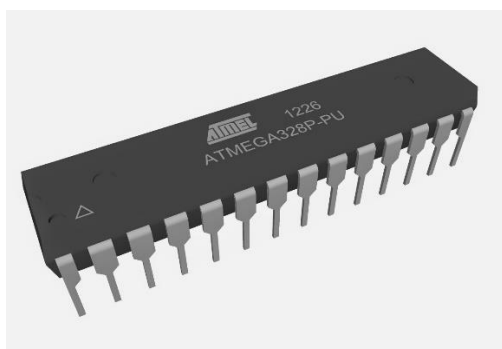


Imagen 62 Tipos de microcontroladores

El Atmega328P está constituido por la arquitectura AVR, creado por Atmel. Específicamente, el Atmega328P corresponde a la compañía de microcontroladores megaAVR. Existen otros filiales de la arquitectura AVR, que son la XMEGA y la tinyAVR.

Lo que si interesaría es conocer cómo se distribuye los pines de E/S del microcontrolador y la función específica de cada uno. Ya que cada uno modelo de chip tiene un número y ubicación de patillas distinto, en este caso concreto disponemos del microcontrolador ATmega328P. La imagen muestra la disposición del tipo DIP.

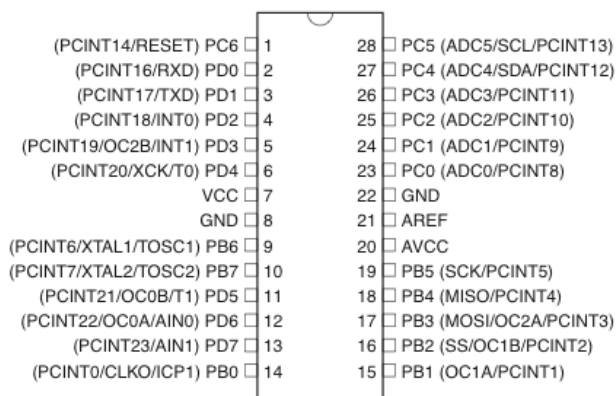


Imagen 63 Estructura de microcontrolador tipo DIP

Estudiando la figura se puede conocer fácilmente la patilla que toma la alimentación eléctrica *vcc*, las patillas que van conectados a tierra *GND*, los pines de entrada-salida *PBx*, *PCx* o *PDx*, el *AVCC* pines que reciben la alimentación adicional para el convertidor analógico-digital adentro del chip o el *AREF* donde se toma la referencia analógica del convertidor. También se puede que ver que junto el nombre de las patillas de entrada/salida

se expresa entre paréntesis las funciones específicas de una de ellas, además de su función general de E/S.

3.11.3 Las memorias del microcontrolador

Otra característica a tener en cuenta de los microcontroladores son los modelos y las cantidades de memoria que albergan en su interior. Para el ATmega328P se tiene:

Memoria Flash: memoria duradera donde se guarda constantemente que las instrucciones que ejecuta el microcontrolador. El ATmega328P posee una capacidad de 32KB.

En los microcontroladores que van incorporados en la placa Arduino no se puede utilizar toda la memoria Flash porque hay 512 bytes el denominado *bootloader block* llenado ya por un código predeterminado de fábrica el denominado *gestor de arranque o bootloader*, el cual nos posibilita utilizar la placa Arduino de una manera simple y cómoda sin necesidad de saber las propiedades internas más avanzadas del microcontrolador. Los ATmega328P que se puede comprar individualmente habitualmente no incorporan de fábrica este programita, pero lo que si ofrece son los 32 kilobytes.

Memoria SRAM: es la memoria volátil que alberga los datos en ese momento el programa precisa crear o manejar para su adecuado funcionamiento. Es habitual que los datos tengan un contenido cambiante a lo largo del tiempo de operación del programa y cada uno es de un tipo específico. Libremente del tipo de carácter, el dato siempre será borrado cuando se desconecte al microcontrolador de la fuente de alimentación.

Si se tuviera la necesidad de aumentar la memoria SRAM utilizable, se podría comprar memoria SRAM a parte y unirlos al microcontrolador mediante algún protocolo de comunicación compatible con este.

Memoria EEPROM: es la memoria que guarda continuamente los datos que se desea que persistan grabados una vez que el microcontrolador deje de recibir alimentación eléctrica, para que sean reutilizables en los sucesivos reinicios. El ATmega328P tiene una cantidad de memoria 1 kilobytes.

Se puede ampliar esta memoria adquiriendo la memorias EEPROM o adquirir las tarjetas de memoria SD. El protocolo de comunicación para las tarjetas de memoria tipo SD con el ATmega328P es SPI.

3.11.4 Interfaces de comunicación I²C/TWI y SPI

Cuando se pretende establecer comunicación entre dos componentes electrónicos, se puede realizar de varias formas. Una de ellas sería enviar los datos utilizando la comunicación *serie*; en esta clase de comunicación la información se transmite de bit a bit -uno después del otro- a través de un único canal, entregando por tanto un solo bit en cada instante. Otra forma de enviar los datos es mediante la comunicación *paralela*, en la cual se transmiten un conjunto de bits simultáneamente, mediante canales independientes y sincronizados mutuamente.

El chip, mediante algunas de sus patillas de entrada-salida, emplea el sistema de comunicación serie para entregar y tomar ordenes y datos hacia-desde otros dispositivos electrónicos. Esto se debe a que en una comunicación secuencial solo se requiere un único canal, mientras que en el sistema de comunicación paralelo se requieren multiples canales, lo que hace que sea una red compleja, de coste elevado y ocupa mucho espacio.

Es inadecuado hablar de un solo tipo de comunicación de secuencial o comunicación serie. Hay varios protocolos y estándares distintos todos ellos, basados en la comunicación en serie, cada uno dotado de características específicas (como la forma de sincronización entre el emisor y receptor, la rapidez de transferencia de información, el volumen de datos, los voltajes empleados, los mensajes de unión y desunión y de ceder el paso al otro en el intercambio de información, etc.). Dentro de la lista de protocolos de comunicación serie disponibles para la inmensa cantidad de dispositivos electrónicos en plaza, aquí se mencionará los que el ATmega328P es capaz de reconocer y por tanto, aquellos que son serán útiles para establecer comunicación con esta diversidad de periféricos. A continuación se cita los estándares más importantes:

I²C (en inglés Inter-Integrated Circuit, también denominado TWI de TWo-wIre que en español significa “dos cables”-): es un protocolo que se utiliza habitualmente en la industria principalmente para establecer una relación entre los circuitos integrados. Su distinguida características es que utiliza dos líneas para transferir información: una -denominada línea *SDA*- es la línea por donde atraviesa la información entre los dispositivos -los 0s y los 1s- y otra -denominada línea *SCL*- por donde atraviesan las señales de reloj que sincronizan el sistema. Realmente también se requerirán dos líneas, una de alimentación y otra de tierra común, aunque se son integrados en el circuito.

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Se denomina señal de reloj a la señal binaria de una frecuencia periódica, que se utiliza para combinar y sincronizar los emisores y receptores de modo que estén al tanto del inicio, duración y fin de transmisión de información. En hojas de características técnicas la señal de reloj se representa habitualmente como CLK -en inglés *clock*-.

Los aparatos acoplados al bus I²C son unidireccionales. Un aparato maestro es el que comienza la transferencia de datos y además engendra la señal de reloj, aunque no es imprescindible que el maestro sea perpetuamente el mismo aparato: esta particularidad se la pueden ir canjando estructuralmente los aparatos que posean esta capacidad.

Es habitual que el dispositivo maestro sea el microcontrolador y el resto de dispositivos acoplados después de este son los esclavos, por lo general se pueden acoplar en el bus entre uno y diez dispositivos esclavos, y lo encantador es que cada esclavo es unidireccional (denominado slave adress) por lo tanto con esa dirección es facil reconocer el dispositivo que está manipulando.

Para el funcionamiento correcto del sistema que se muestra en el diagrama, se requiere que las líneas SDA y SCL estén conectadas mediante una resistencia pull-up que comparten la misma fuente de alimentación, la cual puede suministrar tensión generalmente de 3.3 V o 5 V.

La rapidez de transmisión de información en modo estándar es de 100 Kbits por segundo, pudiendo alcanzar velocidades de hasta 3,4 Megabits por segundo. Debido a la existencia de una única línea de datos la transferencia de información es half duplex, es decir la comunicación se puede establecer en un sentido a la vez, por lo que en el instante que un dispositivo inicia el proceso de recepcion de un mensaje, estará a la espera aguardando a que el emisor finalice el proceso proceso de transmisión para poder responderle.

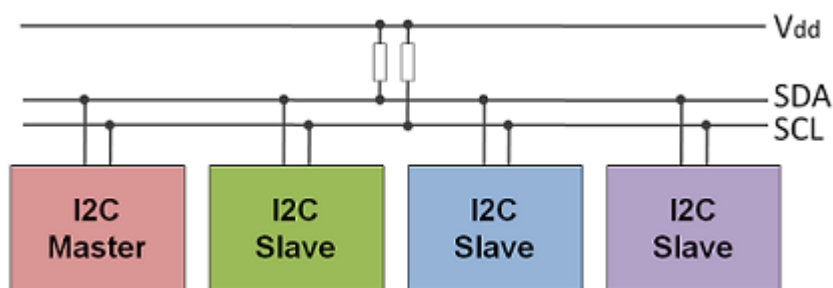


Imagen 64 Interfaz de comunicación I²C

SPI (en inglés Serial Peripheral Interface): es un sistema de comunicación estándar de corta distancia. Este protocolo permite alcanzar velocidades elevadas y controlar la mayoría de los dispositivos electrónicos digitales que admiten un flujo de bits serie regularizado por un reloj. Asimismo, un dispositivo acoplado al bus SPI puede ser *maestro* o *esclavo* (en inglés master o slave), en el cual el primero es el comienza el proceso de transmisión de datos a su vez engendrando la señal de reloj, el segundo se encarga de responder.

La diferencia entre ambos protocolos radica en que el I²C se compone de dos líneas en vez de cuatro, que se requiere para implementar el SPI. Una cable denominado SCK distribuye entre todos los dispositivos la señal engendrada por el maestro determinado; otro denominado SS es el utilizado por el maestro que realiza las operaciones de selección del dispositivo esclavo con el que se quiere establecer la comunicación de entre los diversos que puedan estar acoplados, debido a que solo puede transmitir información con un solo dispositivo esclavo a la vez; MOSI sirve para entregar los datos (0s y 1s) desde el maestro hacia el esclavo seleccionado; y por último el MISO es la línea utilizada para entregar la información en sentido opuesto, es decir, transferencia de datos del esclavo hacia el maestro, la respuesta de esclavo al maestro. Con dos líneas para los datos la información puede ser intercambiada en ambos sentidos, este tipo de transmisión de información se denomina *full duplex*.

En las figuras que se exponen a continuación se puede observar la configuración de los distintos tipos de líneas de comunicación que hay: entre un maestro y un esclavo, un maestro y tres esclavos. Se puede notar, que cuando se dispone de varios esclavos es necesario emplear una línea SS distinto por cada uno de ellos, esta línea tendrá la misión de activar en cada momento el esclavo preciso que el maestro quiere utilizar, lo que no sucede con los cables de reloj, mosi y miso, que son distribuidos por todos los dispositivos. En sentido técnico, los esclavos que tomen por su línea SS un valor voltaje ALTO son aquellos que no estarán seleccionados y el esclavo que que reciba el valor BAJO, es aquel que estará seleccionado en ese momento por el maestro.

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Un maestro y un esclavo:



Un maestro y varios esclavos:

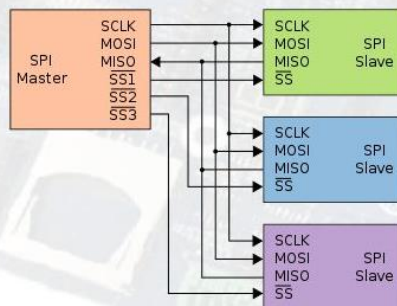


Imagen 65 Interfaz de comunicación SPI

La desventaja del protocolo SPI respecto al I²C es que el microcontrolador debe disponer de más pines de entrada-salida a la comunicación externa y como ventaja, se destaca por su rapidez y bajo consumo de energía que I²C.

La alimentación el voltaje de alimentación de todos los elementos que componen la placa de Arduino es de 5 V. Se puede obtener esta alimentación eléctrica de muchas formas:

Conectando la placa Arduino a una fuente externa, sea un adaptador AC/DC o una pila. En el primer caso, se puede enchufar una clavija de 2,1 mm de tipo jack en la placa, ya que ésta dispone de un zócalo para ello. En el segundo, los cables que salen de los bornes de la pila se pueden acoplar a los pines-hembra marcados como Vin y Gnd -positivo y negativo relativamente- donde se localiza la palabra POWER. En teoría la placa está diseñada para tomar una alimentación de 6 a 20 voltios, en ambos casos, aunque ciertamente el rango de voltaje de entrada aconsejado -para un funcionamiento seguro y estable- ha de ser de 7 a 12 voltios. En cualquier caso, este voltaje que recibe de la fuente externa siempre se reduce a 5 voltios de trabajo a través de un circuito regulador que ya viene integrado en el interior de la placa.

Conectando la placa al computador mediante un cable USB. Para ello, en la placa hay disponible un conector USB hembra de tipo B. La energía eléctrica ofrecida por el computador está fijada a los 5 voltios y a una intensidad de corriente máxima de hasta 500 mA (haciendo los cálculos $p = u \cdot i = 5 \cdot 0.5 = 2,5 \text{ W}$ que es la potencia consumida por la

placa). Si en algún caso por el conector USB atravesara más intensidad de la recomendada, la placa Arduino incorpora un polifusible reseteable que lo brinda de protección, con la función de abrir el circuito automáticamente hasta que se restablece a las condiciones eléctricas normales. Un efecto de esta protección contra subidas de corriente es que la intensidad de corriente tomada mediante USB puede no ser capacitado para proyectos que abarcan componentes de alto consumo de potencia, tales como solenoides, motores o matrices de LEDs. La placa es lo bastante inteligente, que para cualquier forma de alimentación elegida, es capaz de seleccionar automáticamente en cada situación la fuente eléctrica disponible y utilizar una u otra sin necesidad de maniobras especiales al respecto.

Así pues, si utiliza una pila como fuente de alimentación externa, una perfecta sería la de 9 voltios, que está dentro de los límites aconsejados de 7 a 12 voltios, y en caso de trabajar con un adaptador AC/DC, es aconsejable usar uno con las siguientes características: El voltaje de salida suministrada ha de ser de 9 a 12 voltios DC.

La intensidad de corriente suministrada ha de ser de 250 miliamperios o más. Si se conectase a la placa Arduino varios elementos o una cantidad reducida de componentes pero alto consumo de energía como algunos de los citados anteriormente (un motor, una matriz de LEDs, o una tarjeta SD) el adaptador debería ofrecer al menos 500 miliamperios o incluso 1 amperio. De esta forma nos afianzamos de que disponemos de suficiente corriente para que cada elemento pueda funcionar de manera fiable.

El adaptador ha de ser de polaridad con el positivo en el centro. Esto significa que la parte exterior del tubo metálico que forma la clavija de 5,5/2,1 milímetros del adaptador ha de ser el borne negativo y el hueco interior del tubo ha de ser negativo. Lo más simple para asegurarse de que el adaptador es el apropiado en este sentido se debe observar si viene construido de la siguiente manera:



Imagen 66 El adaptador Arduino

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Por otra parte, dentro de la zona marcada como power en la placa de Arduino se halla una columna de pines-hembra relacionados con la alimentación eléctrica.

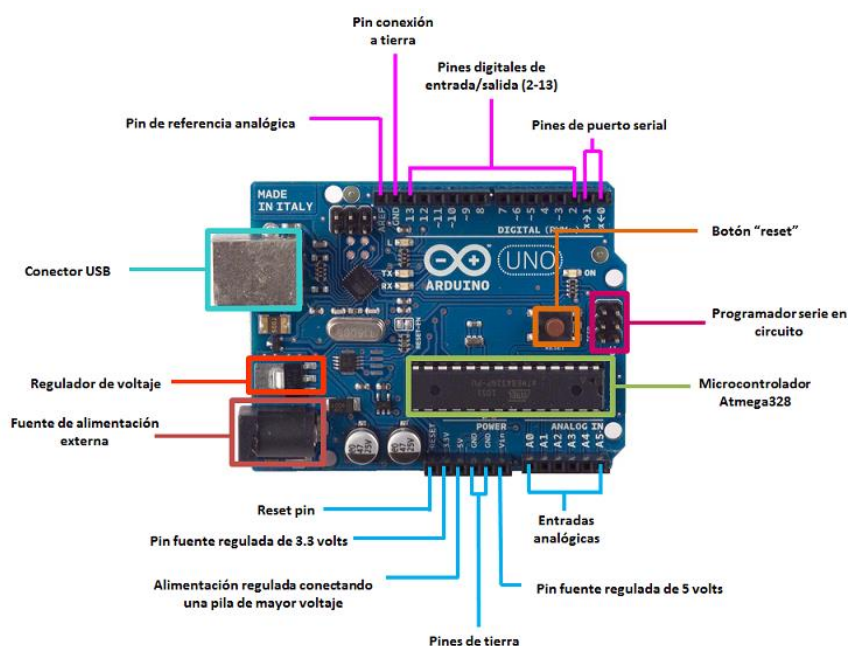


Imagen 67 Partes de Arduino

Los pines de alimentación sirven para suministrar energía a los circuitos, la placa de prototipos o protoboard:

“5 V”: este pin-hembra se puede emplear para dos cosas diferentes: tanto si la placa recibe energía a través del cable USB como si recibe energía de una fuente externa, que suministra un voltaje dentro del intervalo de seguridad, se puede conectar a este patilla-hembra cualquier componente que pueda ser alimentado con 5 V regulados. En general esta patilla aporta una tensión de 5 V, una máxima de 40 Ma.

“GND”: patillas conectadas a tierra. Es imprescindible que todos los componentes conectados a la placa Arduino compartan una tierra común como referencia.

“3,3 V”: esta patilla proporciona un voltaje de 3,3 voltios. Este voltaje es adquirido a partir del recibido indistintamente mediante el cable USB o de las pilas, y está regulado por un circuito particular integrado en la placa: el LP2985. En este caso específico la intensidad máxima generada es de 50 mA.

“Vin”: proporciona el voltaje máximo con el que está alimentado Arduino.

3.11.5 Las entradas y salidas digitales

¿Qué es una entrada digital? Una señal digital es un cambio de voltaje entre $-V_{cc}$ a $+V_{cc}$ sin superar los valores intermedios. Entretanto, una señal digital consta de dos estados. Al valor menor de tensión $-V_{cc}$ se le asocia un valor lógico LOW o '0', mientras que al mayor valor $+V_{cc}$ se le asocia HIGH o '1' lógico.

Sin embargo, en el mundo físico las referencias de voltaje son continuas. El procedimiento de lectura digital es un proceso de discretización de una señal analógica, el valor de voltaje, en un valor digital que se representa mediante dos situaciones, LOW y HIGH.

Una entrada digital tiene la función de realizar una comparación de la medición con un valor de tensión. Si la medida tomada es mayor que la tensión umbral se devuelve HIGH, y si es menor LOW. El valor de tensión umbral depende del tipo de autómatas, e incluso no tiene por qué permanecer incesante a lo largo del tiempo.

En general es razonable conjeturar que la tensión umbral es próxima al punto medio $-V_{cc}$ y $+V_{cc}$. No obstante, se debe prevenir la medición de tensiones cerca de la tensión umbral porque pueden originar mediciones erróneas.

La placa Arduino consta de catorce pines-hembras de entradas o salidas digitales, enumeradas desde cero hasta trece.

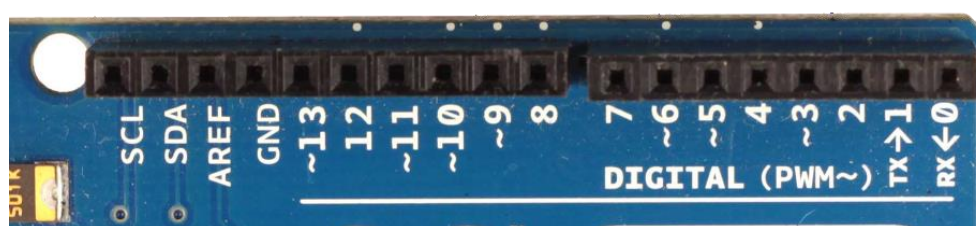


Imagen 68 Entradas-Salidas digitales

En esta zona se conecta los sensores para que la Arduino puede recibir información del mundo exterior, y también donde van conectados los actuadores para que Arduino pueda enviarles las instrucciones pertinentes, asimismo estos pines se pueden utilizar para conectar cualquier componente con el que se desea establecer comunicación. En ocasiones a esto pines digitales de propósito general se les denomina pines de General Purpose Input/Output ("GPIO").

Todos los pines digitales funcionan a 5 voltios, pueden proporcionar o recibir un máximo de 40 mA y constan de una resistencia “pull-up” adentro de entre 20 y 50 kilohmios que inicialmente está desconectada.

3.11.6 Las entradas analógicas

¿Qué es una entrada analógica? Una señal analógica es una magnitud que puede tomar cualquier valor dentro de un intervalo $-V_{cc}$ y $+V_{cc}$.

Por regla general en los autómatas las entradas analógicas son más insuficientes, más lentas y más costosas que las entradas digitales. En el caso de Arduino Uno, consta de un número variable de entradas analógicas. Las placas Arduino Uno y Mini Pro disponen de 6 entradas analógicas, y mientras que el Mega consta de 16. Este es un número más que aceptable de entradas analógicas, compite o supera a autómatas clásicos de coste muy elevado.

Una entrada analógica provee una medición codificada en forma de un valor digital con número N de bits.

Es de vital importancia entender que en realidad cualquier señal de tensión es siempre analógica²⁶.

La placa Arduino consta de 6 entradas analógicas enumeradas de la siguiente forma: A0, A1, A2, A3, A4, A5, se localizan en la zona etiquetada como ANALOG IN, pueden trabajar dentro de los rangos de tensión entre 0 y 5 V. Sin embargo, la electrónica de la placa Arduino tan solo puede operar con valores digitales, por lo que es imprescindible una transformación previa del valor analógico recibido a uno digital lo más próximo factible.

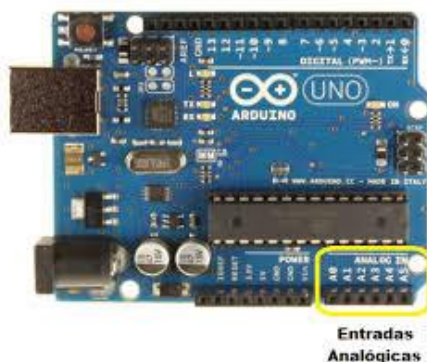


Imagen 69 Entradas Analógicas

²⁶ <http://www.luisllamas.es/>

El circuito conversor dispone de 6 canales y cada uno consta de 10 bits (los denominados bits de resolución) para almacenar el valor de voltaje transformado digitalmente.

Estos pines-hembra de entrada analógica hacen también las funciones de los pines entrada-salidas digitales. Por lo que cuando los 14 pines-hembra digitales que la placa Arduino posee están en uso, los pines-hembra analógicos pueden ser utilizados como pines digitales más sin ninguna diferencia.

3.11.6.1 Las salidas analógicas (PWM)

En los proyectos con frecuencia se necesita emitir al entorno señales analógicas, por ejemplo, cambiar gradualmente la velocidad de un motor, la frecuencia de un sonido producido por un zumbador o el controlar el brillo de un LED. No son suficientes simples señales digitales: se tiene que generar señales que cambien incesantemente. En realidad, la placa Arduino no posee los denominados pines-hembra de salida analógica, porque su composición electrónica interna no es apta para manipular este tipo de señales, sino que emplea algunos pines-hembra de salida digitales específicos para aparentar un comportamiento analógico. Los pines-hembra digitales que son aptos para trabajar en ese modo no son todos: solo son los etiquetados con la marca PWM. En exacto los pines número 3, 6, 9, 10 y 11 para la placa Arduino UNO.

La abreviatura PWM en inglés *Pulse Width Modulation* (que traducido en castellano es: Modulación de Ancho de Pulso). Lo que hace este tipo de señal es enviar en vez de una señal continua, una señal cuadrada constituido por pulsos de frecuencia incesante.

3.12 Placas Arduino oficiales y no oficiales

Como ocurre con otros softwares libres, lo mismo sucede con Arduino que cuenta con gran cantidad de ediciones, cada una diseñada para un propósito específico o para una serie de tareas concretas. Existen tal variedad de ejemplares oficiales, no oficiales y compatibles que es muy común que los usuarios no sepan distinguir con precisión las características de cada una de estas excelentes placas.

Por esta razón, en este apartado se expone con detalle todos los modelos oficiales existentes hasta la actualidad, así como mencionar algunos de los no oficiales y compatibles interesantes. Se debe tener presente que las placas Arduino oficiales ascienden más 16 actualmente y que es probable que haya cientos si agrupamos los compatibles y los no oficiales.

Antes de seguir conviene hacer una breve distinción entre arduinos oficiales, no oficiales o compatibles, debido a que no son lo mismo.

Oficiales: son aquellas placas oficiales desarrolladas por la compañía italiana Smart Projects, otras son diseñadas por la empresa estadounidense SFE (en inglés Spark Fun Electronics), manufactura los modelos Arduino Pro, Pro Mini y LilyPad, o por la también estadounidense Gravitech, desarrolla el modelo Arduino Nano, el resto es de creación italiana. Estas placas son las aceptadas como oficiales, incluyen el logo y son las únicas que pueden incorporar la marca patentada de Arduino.



Imagen 70 El logo de Arduino

No oficiales o compatibles: son las placas similares o compatibles con Arduino, pero no pueden estar inscritas bajo el nombre de Arduino. Por supuesto son desarrolladas por otras compañías ajenas. Estos diseños y fabricaciones no aportan nada al progreso propio de Arduino, sino son derivados que han nacido para cubrir otras necesidades. Estas habitualmente utilizan el sufijo “duino” para diferenciarlas de las oficiales.

Los aficionados pueden crear sus propias placas compatibles con Arduino a medida y en este caso pasarían a ser placas no oficiales. Y los nombres bajo los que registren esos inventos no pueden llevar la palabra Arduino. Incluso puede que los diseños sean suficientemente atractivos y llamativos que los integrantes de la comunidad de desarrollo de Arduino lo incorporen en la lista de las oficiales.

En el menú Herramientas de Arduino IDE hay una opción que se denomina grabar secuencia de arranque. Esta opción puede servir para registrar la secuencia de *bootloader* en el chip de Arduino oficial que por algún error deja de realizar las funciones normales o se cambiado el microcontrolador por otro.

Es menester hacer una aclaración sobre las placas Arduino compatibles, ya que todas no tienen el mismo nivel de compatibilidad. Por ejemplo, las hay que son compatibles a nivel del software (teniendo Arduino IDE para programarlas) o del entorno de desarrollo. Las otras son compatibles a nivel de hardware y eléctricamente para utilizar los *shields* y los módulos que hay para Arduino sin problema.

En el momento de seleccionar la placa para realizar un proyecto se debe tener esto en cuenta para llevarse sorpresas. Puede que en el proyecto haga falta una placa compatible por ciertas características del hardware que no dispone Arduino o por cuestiones de licencias, pero desear que se compatibilice con el entorno de desarrollo Arduino IDE. En otras situaciones puede que simplemente se quiere compatibilidad en cuanto a los *shields* pero se tiene la necesidad de utilizar otro compilador.

3.12.1 Placas oficiales

De las dichas placas oficiales existen multitud de modelos. Todos particularmente ideados para un fin, la compatibilidad con los módulos oficiales, con Arduino IDE y los *shields*. A continuación, se exponemos las principales características para poder distinguirlos entre sí.

3.12.1.1 Arduino UNO

Es la plataforma más propagada y la primera que apareció en el mercado, por ello nos podemos tomar como base en ésta para realizar la comparativa con el resto de placas. Todas las cualidades de esta placa aparecen implementadas en casi todas las plataformas restantes, en exclusión de algunas de las que ya hablaremos. Se fundamenta en un microcontrolador *Atmel ATmega320* de ocho bits a 16 Megahercios que funciona a 5 V. los 32 kilobytes corresponden a la memoria flash (0.5 kilobytes reservados para el *bootloader*), 2 kilobytes de SRAM y 1 kilobytes de EEPROM. En lo que se refiere a la memoria, es una de las placas con menos capacidad, pero ello no impide realizar proyectos que rondan la red. Las salidas pueden operar a tensiones superiores, de entre 6 y 20V pero se aconseja un voltaje de trabajo de entre 7 y 12 V. Consta de 14 pines digitales, 6 de ellos se pueden utilizar como PWM. También cuenta 6 pines analógicos. Estos pines pueden tomar intensidades de hasta 40 mA.

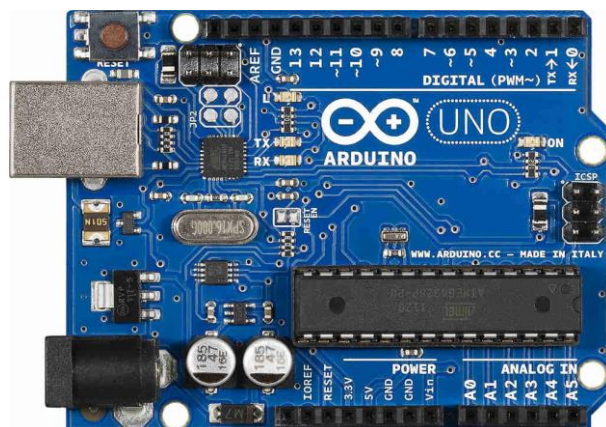


Imagen 71 Arduino UNO

3.12.2 Arduino TRE

Es la primera placa Arduino de fabricación estadounidense. Lleva integrado un procesador Texas Instrument Sitaria AM335x de 1 Gigahercios basado en ARM Cortex A8 con 512 Megabytes de DDR3L, lo que le brinda hasta 100 veces más rendimiento en comparación con otras placas como Leonardo y Uno. Esto abre los caminos a más aplicaciones complicadas, avanzadas y soporte para sistemas basados en Linux. Por un lado, sigue albergando el microcontrolador Atmel ATmega32u4 de 16 Megahercios y 32 kilobytes de flash y 2.5 kilobytes de SRAM, junto al 1 kilobytes de EEPROM. Está constituido de 14 pines digitales, 7 de ellos pines PWM, 6 analógicos multiplexores, y su parte SBC dispone de HDMI, USB, microSD, soporte conector LCD, etc... Todo similar con los escudos de Arduino y con Arduino IDE.

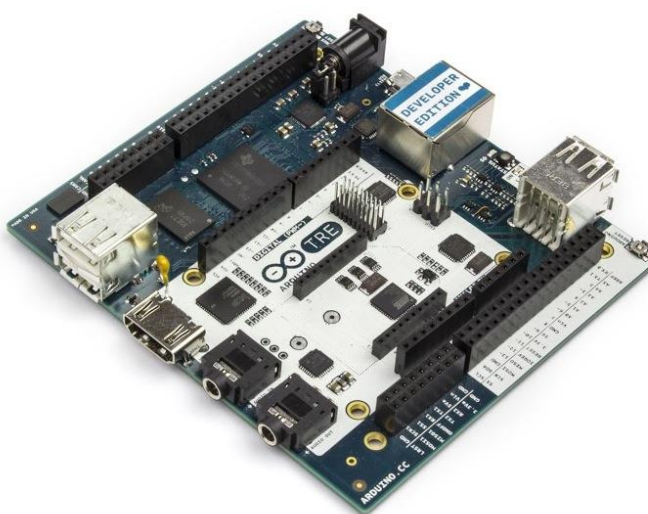


Imagen 72 Arduino TRE

3.12.3 Arduino/Genuino 101

Es una placa que se conoce como Arduino 101 en Estados Unidos y fuera de sus fronteras como Genuino 101. Esta nueva plataforma ha sido expuesta en el Opening Conference at Maker Faire de Roma, y su precio rondará en unos 27 euros cuando se comience su comercialización, la entrega está prevista en el primer trimestre de 2016. Genuino 101 sigue la misma línea de las placas oficiales de Arduino, con unas novedades su módulo es de Intel Curie, un módulo de dimensiones pequeñas y menos consumo potenciados por el SoC Intel Quark de 32 bits. Es un SoC que dispone de un microcontrolador x86 (una excelente oportunidad para programar en un entorno de desarrollo x86, alejándose de los ATmega y los ARM), 80 kilobytes de SRAM (24 kilobytes libre para sketches), 384 kilobytes de memoria flash, DSP, Bluetooth, sensores acelerómetros y giroscopio, etc. Por el resto cualidades, como conexiones y tamaño, es idéntico a Arduino UNO y compatibles con sus shields.

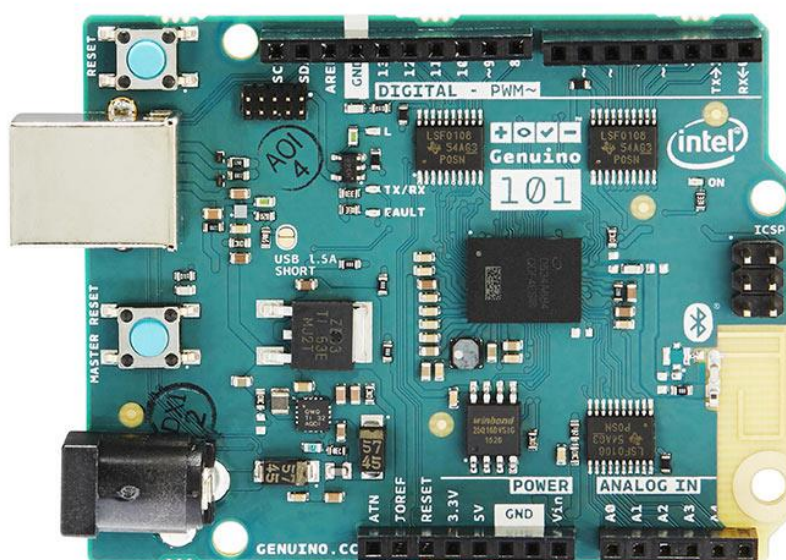


Imagen 73 Arduino/Genuino 101

3.12.4 Arduino Zero

En apariencia es idéntico a Arduino UNO, pero su microcontrolador es distinto a la plataforma UNO. En lugar del microcontrolador Atmel ATmega basado en arquitectura AVR de 8 bits, Zero contiene un potente Atmel SAMD21 MCU de 48 Megahercios con un core ARM cortex M0 de 32 bits. Tiene 256 kilobytes de memoria flash, 32 kilobytes de SRAM y una EEPROM de más de 16 kilobytes por emulación. El voltaje con el que trabaja

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

es de 3.3 y 5 V (7 mA) y contiene 14 pines entrada-salida digitales, de los cuales 12 son PWM y UART. En el ámbito analógico se dispone de 6 entradas para un canal ADC de 12 bits y una salida analógica para DAC de 10 bits. Esta placa está destinada para los usuarios que Arduino UNO se queda corto y necesitan algo más de capacidad de procesamiento.



Imagen 74 Arduino Zero

3.12.5 Arduino Yun

Se compone de un microcontrolador *ATmega32u4* y en un chip *Atheros AR9331* (que controla el host USB, el puerto para micro SD y la red *Ethernet-WiFi*), dichos comunicados mediante un puente. El procesador *Atheros* es compatible con la distribución Linux basadas en la *OpenWrt* llamada *OpenWrt-Yun*. Es una placa idéntica a Arduino UNO, pero con capacidades nativas para conexión *WiFi*, *USB*, *Ethernert* y *micro-SD* sin necesidad de incorporar o comprar shields aparte. Dispone de 20 pines digitales, 7 pueden ser utilizados como PWM y 12 en modo analógicos. El microcontrolador *ATmega32u4* de 16 Megahercios trabaja a 5 V y contiene una memoria de solo 32 kilobytes (4 kilobytes reservados al bootloader), SRAM de solo 2,5 kilobytes y 1 kilobytes de EEPROM. Como puede ver, en este sentido está muy limitado. No obstante, se complementa con el *AR9331* a 400 Megahercios basado en *MIPS* y operando a 3.3 V. Este chip además dispone de *RAM DDR2* DE 64 Megabytes y 16 Megabytes flash para un sistema Linux embebido.

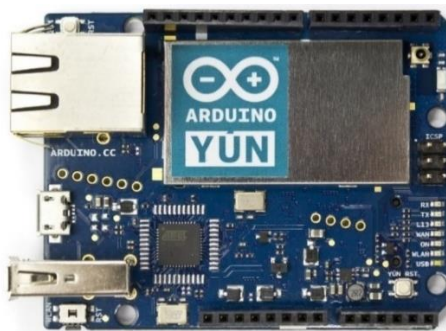


Imagen 75 Arduino Yun

3.12.6 Arduino Leonardo

Presenta las siguientes características, la arquitectura de esta placa se basa en un microcontrolador ATmega32u4 de bajo consumo y que trabaja a 16 Megahercios.

- Capacidad de memoria flash 32 KB, 4 KB para el bootloader
- 2.5 KB de SRAM y 1 KB de memoria EEPROM

Es similar a Arduino UNO en lo que se refiere a capacidades de almacenamiento. En cuanto electrónico y de voltajes es idéntico al UNO.

- Consta de 20 pines digitales, 7 de ellos pueden ser utilizados como PWM y 12 pines analógicos.
- Contiene los mismos pines que Yun, solo que omite las funcionalidades de red.

El volumen que ocupa es inferior al de Arduino UNO, ya que carece de las penetraciones de los pines y en su lugar posee perforaciones con pads de conexión marcadas en la misma placa. Además, el tamaño del conector USB de la placa es más reducido, ya que en lugar de una conexión USB utiliza una mini-USB para minimizar el espacio. Por eso es apropiado para proyectos en los que se no se requiera mayor espacio, el precio es el mismo que UNO.



Imagen 76 Arduino Leonardo

3.12.7 Arduino Due

Es una placa con microcontrolador Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 de 32 bits.

- El chip trabaja a 84 Megahercios 3.3 V.
- Aporta una potencia de cálculo mucho mayor que la de los anteriores microcontroladores vistos.
- Es el apropiado para todos aquellos proyectos que necesiten una alta capacidad de procesamiento.
- Tienes un Core a 32 bits, lo que permite realizar operaciones con datos de 4 bytes en un solo ciclo de reloj.
- La memoria SRAM es de 96 kilobytes, superior a todas las placas mencionadas anteriormente y alberga un controlador DMA.
- La memoria de almacenamiento tiene 512 kilobytes de flash, una cantidad suficiente para cualquier código de programación.
- La alimentación eléctrica, es similar a UNO, solo que el amperaje de los pines se extiende hasta los 130-800 miliamperios, para 3.3 y 5 V respectivamente.
- Dispone de 54 pines de entrada-salida digitales, 12 son usados como PWM, 12 pines analógicos.
- 4 UARTS, capacidades de conexión USB OTG, dos conexiones conversión digital a analógico (DAC), 2 TWI.
- Un power Jack, SPI y JTAG.

El interfaz de conexionado de esta placa está muy completo y permite multitud de posibilidades.

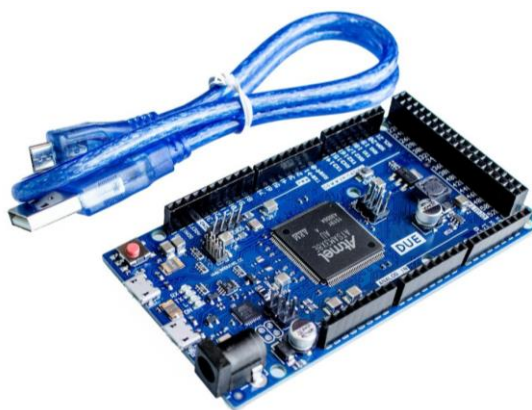


Imagen 77 Arduino Due

3.12.8 Arduino Mega

Su nombre deriva del microcontrolador del que está constituido, un ATmega2560.

- Trabaja a 16 Megahercios y con una tensión de 5 V.
- Tiene muchas funcionalidades que el ATmega320 del Arduino UNO.
- Es un microcontrolador de 8 bits que trabaja simultáneamente con una SRAM de 8 kilobytes, 8 KB de EEPROM y 256 KB de flash.
- Sus capacidades se asemejan al Due, pero se basan en arquitectura AVR en vez de ARM.
- Tiene características electrónicas idénticas a los anteriores, sobre todo al UNO.
- Consta de 54 pines digitales, 15 de ellos pueden ser utilizados como PWM y 16 pines analógicos.

Esta placa es la adecuada para los usuarios que necesitan más pines y potencia de la que ofrece UNO.

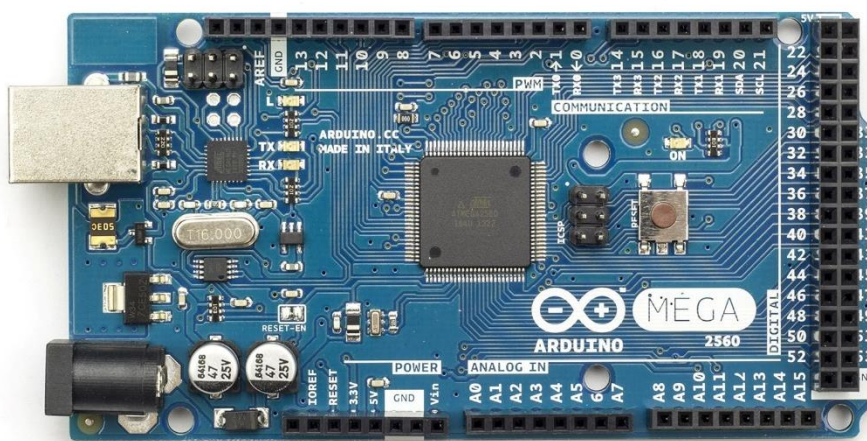


Imagen 78 Arduino Mega

3.12.9 Arduino Ethernet

Si se desea un Arduino UNO, pero facultades Ethernet hay dos opciones, una es adquirir un Arduino UNO y shield Ethernet para incorporarlo, la otra opción sería compra un Arduino Ethernet. Esta es semejante a la UNO, incluso en el aspecto, pero posee capacidades de red.

- El chip microcontrolador es un ATmega328 que opera a 16 Megahercios 5 V.
- Tiene 2 KB de SRAM, 1 KB de EEPROM y 32 KB de flash.

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

- Las características electrónicas son similares a las de UNO, solo que tiene capacidad para conexión Ethernet gracias a un controlador W5100 TCP/IP embebido y posibilita la conexión de tarjetas de memoria microSD.
- Dispone de 14 pines digitales, 4 son usado a la vez como PWM y 6 analógicos.
- Cabe destacar que Arduino reserva los pines 10-13 para ser utilizados para SPI, el 4 para conexión de tarjeta SD y el 2 le corresponde al interruptor W5100.



Imagen 79 Arduino Ethernet

3.12.10 Arduino Fio

Es una placa de tamaño reducido a la mínima expresión. Por su volumen es destinado especialmente para proyectos móviles inalámbricas o para ser introducidos en espacios estrechos.

- Su microcontrolador es ATmega328P, una versión semejante a la de Ethernet.
- Trabaja a una frecuencia inferior, 8 Megahercios.
- Debido a su reducido tamaño, limita ciertas comodidades, por ejemplo, se necesita un cable FTDI o una placa añadida adaptadora Sparkfun para subir los sketches.
- Las de trabajo se merman hasta los 3.35-12 V máximo.
- Dispone de 14 pines digitales, 6 de ellos de PWM y 8 pines de analógicos.
- Tiene una capacidad de memoria de 2 KB de SRAM, 32 KB de flash y 1 KB de EEPROM.

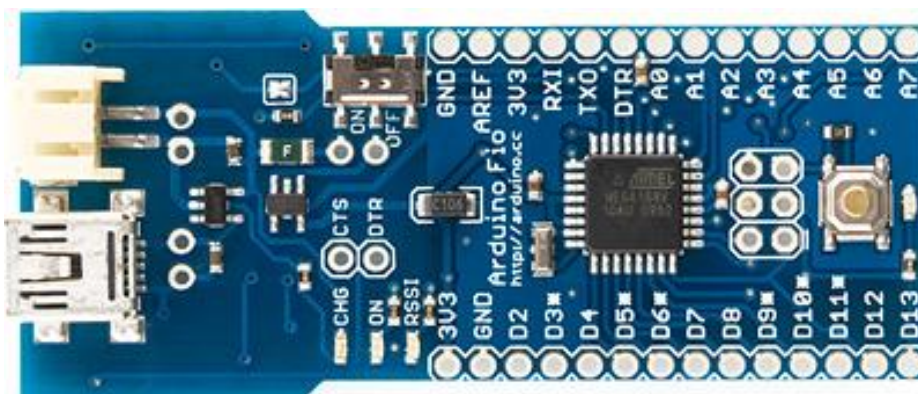


Imagen 80 Arduino Fio

3.12.11 Arduino Nano

Comenzaron integrando un ATmega328 como el de los modelos vistos anteriormente, pero tras el estudio 2.x se cambió por un ATmega168 a 16 Megahercios.

- Su volumen es aún más reducido que el de Fio, de tan solo 18,5x43,2 mm.
- Sus dimensiones no le restan la posibilidad de ser una placa completa, pero si que se requiere un cable mini-USB y no tiene conector de alimentación externa.
- Esta versión fue desarrollada por la compañía Gravitech, especialmente diseñado para aplicaciones de costo y tamaño reducido.
- Está constituido de 14 pines de entrada-salida digitales, 6 de ellos pueden ser usados como PWM y 8 analógicos.
- Tiene 16 KB de memoria flash, 1 KB de SRAM y de 512 bytes de EEPROM.

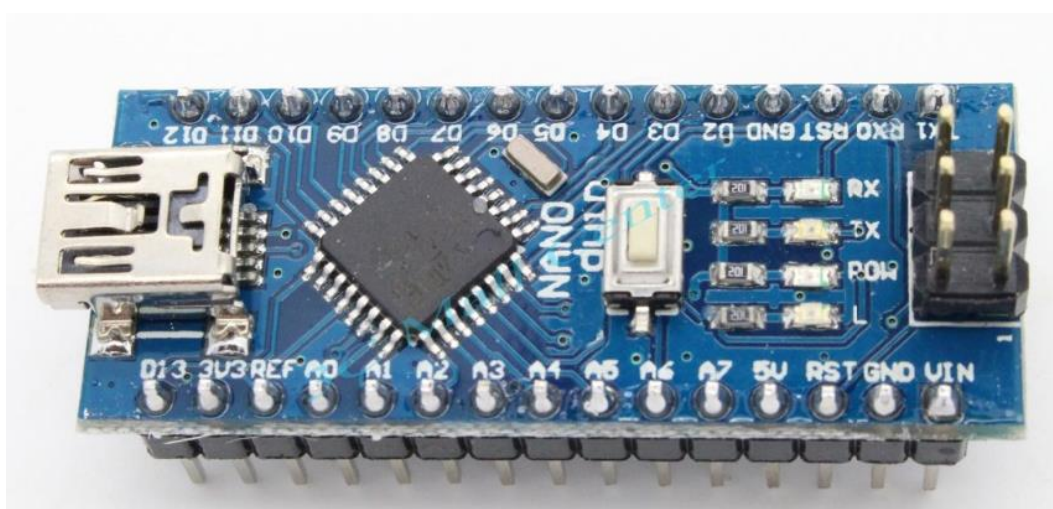


Imagen 81 Arduino Nano

3.12.12 Arduino LilyPad

Especial para ser incorporado en prendas y textiles.

- Fue diseñado y producido por Leach Buechley y SparkFun Electronics para ser usado con los fines similares que otros Arduinos, sus capacidades de integración y su base flexible.
- Se basa en dos modelos de microcontrolador distintos, ambos de bajo consumo denominados Atmega168V y ATmega328V, siendo esta última la más potente.
- Ambos trabajan a 8 Megahercios, pero el primero trabaja a solo 2.7 V y el segundo a 5.5 V.
- Dispone de 14 pines de entrada-salida digitales, 6 de ellos PWM y 6 analógicos a lo largo de su perímetro.
- Alberga 16 KB de memoria flash para el código del programa, 1 KB de memoria SRAM y 512 bytes de EEPROM.

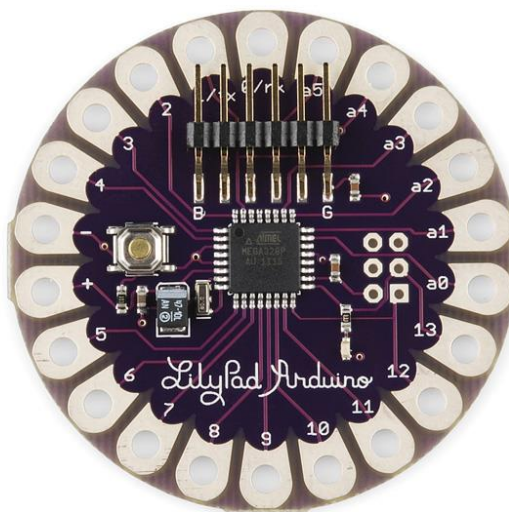


Imagen 82 Arduino LilyPad

3.12.13 Arduino Pro

- Consta de un microcontrolador ATmega168 o ATmega328, con modelos de 3.3 V y 5 V para 8 Megahercios o 16 Megahercios.
- Dispone 14 pines de entrada-salida digitales, 6 de ellos son utilizados como PWM y 6 pines analógicos.

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

- Esta placa desarrollada por SparkFun Electronics alberga entre 32 KB y 16 KB de flash según el microcontrolador en cuestión, 2 KB reservados para el gestor de arranque.
- La memoria SRAM es común para todas las versiones y los 512 bytes de EEPROM.



Imagen 83 Arduino Pro

3.12.14 Arduino Pro Mini

Es el hermano pequeño del Arduino Pro.

- Se destaca por su flexibilidad, precios bajos y su reducido tamaño.
- Para minimizar el coste y volumen consta de componentes mínimos, sin conector USB incorporado ni conectores de pin.
- El resto de características son idénticas a la versión Pro.

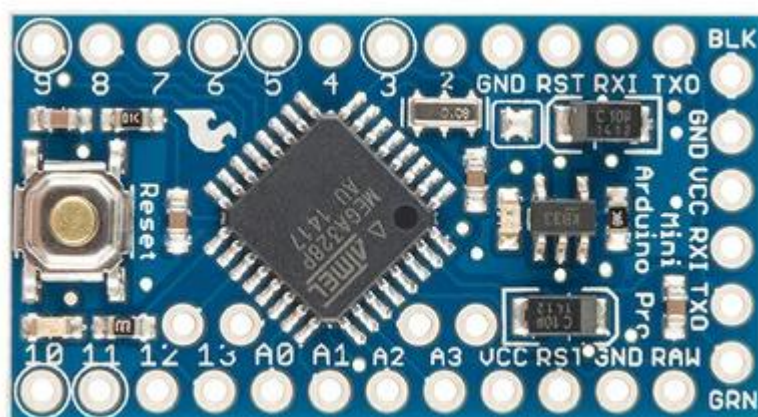


Imagen 84 Arduino Pro Mini

3.12.15 Arduino Mega ADK

- Esta placa se basa en ATmega2560 igual que la versión Mega.
- Su principal ventaja es que posee una interfaz lista para ser conectada mediante USB a dispositivos móviles tipos Android, debido a su IC MAX3421e.
- Tiene las capacidades de una placa Arduino Mega.

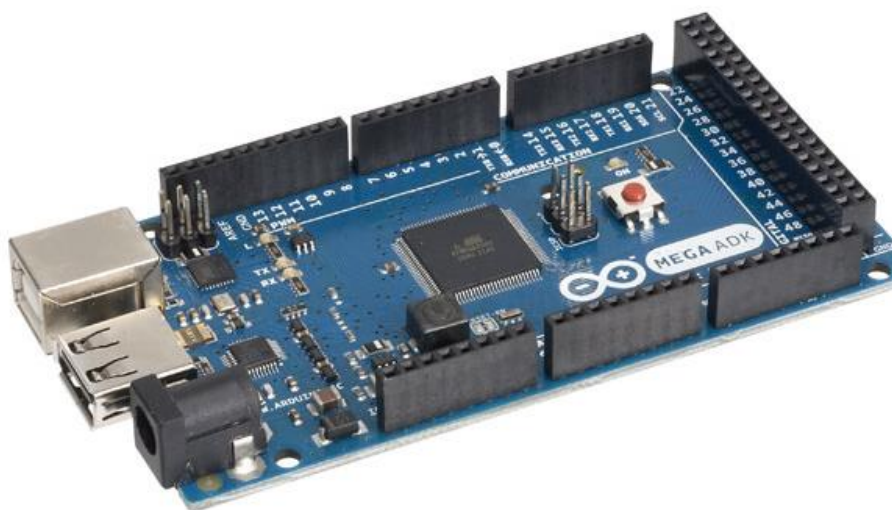


Imagen 85 Arduino Mega ADK

3.12.16 Arduino Esplora

- Se distingue del resto de placas, a más del volumen reducido, por su forma, en que alberga una serie de sensores onboard.
- Es el apropiado para los iniciadores del mundo de la electrónica y están explorando.
- Se compone de los siguientes elementos: sensores (temperatura, luz, acelerómetro), zumbador, botones, joystick, micrófono y un socket para unir una pantalla a color TFT LCD.
- Se constituye de un microcontrolador ATmega32u4 que trabaja a 16 Megahercios y 5 V, con SRAM de 2.5 KB y 1 KB de memoria EEPROM.
- La memoria flash llega a los 32 KB con 4 KB reservados al bootloader.
- El inconveniente es su capacidad de conectividad, casi cero, ya que todos los componentes conectados para los principiantes.

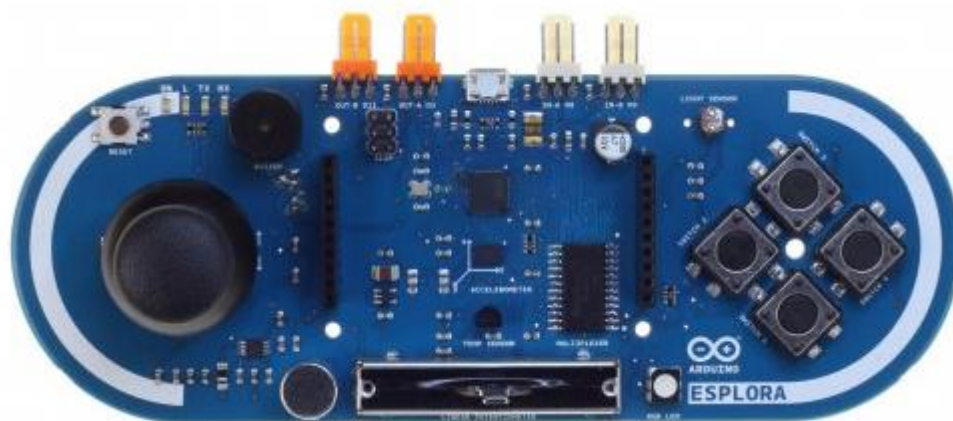


Imagen 86 Arduino Esplora

3.12.17 Arduino Micro

- Desarrollado por Adafruit, tiene una autonomía elevada y con volumen reducido.
- Es más económico con respecto a otros modelos.
- Cuenta con unas características idénticas a otros diseños, como un microcontrolador ATmega32u4 que trabaja a 16 Megahercios.
- Dispone de 20 pines entrada-salida digitales, 7 de ellos PWM y 12 analógicos.
- Sus funciones son similares a Leonardo.
- Cuenta con una capacidad de comunicación USB built-in, suprimiendo la necesidad de un segundo procesador.

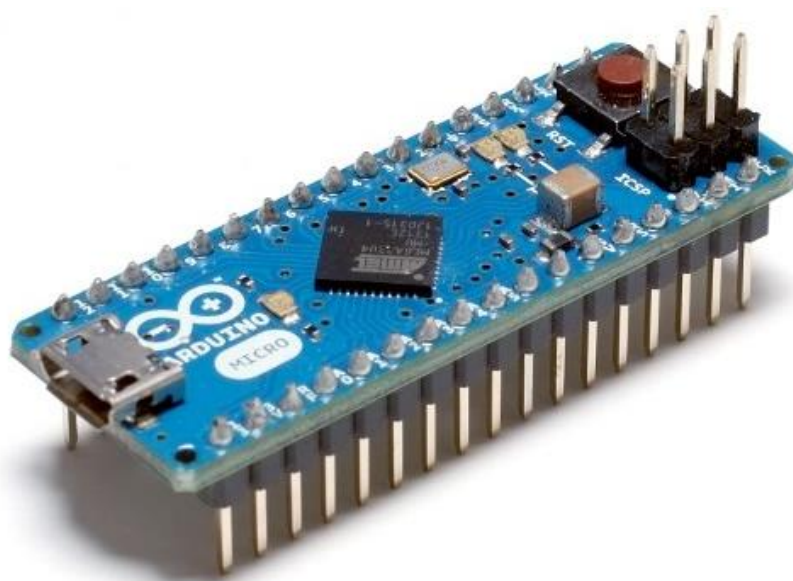


Imagen 87 Arduino Micro

3.12.18 Arduino BT

Es una placa Arduino con un módulo Bluetooth integrado y que posibilita la comunicación inalámbrica sin necesidad de adquirir un shield independiente.

- El módulo integrado es de tipo Bluegiga WT11.
- Sus características son similares a Arduino UNO, con microcontrolador ATmega168 o ATmega328 que trabaja a 16 Megahercios.



Imagen 88 Arduino BT

3.12.19 Arduino Duemilanove

- Surgió en 2009, se constituye de un microcontrolador ATmega168 o ATmega328.
- 14 pines digitales, 6 de ellos con capacidad PWM y 6 analógicos.
- Abarca conexión USB, una cabecera ISCP, entrada de alimentación, botón de reset.
- Es parecido a Arduino UNO.

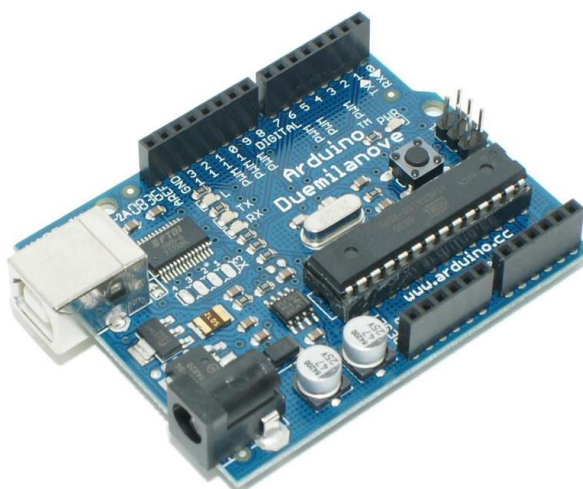


Imagen 89 Arduino Duemilanove

3.13 Placas no oficiales (compatibles)

Solo mencionaremos los más populares puesto que existen centenares de ellas y probablemente cada día aparezcan nuevos modelos de estas placas. Pero debemos prestar más atención sobre las versiones oficiales por cuestiones de soporte y de grupo de desarrolladores que resultan obvias, pero hay que admitir la excelencia de algunas placas no oficiales.

3.13.1 AVR.duno U+

- El creador de esta placa es SlicMicro
- Esta placa es compatible tanto en hardware como en software, con Arduino UNO Rev3.
- Para poder pasar el código desde Arduino IDE se debe seleccionar la opción Arduino UNO Rev3, como si ésta fuera la placa y el código cargará sin dificultades.
- Integra las siguientes características adicionales, SlicBus Port, un LED adicional, potenciómetro, pulsador.
- El microcontrolador del que está constituido es ATmega328, que comparte con otros modelos oficiales.
- Esta placa es excelente y es la apropiada para aquellos que desean explorar las características combinadas de Arduino Esplora y Arduino UNO, aunque es más limitada en gadgets onboard que la primera.
- Se destaca la ventaja de que su puerto SlicBus permite la conexión de módulos especiales fabricados por SlicMicro.



Imagen 90 AVR.duno U+

3.13.2 SainSmart UNO y Mega

- Estas placas SainSmart son completamente compatibles con Arduino Mega y Arduino UNO.
- El color y aspecto físico son bastante similares a las oficiales y emplean el mismo microcontrolador.
- Son más económicas que las oficiales.
- Utilizan el chip ATmega8u2 que viene programado para controlar el USB y convertirlo a serie.
- El encapsulado de los chips es más avanzado que el primitivo DIP del UNO oficial.

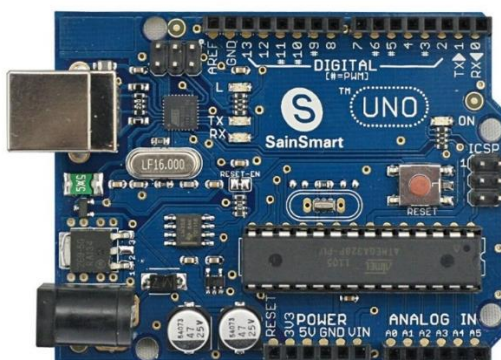


Imagen 91 SainSmart UNO y Mega

3.13.3 Roboduino

Creado por Curious Inventor, esta placa deriva de Arduino UNO desarrollado para robótica. Es compatible con el oficial. Tiene los pines en paralelo para conectar servomotores y sensores de una manera sencilla, de la misma manera incluye conexiones de alimentación y comunicación serial adicionales.



Imagen 92 Roboduino

3.13.4 Seeeduino

Esta placa compatible, tanto a nivel de software como a nivel de hardware, con Arduino Decimilia oficial. Por tanto, no habrá ningún inconveniente a la hora emplear Arduino IDE y los shields oficiales. La primera versión albergaba un ATmega168, pero se optó por un ATmega328 a partir de la versión 2.21. Esta placa ha sufrido varias modificaciones desde su creación, para poder aportar mayor flexibilidad y una experiencia formidable de usuario.

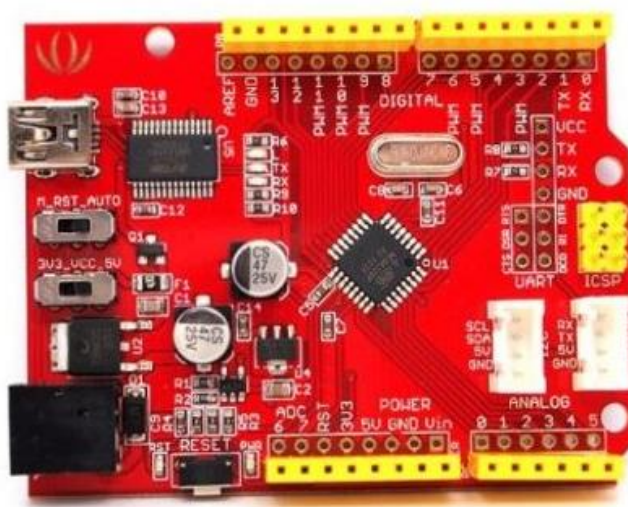


Imagen 93 Seeeduino

3.13.5 Zigduino

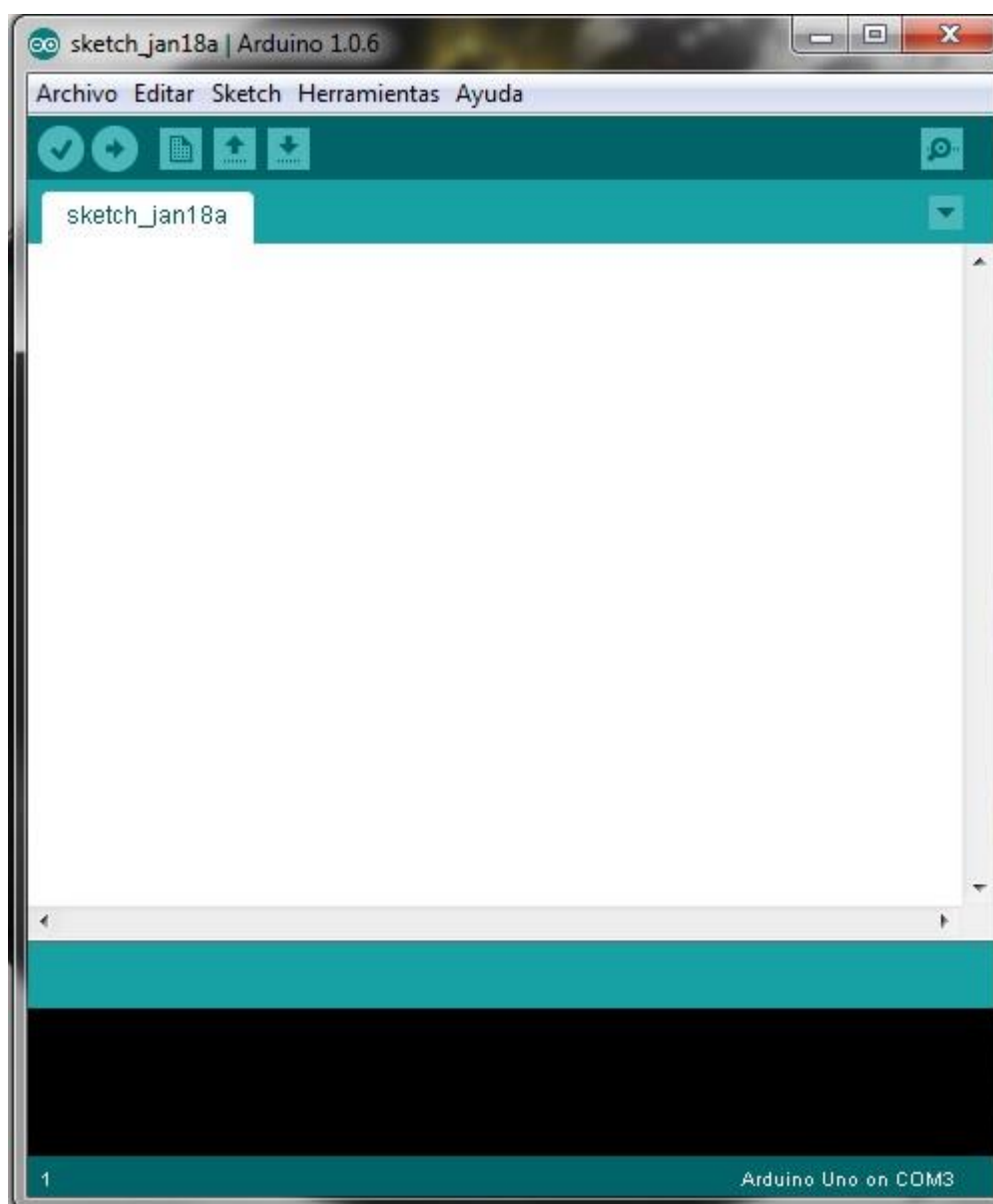
Creado por Logos *Electromechanical*. Integra un microcontrolador *ATmega128RFA1*, un *ZigBee* para conexiones a red inalámbrica, basado en el estándar *IEEE 802.15.4*. También alberga un Jack externo *RPSMA* y es totalmente compatible con Arduino Duemilanove.



Imagen 94 Zigduino

3.14 Instalación del IDE Arduino

Debido a que Arduino es como un microordenador que ejecuta un conjunto de códigos que previamente le hemos metido, requeriremos un programa para poder introducir estos códigos a la correspondiente placa. Este programa recibe el nombre de IDE, abreviatura en inglés *Integrated Development Environment* (en español Entorno de Desarrollo Integrado). Dicho IDE lo instalamos en nuestro PC, es un entorno muy fácil de usar y en él editaremos el programa que deseamos que Arduino ejecute. Una vez acabada la edición de nuestro código, lo cargaremos mediante el USB y Arduino empezará a trabajar de manera autónoma.



Para instalar este *IDE* en el PC, solo tendremos que ir a su propia página web oficial de descargas, o copiar y pegar en cualquier navegador el siguiente enlace: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>. Una vez abierta la ventana, bajo el apartado “*Download the Arduino Software*” aparecen las versiones del IDE para los sistemas *Windows*, *Mac Os X*, *Linux* y *Source*. Hacemos clic en nuestro sistema operativo, después en guardar archivo y los descargamos²⁷.

El archivo descargado viene comprimido en formato zip, por lo tanto, primeramente, deberemos descomprimirlo y nos creará una carpeta con el contenido. Cuando accedamos dentro de la carpeta obtenida, no hallaremos ningún instalador ni nada igual, solo un conjunto de archivos y subcarpetas que no requieren modificaciones para nada, porque el IDE viene listo para ser utilizado desde ese mismo instante: tan solo deberemos hacer doble clic sobre el archivo ejecutable *arduino.exe* y listo para empezar a escribir nuestros códigos.

Obviamente, podremos jugar con la carpeta que contiene los ficheros que forman IDE, moverla y guardarla en el lugar que nos guste en nuestro disco duro, pero manteniendo el contenido intacto. También se puede crear un acceso directo del ejecutable allí donde mejor nos resulte fácil de ejecutarlo.

3.15 Usos de los pines-hembra de la placa

En el Arduino existen diversos pines-hembra de E/S digitales, que proporcionan otras funciones especializadas, además de sus funciones *estándares*. Por ejemplo:

Pines 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO) Y 13 (SCK), se utilizarán para conectar cualquier dispositivo con el que se desee establecer una comunicación a través del protocolo SPI. En estos pines conectaremos nuestro Micro SD.

Pines 2 y 3: se pueden utilizar, con la ayuda de programación software para hacer gestiones de interrupciones.

Pines A4 (SDA) y A5 (SCL): reservado para conectar algún dispositivo con el que se desea establecer una comunicación mediante el protocolo I²C/TWI.

Pin 0 (RX) y pin 1 (TX): a través ellos, el microcontrolador ATmega328P realiza las operaciones de recepción y transmisión directa de datos en serie sin pasar por transformación

²⁷ <https://openwebinars.net/>

USB-Serie que ejecuta el chip ATmega16U2. Es decir, estos pines permiten llevar a cabo comunicaciones sin mediadores de dispositivos externos con el receptor/transmisor serie, de tipo TTL-UART, que viene integrado en el propio ATmega328P.

3.16 Librerías

En algunas ocasiones requerimos librerías que nos brinden funcionalidades o simplifiquen la programación. Arduino posee un gran número de ellas, pero a veces es necesario obtenerlas de las páginas web disponibles en internet o crear nuestras propias. Al darse este caso es necesario instalarlas para poder utilizarlas.

El proceso de instalación de una librería es tan sencillo como abrir la carpeta que contiene nuestro sketch o crear una que lo contendrá, si es que no se halla ya, el archivo IDE nos trae por defecto la carpeta *libraries* donde se encuentran las librerías predeterminadas y en esa misma carpeta añadiremos las que nos hagan en falta²⁸.

Sin meternos de lleno en detalles técnicos, definiremos la librería, como un fichero de código al que se va a tomar a partir de un programa hecho para Arduino, con la finalidad de que realce una cierta tarea. Existen diversas librerías desarrolladas por profesionales en internet, que nos servirán de ayuda al conectar prácticamente cualquier dispositivo a las tarjetas con Arduino.

3.16.1 La librería VirtualWire

Si queremos construir una red de comunicación entre dos arduinos de forma inalámbrica utilizando módulos de radio frecuencia la librería Virtual Wire es una herramienta que nos ayudará en el momento de establecer la comunicación. Lo primero que necesitaremos es descargar la librería, se halla disponible en Internet. Esta librería dispone de una serie de funciones que nos serán gran utilidad a la hora de crear proyectos.

1. Funciones de configuración

- `vw_set_tx_pin( )`: define el pin transmisión (el pin por defecto 12).
- `vw_set_rx_pin( )`: configura el pin de recepción (el pin por defecto el 11).
- `vw_set_ptt_pin()`: activación y configuración del modo “*push to talk*”. Esto quiere decir que el pin seleccionado deberá estar en un determinado estado para que se lleve a cabo el proceso de recepción de un mensaje (el pin por defecto es el 10).

²⁸ <http://www.trastejant.es/>

- `vw_set_ptt_inverted(true)`: define la polaridad del pin “push to talk”.
- `vw_setup(2000)`: inicia la comunicación a la velocidad indicada.

2. Funciones de transmisión

- `vw_send(message, length)`: este código lo empleamos para enviar los datos.
- `vw_tx_active()`: este comando devuelve TRUE si mensaje ha sido enviado. Es útil para probar si se ha terminado de enviar el mensaje.
- `vw_wait_tx()`: se utiliza este algoritmo para generar un tiempo de espera hasta que el los paquetes se han terminado de enviar²⁹.

3. Funciones de recepción

- `vw_rx_start()`: el comienzo de recepción.
- `vw_have_message()`: devolverá true si se ha recibido un mensaje.
- `vw_wait_rx()`: Este algoritmo inicializa la recepción de datos.
- `vw_wait_rx_max()`: mantendrá a la espera de recibir un mensaje el tiempo determinado.
- `vw_get_message(buf, &bublen)`: lectura y almacenamiento del mensaje recibido en el buffer.
- `vw_rx_stop()`: fin de la recepción de mensajes³⁰.

Para poder utilizar la librería en el sketch es necesario incluir a la librería VirtualWire al inicio del código: `#include <VirtualWire.h>`.

3.16.2 La librería SD

Las memorias SD son las más utilizadas por dispositivos portátiles, por su diminuto tamaño y su gran capacidad, se halla disponible en diferentes capacidades y precios, debido a su gran demanda. Estas características lo dotan una mejor alternativa de almacenamiento para utilizarlo en Arduino, sobre todo cuando se desea almacenar gran cantidad de información.

Las tarjetas de memoria pueden encontrarse en tres tamaños, Mini SD, SD estándar y Micro SD, siendo este último el tamaño más popular, funcionan igual, pueden emplear adaptadores para usarlos en sockets de diferente tamaño.

²⁹ <http://creatinueva.com>

³⁰ <http://www.trastejant.es>

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

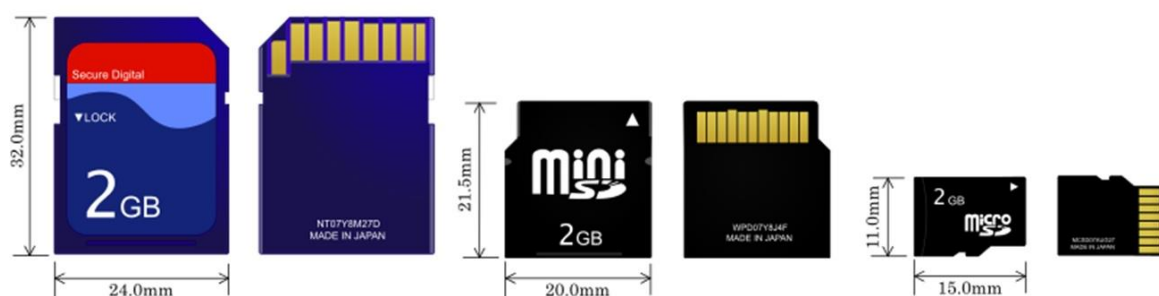


Imagen 95 Dimensiones de Micro SD

La librería SD utiliza únicamente la nomenclatura 8,3 es decir 8 caracteres para el nombre del fichero y 3 para la extensión. No es posible usar nombres de fichero que excedan la longitud mencionada o conteniendo espacios. Además, los nombres de los archivos son case-insensitive; es decir es lo mismo “myFile.tXt” que “myFile.TXT” que “myFile.txt”.

La librería toma por defecto que la conexión entre la tarjeta SD y el microcontrolador de la placa Arduino se establece por medio del protocolo SPI mediante los pines digitales número 10, 11, 12, y 13.

Los puntos que vamos a tener en cuenta a la hora de conectar y utilizar tarjetas SD:

Las tarjetas SD son gestionadas mediante comunicación SPI

Definamos primero lo que es SPI (Serial Peripheral Interface) es esencialmente un bus de comunicación a nivel de circuitos integrados. La transferencia de información se realiza en serie, es decir un bit después de otro. Este bus viene configurado mediante 4 pines:

1. SCLK o SCK: señal de reloj del bus. Esta señal gobierna la velocidad a la que se realiza la transmisión de cada bit.
2. MISO (en inglés Master Input Slave Output): es la línea de entrada a nuestro dispositivo, por aquí se obtienen los datos desde otro integrado.
3. MOSI (Master Output Slave Input): transferencia de datos hacia el otro integrado.
4. SS o CS (Slave Select o Chip Select): esta señal es opcional y en algunos casos no es utilizable. Pero su función es habilitar el integrado hacia el que se transmiten los datos.

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

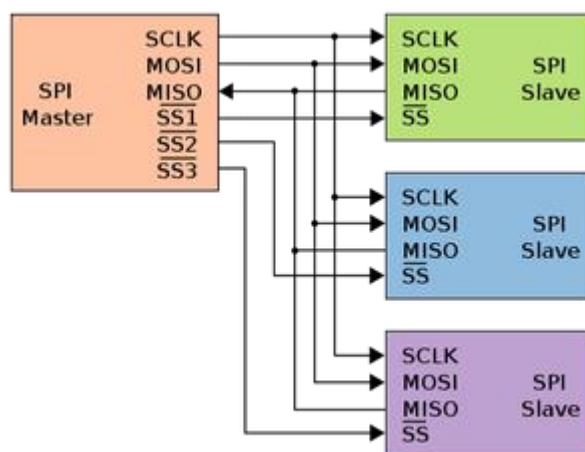


Imagen 96 Comunicación SPI

El funcionamiento del SPI es similar al de un shift register donde a cada toque de clock se captura un bit. De todos modos, no es necesario establecer un direccionamiento de los chips ya que a través de la señal CS, se habilita al integrado con el que se desea comunicar.

Proceso de transferencia de datos de un Master es el siguiente:

1. Se habilita el dispositivo al que hay que enviar la información a través de CS.
2. Se transporta desde el buffer de salida el byte a enviar.
3. La ruta de Clock empieza a generar la señal cuadrada donde habitualmente por cada flanco de bajada se pone un bit en MOSI.
4. El receptor usualmente en cada flanco de subida apresa el bit de la línea MISO y lo ingresa en el buffer.

El proceso es repetido 8 veces y se ha transmitido un byte. Al finalizar la transmisión se vuelve a poner la línea *Chip Select* (CS) en reposo. Debe tenerse en cuenta que a la vez que el Master (Maestro) está enviando un dato también lo recibe, así que si el Slave (esclavo) ha depositado algún byte en el buffer de salida, este también será transmitido y recibido por el maestro³¹.

Al utilizar un módulo SD el pin MOSI va conectado al pin 11 de la placa de Arduino, MISO en el 12, CLK al pin 13 y SS en el 10 o el 4 pero predefinido.

³¹ <http://www.electroensaimada.com>

- **Uso de distintos tipos de SD**

Son útiles tanto las tarjetas SD, las versiones SD, SDHD, así como el modelo micro SD.

Formatos FAT16 Y FAT32

Tal vez se formatee la tarjeta SD antes de usarla. El formato predeterminado y el adecuado es el FAT32.

- **Extensiones y tipos de ficheros**

Los formatos están limitados en cuanto al tipo de nombres que se utilice. En principio trabajando con cualquier nombre tipo “miarchivo.txt” o “myfile.log” no debería causar problemas.

- **Asegurarse de abrir y cerrar los archivos**

Antes de usar la tarjeta de memoria SD de Arduino es necesario abrir el fichero sobre el que se vaya escribir los datos. Si por motivo desconocido se pierde la comunicación con dicho archivo antes de cerrarlo, es probable que se pierda la información. El proceso de almacenamiento de datos finalizará con éxito cuando se cierra el archivo o se usa la función `flush()`:

- **Definir el pin correcto al iniciar la comunicación**

Como se observará en el programa, antes de comenzar la lectura y escritura de datos en la tarjeta SD de Arduino es imprescindible utilizar la instrucción `SD.begin()`, configurando entre el paréntesis el pin CS del shield de SD. Esto significa que si usamos la placa de Arduino UNO o semejante utilizaremos la instrucción `SD.begin(10)`, o `SD.begin(4)`.

- **Permite utilizar varios ficheros**

Es posible leer y escribir datos en diferentes archivos siempre que esté cerrado el que se estaba utilizando antes de abrir el siguiente. Este sirve de ayuda para clasificar la información de diferentes sensores, configuraciones, etc.

- **Verificar la carga de datos**

Aunque no se requiere necesariamente, siempre deberíamos comprobar que los archivos se han abierto y escrito correctamente y que la información se ha almacenado bien.

Para poder utilizar la librería en el sketch es necesario incluir a la librería SD al inicio del código: `#include <SD.h>`.

A continuación, exponemos las funciones principales de la librería SD, el cual es una síntesis de la referencia que provee la página oficial de Arduino:

<https://www.arduino.cc/en/Reference/SD>

SD.begin(): inicializa la tarjeta y la biblioteca SD, como parámetro se define el pin CS al que estaría conectado el módulo, si no se indica el pin, se utiliza el valor predeterminado CS por hardware. El resto de pines deberán estar conectados al SPI por hardware del Arduino.

SD.exists(): comprueba la existencia del fichero o carpeta definido en la tarjeta SD. Como un solo parámetro tiene el nombre del archivo del cual se desea confirmar su existencia, si éste existe la función nos devolverá un true de lo contrario devuelve false.

SD.mkdir(): crea el directorio determinado, si los subdirectorios no existen, también se crearán. Por ejemplo: `SD.mkdir("Carpeta/trabajo1/files")`, crea la carpeta "files" y si las carpetas Carpeta y trabajo1 no existen, entonces también se crearán. La función devuelve true si la creación del directorio fue exitosa de lo contrario nos devuelve false.

SD.remove(): suprime el archivo creado de la tarjeta SD, se debe incorporar el directorio. Solo suprime el archivo más no el directorio. Retorna true si se logra suprimir el archivo en caso contrario devuelve un false.

SD.rmdir(): suprime un directorio de la tarjeta SD. Esta carpeta debe estar vacía para poder ser borrada. Retorna true si la eliminación de la carpeta tuvo éxito en caso contrario false.

SD.open(): abre un archivo en la carpeta SD y se debe de incorporar el directorio si el archivo está en carpetas. En caso de que no exista, será creado con el nombre determinado, pero no será posible crear el directorio si este no existe. Si el archivo se abre como solo lectura se escribe la función: `FILE_READ` o como lectura y escritura: `FILE_WRITE`, el modo predeterminado en caso de que no se defina es `FILE_READ`.

Una vez definido el objeto de tipo File a través de la función `SD.open()`, inmediatamente se puede manipular el archivo especificado con distintas instrucciones particulares de ese objeto. Imaginando que ese objeto de tipo File se llama "miarchivo", las instrucciones que servirán de ayuda para escribir datos en una carpeta son:

`miarchivo.available()`: comprueba si hay bytes disponibles para leer en el fichero y devuelve el número de bytes disponibles.

`miarchivo.read()`: lee un byte del fichero abierto.

`miarchivo.write()`: escribe el dato en el archivo, el archivo debe hallarse en modo lectura y escritura. Utilizando la instrucción `miarchivo.write(buf, len)` se puede escribir una matriz(array) de byte, pero es necesario especificar el tamaño (len).

`miarchivo.print()`: esta función tiene las mismas características que un `Serial.print()`, dentro del paréntesis se define una variable o texto, el cual será enviado como caracteres. Si deseamos añadir al final una nueva línea o un salto se usa la función `miarchivo.println()`.

`miarchivo.size()`: devuelve el tamaño del fichero “miarchivo” en bytes.

`miarchivo.position()`: devuelve la posición actual en donde se va a leer o escribir el siguiente byte³².

`miarchivo.seek()`: busca una posición en un archivo. En el paréntesis se añadirá un objeto que debe ser un número entre 0 y el tamaño en bytes del fichero.

`miarchivo.close()`: cierra un fichero y se asegura que los datos escritos en él han almacenados exitosamente en la tarjeta³³.

3.16.3 Librerías GPS y *SoftwareSerial*

- **Qué es GPS**

Las siglas GPS se conocen en inglés “Global Positioning System” que en español quiere decir “sistema de posicionamiento global”.

Definición de GPS: el GPS es un Sistema Global de Navegación basado en 24 satélites, que nos permite determinar la posición de un objeto, una persona, o una nave en todo el mundo con una precisión que va de los centímetros a los metros.

- **Orígenes y control del navegador GPS**

Para hablar de los orígenes del GPS, hay que ubicarlos en el ámbito de la Defensa de los Estados Unidos de América. Fue creado, instalado y empleado en el año 1973 por el

³² <http://www.naylampmechatronics.com>

³³ <http://www.prometec.net>

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Departamento de Defensa, durante los primeros 7 años de su creación era único y exclusivo para usos militares, pero a partir de la década de los 80 el gobierno de Estados Unidos permitió a la sociedad civil gozar de esta herramienta extraordinaria.

- **Funcionamiento del sistema GPS**

Para determinar una posición, el navegador GPS contacta automáticamente como mínimo con 4 satélites de la red, de los que obtiene unas señales indicando la posición y el reloj de cada satélite. El navegador GPS sincroniza y determina el retraso de las señales (que viene fijado por distancia al satélite), determinando la posición en que éste se encuentre.

El GPS fue desarrollado con el objetivo de que proporcione al usuario conocimiento sobre su posición, información de la dirección a la cual se dirige, la velocidad, tiempo aproximado de llegada, entre otros datos. Algunos brindan guiado de voz, para instruir al conductor sobre los movimientos que debe realizar para seguir la trayectoria correcta, direcciones alternativas, limitaciones de velocidad, entre otros.

- **Sus empleos y utilidad**

El GPS puede ser empleado en barcos, camiones, aviones, carros, entre otros. En cuanto a la comercialización, los GPS inundan el mercado para la gente con fines múltiples; senderismo, montañismo; incluso su uso se ha extendido en los campos de Golf. No obstante, la utilización más propagada es su uso en los vehículos que circulan por carreteras³⁴.

- **Posición de un objeto**

Ahora bien, para calcular la posición de un objeto, persona o dirección, el GPS determina el valor de la longitud, en referencia al Meridiano Cero o de Greenwich, los valores de latitud y de altitud. Como se ha explicado en el apartado anterior que, para ubicar el punto, es esencial como mínimo cuatro satélites, y el receptor GPS obtiene señales y hora de cada uno de ellos, y mediante la triangulación determina la posición donde se halla³⁵.

Antes de empezar a escribir el programa, se debe bajar dos librerías que se incluyen a la carpeta *libraries* de Arduino IDE en el ordenador. Primero descarga la librería *TinyGPS* que nos brinda las posibilidades de manejar los periféricos del GPS, obtener datos, etc. de la

³⁴ <https://www.euroresidentes.com/>

³⁵ <http://www.significados.com/>

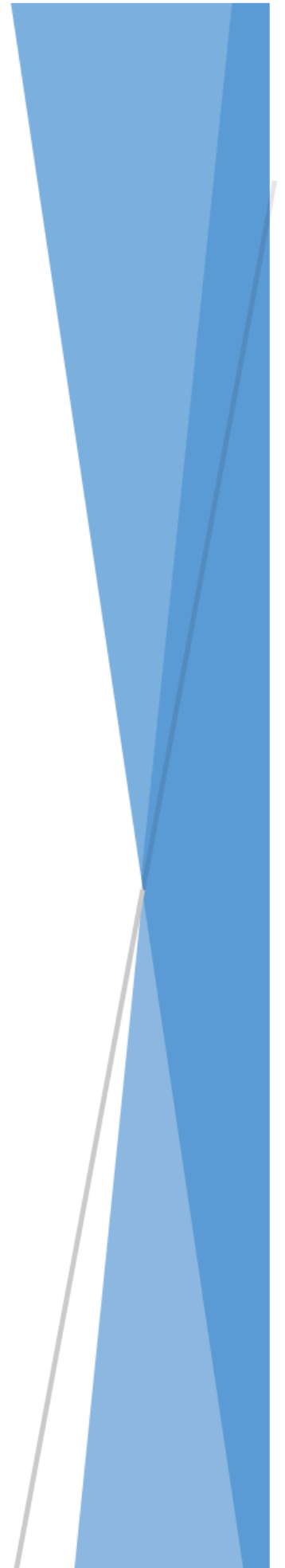
misma forma, se debe usar una librería creada exclusivamente para poder comunicarse con este tipo de dispositivos *SoftwareSerial*³⁶.

³⁶ <http://beetlecraft.blogspot.com.es/>
Vicente Mbogo Ndong Okomo

CAPITULO 4:

DISEÑO DE MÓDULOS

MULTISENSORIALES



4 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MÓDULOS MULTISENSORIALES.

4.1 Introducción

Como se ha expuesto al principio de este documento, el objetivo de este proyecto está orientado a la construcción de una plataforma compuesta de módulos multisensoriales distribuidos para análisis medioambiental, los cuales estarán constituidos por un sistema de medida, almacenamiento, transmisión y recepción de datos, todo el conjunto gobernado por Arduino. El sistema de medida se encargará de registrar las acciones del ambiente, y toda esta información se guarda en el sistema de almacenamiento para un análisis posterior y se transmiten.

A continuación se presenta el esquema de cada cápsula, en el cual se muestra el conjunto de los dispositivos utilizados y la función que realizan de forma general.

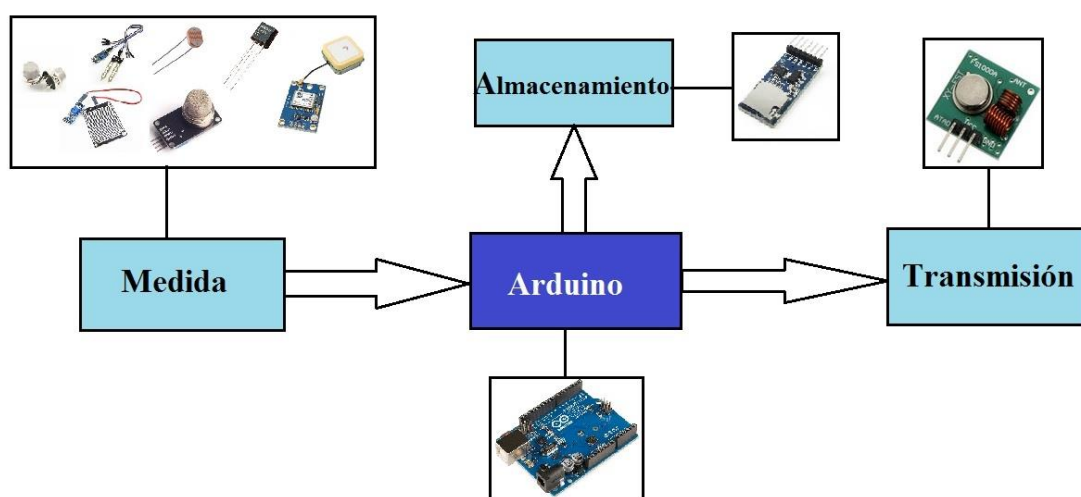


Imagen 97 Esquema de cápsula de Transmisión

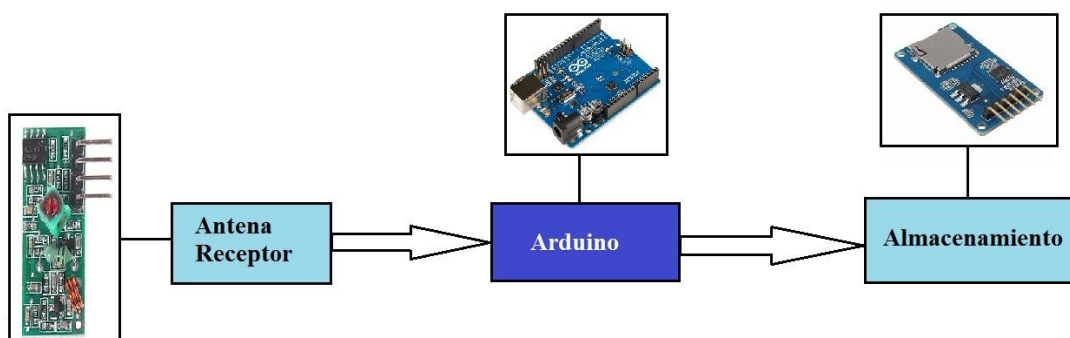


Imagen 98 Esquema de cápsula de Recepción

Imagen 97. Una cápsula de transmisión integra detección, procesamiento de la señal, recolección y almacenamiento de la información, y transmisión.

Imagen 98. La cápsula de recepción se compone de una antena que recibe información, un microcontrolador para procesar la señal, y un sistema de recolección y almacenamiento de dicha información.

Para diseñar y construir los módulos multisensoriales de este Proyecto, el cual se centra en el análisis medioambiental, se deberá tener en cuenta todo lo dicho anteriormente para dar respuesta a las siguientes preguntas.

- ¿Dónde vamos a aplicar estos módulos multisensoriales?
- ¿Cuáles son las variables físicas o químicas podemos medir en el entorno elegido?
- ¿Qué sensores del mercado son apropiados para cada entorno?
- ¿Qué placa de Arduino se adapta mejor a nuestras necesidades?
- ¿Qué programa utilizar para el análisis y representación de los datos adquiridos por los módulos?
- ¿En qué tipo de formato escribirán los sensores la información?

A todas estas cuestiones se pretende contestar en esta sección de forma que poco a poco se vaya caracterizando los módulos multisensoriales su diseño y construcción finales.

4.1.1 Consideraciones previas

Los módulos multisensoriales son cápsulas que están formadas por un conjunto de sensores con ciertas capacidades sensitivas y de comunicación las cuales permiten construir redes inalámbricas sin necesidad de disponer de una infraestructura física ni administración central. Los módulos multisensoriales, es un término relativamente reciente en adquisición y tratamiento de información con diversas aplicaciones en distintas áreas tales como detección ambiental, edificios, desastres naturales, y agricultura. Estos módulos se caracterizan por su facilidad de despliegue y por su facilidad de configuración, así como almacenar datos referentes a los sensores locales de cada punto, son de pequeñas dimensiones. Los beneficios que nos pueden aportar, medir para conocer la situación actual del entorno.

4.1.1.1 Aplicaciones de los módulos multisensoriales

Las redes multisensoriales se pueden utilizar en varios campos como se expuso anteriormente:

4.1.1.1.1 Gestión de energía en los edificios

Hay periodos en los que la iluminación y climatización natural son aprovechables sin necesidad de utilizar los medios artificiales. Aquí con los módulos multisensoriales se pueden estudiar el microclima del interior del edificio y las condiciones del clima del ambiente al que está inmerso el edificio, para ello colocamos los módulos adentro y fuera del recinto, se encargarán de registrar en cada momento los cambios que se producen en ambos espacios, a partir de los datos recogidos por las cápsulas se llevará a cabo un análisis exhaustivo y sacar conclusiones.

4.1.1.1.2 Agricultura

Los módulos multisensoriales pueden ser una herramienta para monitorizar y controlar los cultivos, brindan una concentración de puntos de medida lo suficientemente elevada como para medir parámetros del terreno y de la planta según la extensión del suelo, conociendo la situación de cada parcela, y tomar las decisiones convenientes para optimizar el cultivo.

4.1.1.1.3 Desastres naturales, incendios

Los factores meteorológicos condicionan de una forma decisiva el nivel de riesgo de incendio: unas condiciones meteorológicas críticas de altas temperaturas, baja humedad relativa, acusado fenómeno tormentoso o de episodios de viento fuerte, aumentan la posibilidad de incendio forestal y agravan los daños por propagación. Por ello, es de gran interés el poder prever las circunstancias meteorológicas más desfavorables que aumentan el riesgo de que se declare un incendio forestal, o de que éste alcance grandes proporciones.

Prestar atención al riesgo de incendios forestales está hoy en día basado en la utilización puestos de vigilancia forestal, medida de humedad y temperatura en áreas relativamente extensas, así como velocidad y orientación de viento. En casos de densidades forestales de grandes dimensiones, contar con sensores que permitan obtener medidas por toda la región bajo vigilancia permitiría detectar de manera local, con mayor rapidez los puntos de mayor riesgo de incendio, así como permitir una rápida neutralización.

4.1.1.2 Variables físicas o químicas a medir en el entorno

Conocer los elementos que intervienen en un escenario objeto de estudio es de vital importancia como se cita a continuación, en los tres campos mencionados anteriormente:

4.1.1.2.1 Variables para gestión de energía en edificios

Disponer de un sistema de gestión de iluminación y climatización permitirá una reducción drástica de la energía invertida en la iluminación y climatización. Pero llevar a cabo las evaluaciones de desperdicio de energía, aunque no solo debería preocuparse por el ahorro, también preguntar si en cada caso las condiciones son favorables para los ocupantes, porque cuando un individuo siente bienestar termofísico con el ambiente que está inmerso, se dice que su situación es de comodidad termofísica o que se encuentra en condiciones de confort térmico. En cambio, cuando se encuentra en situación de incomodidad termofísica, se habla de no bienestar termofísico que puede conllevar a una situación de estrés térmico. La comodidad termofísica o el confort, pueden ser situaciones extensas en el tiempo, aunque tampoco pueden ser permanentes.

La necesidad de contar con una cierta variación en las condiciones ambientales, a las que se encuentra inmersa una persona ha sido demostrada en pruebas de laboratorio, lo cual es lógico, teniendo en consideración que en todo momento las condiciones naturales, las que se vinculan con el clima de un lugar, están en constante variación. Las variables a controlar en la gestión de energía en los edificios serán:

- **Iluminación**

La iluminación en el interior de los recintos tiene por objeto satisfacer los siguientes:

- Proporcionar un ambiente visual adecuado.
- Ayudar a llevar a cabo tareas visuales.
- Contribuir a crear un entorno de trabajo seguro.

La creación de un entorno de trabajo fiable tiene que ocupar el primer lugar en el catálogo de prioridades y, en general, se obtiene un aumento de seguridad haciendo que los peligros sean claramente visibles. La prioridad de las demás necesidades estará condicionada en gran medida del uso que se le dará al ambiente interior.

La luz y el color tiene una influencia en nuestra sensación general de bienestar, englobando la moral y la fatiga. Cuando los niveles de iluminación están por debajo de los necesarios, los objetos tienen poco o ningún color o forma y se origina una pérdida de perspectiva. Al contrario, el exceso de luz puede ser tan incómodo como su carencia.

Las condiciones de iluminación de un recinto cerrado pueden conseguirse mediante iluminación artificial o luz natural, o la combinación de ambas. Además, se ha demostrado que el contacto con el ambiente exterior contribuye a la sensación.

- **Factores que determinan el confort visual**

Las condiciones que un sistema de iluminación debe satisfacer para proporcionar las situaciones necesarias para el confort visual son las siguientes:

- Iluminancia óptima.
- Condiciones de contraste apropiadas.
- Ausencia de luces discontinuos o efectos estroboscópicos.
- Iluminación uniforme.
- Ausencia de brillos deslumbrantes.
- Colores correctos.

La iluminación en el interior de los recintos interiores tiene por objeto satisfacer los siguientes:

- Proporcionar un ambiente visual adecuado.
- Ayudar a llevar a cabo tareas visuales.
- Contribuir a crear un entorno de trabajo seguro.

La creación de un entorno de trabajo fiable tiene que ocupar el primer lugar en el catálogo de prioridades y, en general, se obtiene un aumento de seguridad haciendo que los peligros sean claramente visibles. La prioridad de las demás necesidades estará condicionada en gran medida del uso que se le dará al ambiente interior.

La luz y el color tiene una influencia en nuestra sensación general de bienestar, englobando la moral y la fatiga. Cuando los niveles de iluminación están por debajo de los necesarios, los objetos tienen poco o ningún color o forma y se origina una pérdida de perspectiva. Al contrario, el exceso de luz puede ser tan incómodo como su carencia.

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Las condiciones de iluminación de un recinto cerrado pueden conseguirse mediante iluminación artificial o luz natural, o la combinación de ambas. Además, se ha demostrado que el contacto con el ambiente exterior contribuye a la sensación.

- **Niveles de iluminación**

Todas las actividades requieren un nivel determinado de iluminación en el área donde se lleva a cabo. Generalmente, cuanto más sea la dificultad de percepción visual, más es el nivel medio de la iluminación. En varias revistas se presentan las directrices de niveles mínimos de iluminación asociados a distintas tareas. En el siguiente cuadro se hace referencia a los niveles de iluminación recomendados por cada actividad desarrollada.

Tareas y clases de local	Iluminancia media (lux)		
	Mínimo	Recomendado	Óptimo
Zonas generales de edificios			
Zonas de circulación, pasillos	50	100	150
Escaleras, escaleras móviles, roperos, lavabos, almacenes y archivos	100	150	200
Centros docentes			
Aulas, laboratorios	300	400	500
Bibliotecas, salas de estudio	300	500	750
Oficinas			
Oficinas normales, mecanografiado, salas de proceso de datos, salas de conferencia	450	500	750
Grandes oficinas, salas de delineación, CAD/CAM/CAE	500	750	1000
Comercios			
Tareas y clases de local	Iluminancia media (lux)		
	Mínimo	Recomendado	Óptimo
Comercio tradicional	330	500	750
Grandes superficies, supermercados, salones de muestras	500	750	1000
Industria (en general)			

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Trabajos con requerimientos visuales limitados	200	300	500
Trabajos con requerimientos visuales normales	500	750	1000
Trabajos con requerimientos visuales especiales	1000	1500	2000
Viviendas			
Dormitorios	100	150	200
Cuartos de aseo	100	150	200
Cuartos de estar	200	300	500
Cocinas	100	150	200
Cuartos de trabajo o estudio	300	500	750

Tabla 3 Iluminancias recomendadas en función de las tareas desarrolladas

Al adoptar un cierto nivel de iluminación para una tarea determinada, deberán tenerse en cuenta los siguientes puntos:

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

○ Magnitudes de iluminación

En el estudio de la iluminación se puede encontrar con varias unidades. Las básicas son las que presenta en el siguiente cuadro.

Magnitud	Unidad
Flujo luminoso	Lumen (lm)
Intensidad luminosa	Candela (cd)
Nivel de iluminación	Lux =lm/m ²
Luminancia o brillo fotométrico	cd/m ²
Contraste	diferencia de luminancia entre un objeto y su entorno
Reflectancia	Su valor varía entre 0 y 1

Tabla 4 Unidades y magnitudes de iluminación

• Humedad

La humedad es un elemento natural, que aparece en forma molecular y se halla básicamente relacionada con la concentración de moléculas de agua que hay en una determinada sustancia, la cual se presenta en estado sólido o gaseoso.

El estudio de la humedad ambiental es de vital importancia en el control de los edificios. Por ello, se considera que una humedad relativa inferior a 30% no es saludable, es un aire muy seco y puede provocar irritación de ojos, nariz y garganta, dolor de cabeza, fatiga, alergias, etc. De la misma manera, se considera que una humedad superior al 70% tampoco es saludable para los ocupantes ni para la salud del edificio: aparición de moho, daño de los materiales de aislamiento. Aunque la humedad varía de acuerdo a las estaciones, debe saber que el aire caliente puede reportar más vapor de agua que el aire frío. En la época de frío el aire interior pasa a través de la pared del edificio, éste se enfría, lo contrario de lo que sucede en verano cuando los edificios disponen de aire acondicionado. De hecho, es necesario conocer la humedad del interior y exterior del edificio, para el bienestar del edificio y de los ocupantes. Y también debe tener en cuenta la humedad permitida por la ley, que establece para todos los edificios públicos:

- Verano: humedad relativa entre 45 y 60%.
- Invierno: humedad relativa entre 45 y 50%.

• Temperatura

La temperatura es una magnitud física que manifiesta la concentración de calor, ya sea de un objeto, de un cuerpo o del ambiente. La magnitud de temperatura está ligada a la noción de frío y caliente.

El Real Decreto (BOE 23-4-97) fija las disposiciones mínimas de seguridad y salud deben satisfacer los lugares de trabajo, en el dicho catálogo tenemos la temperatura. Para cumplir esta ley el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo ha diseñado un plan para evaluar y prevenir los riesgos relativos a la ocupación de los entornos de trabajos, que pone a disposición las pautas técnicas y las recomendaciones para favorecer la interpretación y correcta aplicación del mencionado Real Decreto.

El instituto que se encarga de regular las disposiciones mínimas de protección en los lugares de trabajo, establece una temperatura de entre 17 y 27°C para tareas que se llevan a

cabo en oficina, y de entre 14 y 25°C, en recintos en los que se desarrollan actividades ligeras, este mismo organismo marca para invierno una temperatura de 17 y 24°C y en verano, cuando llevamos ropa más ligera, una temperatura entre 23 y 27°C. Lo que significa que cuando se pongan en funcionamiento los sistemas de calefacción, deberán cuidar que la temperatura generada por éstos no exceda los niveles establecidos en invierno. La temperatura se expresa en las siguientes unidades: Celsius o grados centígrados, Fahrenheit y Kelvin. Pudiendo utilizar las diferentes ecuaciones que relacionan ambas unidades, para convertir una a la otra.

4.1.1.2.2 Magnitudes de la agricultura

La agricultura, es uno de los sectores más tradicionales, también ha conocido un gran progreso como el resto de sectores, con la actualización tecnológica consigue actualmente cotas de productividad que hace no muchos años eran impensables. Con el progreso de los cultivos y en muchos casos las recientes funcionalidades que les dan, como en el caso de las aplicaciones farmacológicas, biocombustibles, agricultura ecológica, etc. llega el deseo de monitorizar en tiempo real y en cualquier punto lo que está ocurriendo con las plantaciones para así tener la posibilidad de actuar inmediatamente y llevar a cabo una de decisiones con la mayor información posible. Algunos de los factores que alteran el estado de los cultivos:

1. La humedad

El agua es uno de los elementos primordiales para la vida vegetal. Las plantas necesitan el agua para desarrollar sus funciones vitales, estas necesidades están vinculadas con la evaporación en el substrato (tierra) y transpiración de las mismas. Las plantas con muchas hojas y extensas, consumen más agua que las que tienen hojas pequeñas y escasas.

Estas necesidades se elevarán cuanto mayor sea la temperatura, debido a la elevada evaporación. Por eso es necesario contar con sistemas de riegos adecuados.

Pero teniendo en cuenta que un exceso de agua durante largo tiempo puede causar asfixia radicular, se da más en terrenos arcillosos. Las raíces se pudren y son el hábitat de diferentes tipos de hongos. Las plantas manifiestan los siguientes síntomas: desecación apical, clorosis de las hojas y cada de las mismas.

Las plantas de terrenos secos, el estancamiento de agua en los tejidos formando pústulas o edemas cristalinos, las hojas amarillean y caen. La escasez de agua, si va

acompañada de altas temperaturas, provoca marchitamiento prematuro, siendo habitual las secas o necrosis del ápice de las hojas.

2. Temperaturas extremas

El frío ralentiza la vegetación mientras que el calor la estimula. Las mejores condiciones de temperatura favorecen el desarrollo de los seres vivos, en las situaciones extremas de temperatura las plantas no vegetan con normalidad, frenan su desarrollo y pueden sufrir graves cambios. Cuando se trata de temperaturas excesivas, pueden ocasionar lesiones en los tejidos golpeados por el sol. El elevado calor, puede causar una mayor pérdida de agua por transpiración, llegando incluso a deshidratar la planta. A bajas temperaturas, se ralentiza la formación de la clorofila, el desarrollo de las plantas se ve afectado, tomando forma amarillenta.

3. Luminosidad y radiación solar y ultravioleta

Los vegetales toman los alimentos en las raíces. Los nutrientes y el agua se transportan a las partes verdes de la planta, las hojas en las cuales se introduce el CO₂ y se crea la materia orgánica.

El proceso de materialización de materia orgánica se conoce como la fotosíntesis: agua+CO₂ =materia orgánica+oxígeno.



Imagen 99 Fotosíntesis

Para llevar a cabo este proceso se necesita energía que la planta toma de la luz solar. De aquí el llamado fotosíntesis.

La fotosíntesis se lleva a cabo en las partes de la planta.

En la etapa de la fotosíntesis se da a luz oxígeno que la planta descarga a la atmósfera.

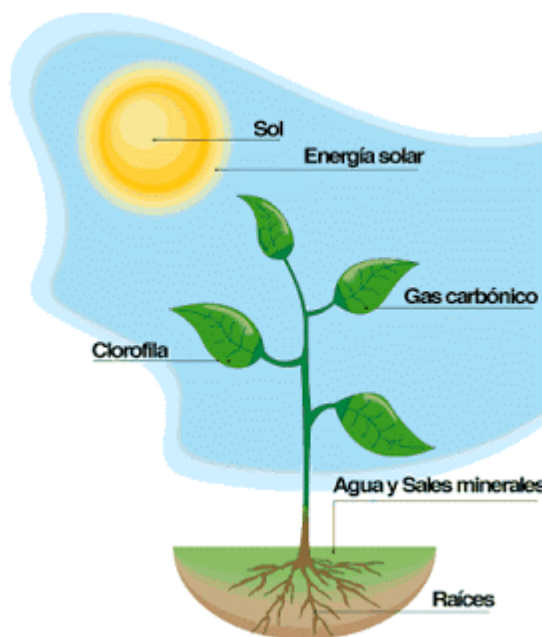


Imagen 100 Proceso de la fotosíntesis

- **La energía del sol**

El sol emite energía, que se manifiesta en forma de radiaciones electromagnéticas y longitud de onda, que van de los rayos X y ultravioletados (UVA) hasta las ondas infrarrojas y ondas de radio, pasando por la luz visible. De toda la energía proveniente del sol, a la planta solo le útil la luz visible, del rojo al violeta. Las plantas únicamente aprovechan el 40% de la radiación solar. La planta está compuesta de diferentes pigmentos que digieren la luz. El más conocido es la clorofila. Solo la radiación lumínica o luz es aprovechable para llevar a cabo el proceso de fotosíntesis. La agricultura necesita luz, es la que suministra la energía que utilizan los vegetales para desarrollar. Cuanta más luz existente, más posibilidades de producción.

4. El viento

El viento es el flujo de aire en movimiento respecto a la superficie. Si los fenómenos atmosféricos en especial la temperatura y la presión atmosférica fuesen iguales en todo el globo terráqueo, el aire estaría estático. Los rayos del sol y el movimiento de rotación de la tierra originan un desequilibrio en la atmósfera, provocando que las masas de aire se pongan en movimiento. Esta concentración de masas sufre la fuerza de atracción de la tierra y ejerce una un peso sobre la superficie. El desequilibrio de presiones en la atmósfera es la causa de los vientos. Se ve, pues, que la propiedad más destacada del aire es su movilidad, que se

manifiesta en los vientos. Los vientos tienen dos características fundamentales, el punto del horizonte donde sopla el viento, no el punto hacia donde va (dirección) y el espacio donde recorrería en la unidad de tiempo (velocidad) expresada en metros/segundo; kilómetros/hora; etc.

El viento, con sus diversas características (seco, húmedo, frío, cálido, moderado, huracanado...), afecta decisivamente en el tipo de cultivos de ciertas comarcas, de manera útil o peligrosa, según los casos.

El viento tiene sus beneficios y desventajas agrícolas, se puede citar los siguientes:

- **Beneficios**
 - Aumenta la dureza del tronco y ramas y más fuerte enraizamiento.
 - Los vientos suaves obligan a los tallos de los cereales a realizar ejercicios que les viene muy bien para encañar.
 - El viento barre las nieblas. También al remover las capas de aire frío expuestas al suelo, previene las heladas nocturnas de irradiación.
 - Renueva el aire, que favorece la transpiración de las plantas.
 - El viento favorece el secado de alfalfas recién cortadas y al de los suelos muy encharcados.
- **Desventajas**
 - Endurecimiento y desecación de los suelos, después de las lluvias o riegos.
 - Arrebato de hojas y flores y tronchado de ramas, debido a vientos extremados.
 - Transportar la semilla de malas hierbas (amapola, cardo, etc.), de insectos perjudiciales (pulgones, langostas, etc.), de criptógamas (mildiu, oidio, etc.).
 - La constancia de los vientos y fuertes roban del suelo la capa de tierra fértil, provocando la erosión eólica. Otras ocasiones invaden arrebatan con arenas las tierras de cultivo (dunas, landas, etc.).
 - Violentas variaciones térmicas asociadas al viento: el flujo de los vientos cálidos y secos del estío invaden las espigas antes de granar y deshidratan las plantas y arbustos. Los vientos fríos de primavera pasman los cereales y leguminosas; también destruyen los brotes y capullos.
 - Vuelco o encarnado de cereales. Deformación de la capa de los árboles en zona de vientos muy constantes en una dirección.

Para el agricultor es de vital importancia conocer la dirección de los vientos sobresalientes en su lugar: los de una dirección determinada pueden traer la lluvia; los de otra, barrer las nubes; los de allá ser fríos, los de éste muy secos.

Cada comarca se crea su propio clima, y el viento, ligadamente con las nubes, temperaturas y lluvias, es una de las principales partes de este clima.

4.1.1.2.3 Los desastres naturales

A través de millones de años de evolución, el planeta tierra ha estado siempre expuesto a innumerables fenómenos naturales, como lluvias, sismos, maremotos, inundaciones, volcanes y varios fenómenos más. Estos desastres naturales, es con la presencia del hombre se producen y éstos afectan drásticamente sus actividades socioeconómicas y su entorno ambiental.

Los desastres naturales perjudican seriamente el medioambiente, pues contaminan el agua y el suelo; devastan gran parte de la fauna y flora; y crean casi siempre focos de infección y otros, afectando al hábitat del hombre.

1. Incendios

Se produce el incendio cuando uno o varios materiales se combinan dando lugar a una combustión. La combustión es un proceso de oxidación exotérmica que se origina con carácter irreversible.

- Oxidación: es la combinación de un material con el oxígeno.
- Exotérmica: desprende calor.
- Carácter irreversible: el material afectado por esta oxidación queda transformado totalmente, cambiando sus propiedades físico químicas, sin posibilidad de recuperarlas.

Para que un fuego aparezca y/o se nutra son necesarias cuatro condiciones, la ausencia de una de ellas conlleva al cese del mismo. Estas condiciones son:

- **El combustible:** sería cualquiera entre millares de materias: gasolina, madera, carbón, etc. En sus estados normales, ninguno de ellas arde. Para producir llamas necesitan transformarse primero en gas.

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

- **Calor:** este es el que proporciona la temperatura necesaria para transformar en gas al combustible, de manera que arda. Las altas temperaturas hacen que algunos combustibles se transformen en gas (se gasifican o se volatizan).
 - **El oxígeno:** para que se origine la ignición y comenzar arder, la presencia de oxígeno es necesaria para el fuego.
 - **Fuente de ignición:** cualquier material que desencadene el fuego.
- **Gases de la combustión**

Los gases que se desprenden en los incendios son responsables de más de la mitad total de fallecidos. En el siguiente cuadro se muestra algunos de ellos y sus efectos.

Nomenclatura	Fórmula	Síntomas
El oxígeno	O_2	Asfixia
Monóxido de carbono	CO	Dolores de cabeza, náuseas, confusión y alucinaciones
Dióxido de carbono	CO_2	Es mortal
Dióxido de nitrógeno	NO_2	Es perjudicial para los pulmones, que puede producir neumonía
amoníaco	NH_3	Es irritante que puede producir la muerte instantáneamente por espasmo bronquial
cloruro de carbonilo	CCl_2O	Lesiones en el pulmón, vómitos, sequedad de garganta, dolor de tórax, irritación bronquial y sensación de falta de respiración
ácido cianhídrico	HCN	Muy tóxico y tiene un olor característico

Tabla 5 Gases y sus efectos

El peligro de estos gases depende de la presencia de los mismos en el aire, el tiempo que se está expuesto y las condiciones físicas de la persona.

4.2 Sensores

En este apartado se presenta una serie de sensores que pueden aplicarse en cada de los escenarios mencionados anteriormente.

4.2.1 Sensores en la gestión de eficiencia energética

4.2.1.1 Sensor de temperatura LM35

El dispositivo LM35 es un sensor de temperatura, de circuito integrado con una precisión calibrada de 1°C y su rango de medición oscila entre -55 °C y +150°C.

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

El sensor viene con diferentes encapsulados pero el más útil es el to-92 asimismo que un típico transistor con 3 patillas, se alimenta en las patas izquierda y derecha, siendo la intermedia la que entrega un valor de tensión proporcional a la temperatura medida por el dispositivo.

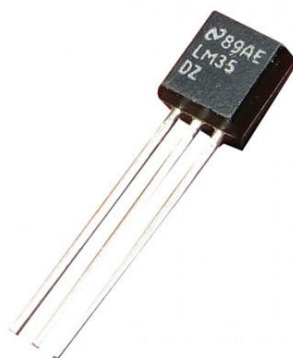


Imagen 101 Sensor de temperatura LM35

El LM35 pertenece a la empresa de semiconductores National (actualmente absorbida por Texas Instruments) y es un sensor muy utilizado tal vez no por su precisión, sino mejor por su facilidad de utilidad.

En la tabla se muestra la temperatura, en la patita de salida del LM35, en ella se ve precisamente su facilidad de uso.

Voltaje (mV), en el pin de salida del LM35	Temperatura (°C)
+1500	+150
+250	+25
+10	+1
-550	-55

Tabla 6 Valores de salida de sensor LM35

Existen diversas configuraciones (de forma externa, mediante otros componentes) para diferentes intervalos o ventanas de temperaturas (algunas de estas configuraciones, abarcan la lectura de temperatura negativa).

Existen diversas configuraciones (de forma externa, mediante otros componentes) para diferentes intervalos o ventanas de temperaturas (algunas de estas configuraciones, abarcan la lectura de temperatura negativa).

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

• Características principales

La hoja de especificaciones ofrece la siguiente información:

Medida de temperatura	(°C)
Factor de escala lineal de	mV/°C
0.5 °C de precisión a +25 °C	
Rango de trabajo	-55 °C hasta +150 °C
Bajo coste	
Alimentación desde 4V hasta 30 V	
Menos de 60 microamperios de consumo	
Bajo auto-calentamiento (0.08 °C en aire estático)	
Baja impedancia de salida, 0.1 W para cargas de 1 mA	

Tabla 7 Características principales

La conexión de este elemento es muy sencilla simplemente se disponen de tres patillas: Vcc, Out y GND. Como se muestra en la imagen de la izquierda, donde Vcc se conecta a los 5V de Arduino, GND con GND de Arduino y Out puede ocupar cualquiera de las entradas analógicas.

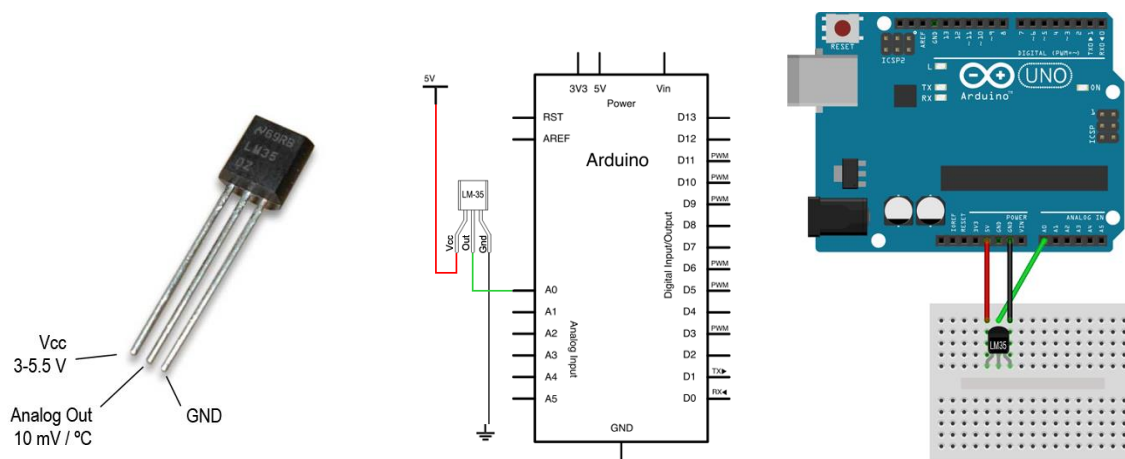


Imagen 102 Sensor LM35 esquema eléctrico y montaje

En la práctica, cuando trabajamos nos surgir diversos problemas, es por esta razón, merece la pena describir las ventajas y desventajas de este tipo dispositivo, pero, desde un punto de vista práctico:

- **Ventajas**

- Fácil de usar: Salida lineal $+10 \text{ mV/}^{\circ}\text{C}$.
- Bajo coste y fácil de adquirir.
- Varios encapsulados disponibles.
- No son tan necesarios componentes externos para temperaturas positivas.

- **Desventajas**

- Ruido: es aconsejable poner filtro (paso-bajo).
- Ruido: se aconseja hacer filtro digital
- Ruido: se recomienda conectar cables blindados o aislar adecuadamente el área donde estará conectado el LM35.
- Error: dependiendo del voltaje de referencia del ADC, presentará un error o no, en la medida.
- Componentes Extra: para ello dependerá de la precisión del ADC, será necesario o no, amplificar la señal de salida del LM35.
- Error: dependerá de la precisión del ADC, aparecerá un error en la medida (menor cuanto mayor sea la resolución).

Este dispositivo se utilizará para llevar a cabo un seguimiento de la temperatura alcanzada en cada punto, tanto en los expuestos al sol como los que se hallan en los interiores, para evitar problemas de sobrecalentamiento en los campos de cultivo y zonas con riesgos de sufrir un incendio, y por último para observar cuándo es adecuado aprovechar la climatización natural en el interior de un edificio.

4.2.1.2 El fotoresistor LDR o sensor de luz

Un sensor fotoeléctrico es un dispositivo electrónico que reacciona ante las variaciones de la intensidad de la luz. Para su operación requieren de una fuente emisor que genera la luz, y un componente receptor que percibe la luz que irradia el emisor.

Los sensores de luz son empleados para detectar las variaciones de la luz y producen una señal de salida representativa respecto a la cantidad de luz captada. Un sensor de luz incorpora un transductor fotoeléctrico para transformar la luz a una señal eléctrica y puede integrar electrónica para condicionamiento de la señal, compensación y formateo de la señal medida.

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

El sensor fotoeléctrico más común es el Resistor dependiente de la luz o *Light Dependant Resistor* (con la abreviatura en inglés LDR). Este sensor es básicamente su resistencia varía en función de la variación de la intensidad de la luz³⁷.

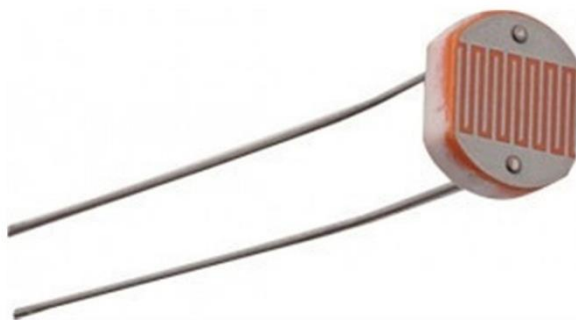


Imagen 103 Sensor LDR

Un fotoresistor está compuesto por un semiconductor, específicamente CdS (sulfuro de cadmio). Al chocar la luz sobre él algunos de los fotones son absorbidos, provocando el paso de electrones a la banda de conducción y, por tanto, disminuyendo la resistencia del componente.

Por consiguiente, se produce una disminución de resistencia a medida que aumenta la luz que incide sobre él. Los valores típicos son de 1 megaohmio en plena oscuridad, a 50-100 ohmios bajo luz brillante.

Por otra parte, el cambio de la resistencia es gradual, de 20 a 100 ms en función del modelo. Esta lentitud impide registrar variaciones rápidas, como las producidas en fuentes de luz artificiales alimentadas por corriente alterna. Esta manera de registro puede ser beneficioso, ya que proporcionar al sensor de una gran estabilidad.

Cabe resaltar, que los fotoresistores no son los dispositivos adecuados para proveer una medición de iluminancia, es decir, para servir como luxómetro. Esto se debe a su baja precisión, depende mucho de la temperatura y, especialmente, a que su distribución espectral no es resulta apropiada para la medición de iluminancia.

³⁷ es.wikipedia.org/

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

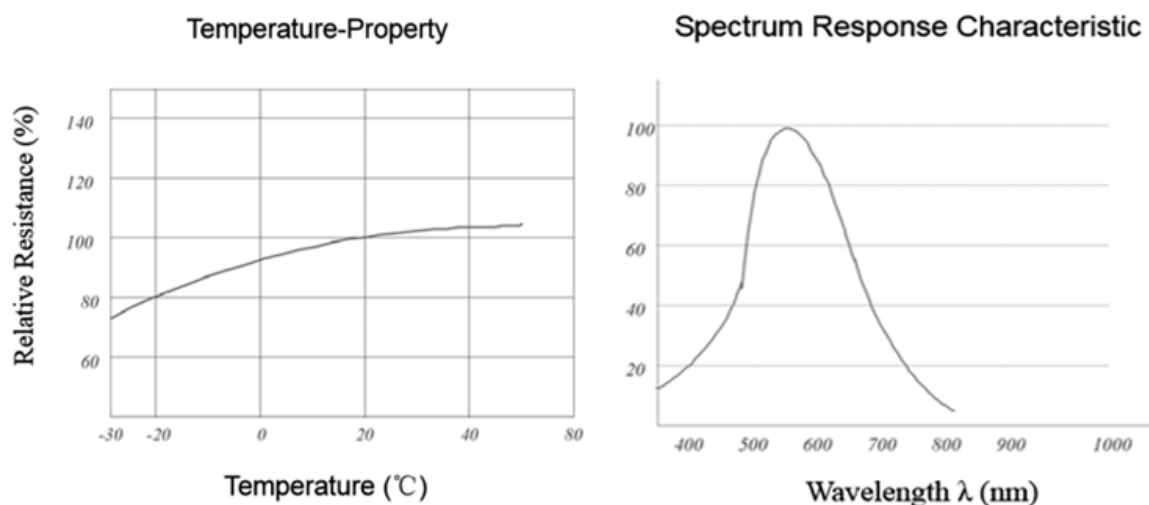


Imagen 104 Curvas LDR

Por tanto, un fotoresistor tipo LDR es un dispositivo que resulta apropiado para proporcionar medidas cuantitativas sobre el nivel de luz, sea en interiores como en exteriores, y reaccionar para realizar las siguientes actividades, encendido de una luz, subida de una persiana u orientación de un robot. Estos dispositivos son realmente baratos.

Este dispositivo tiene dos patillas, la conexión se realiza como se muestra en los esquemas de la de derecha: una patilla va a los 5V de Arduino, la otra a GND y el cable de lectura del sensor se sitúa en el medio entre la resistencia y el dispositivo, que se lleva cualquier pin analógico.

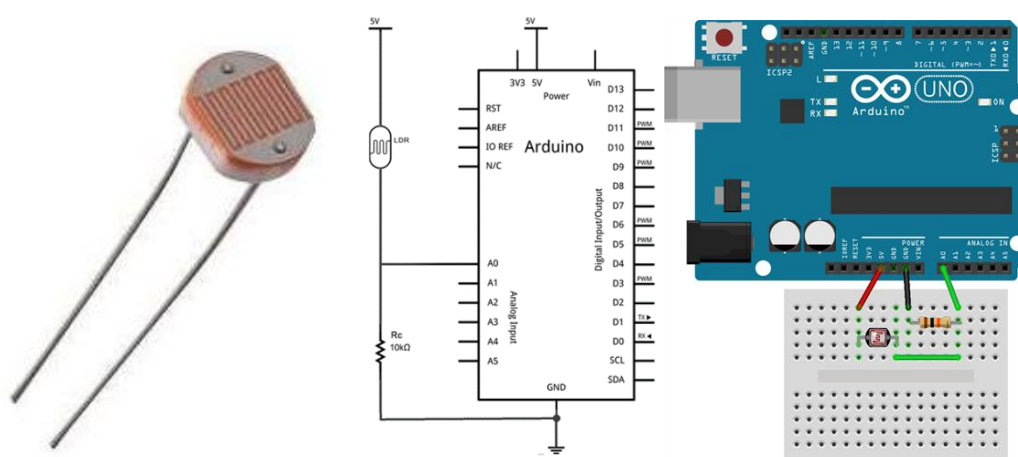


Imagen 105 Fotoresistor LDR esquema eléctrico y montaje

- **Funcionamiento de un fotoresistor LDR**

La función potencial que relaciona la iluminancia y la resistencia de un LDR, se expresa matemáticamente así:

$$\left(\frac{I}{I_0}\right) = \left(\frac{R}{R_0}\right)^{-\gamma}$$

Siendo R_0 la resistencia a una intensidad I_0 , ambas conocidas.

La constante γ es la pendiente de la gráfica logarítmica, o la pérdida por década. Sus valores oscilan de 0.5 a 0.8.

Por esta razón, usualmente las gráficas que relacionan la resistencia y la intensidad de la luz se representan en escalas logarítmicas para ambos ejes. Adoptando esta representación, la relación se muestra como una gráfica lineal.

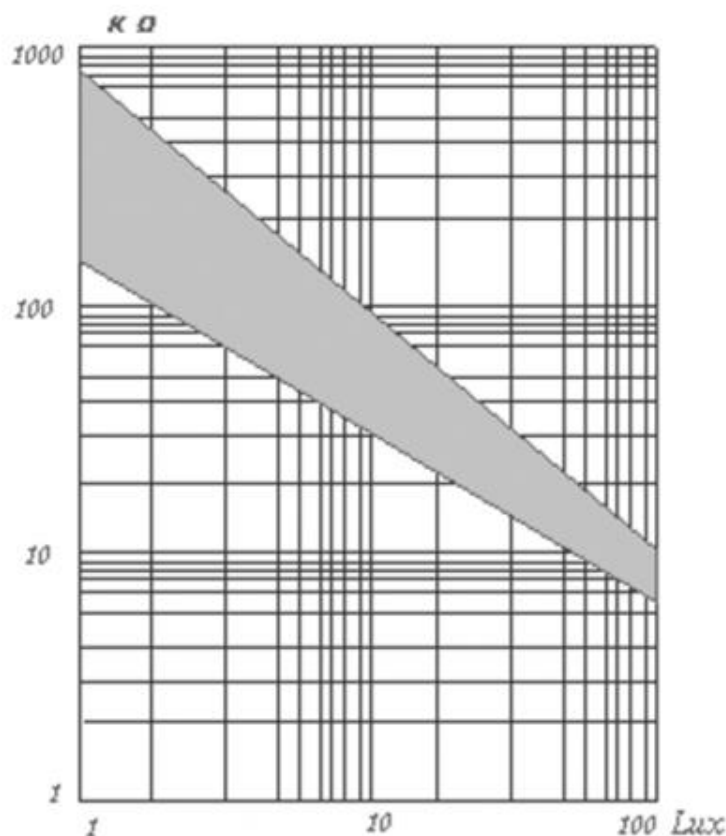


Imagen 106 Gráfica resistencia-intensidad de la luz

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Se usará para para hacer un seguimiento de las variaciones de iluminación en el interior del edificio y la del ambiente que lo rodea, y para evaluar la iluminación que llega a las plantas.

4.2.2 Sensores en la agricultura

4.2.2.1 Sensor de humedad

El sensor de humedad mide o detecta variables físicas o químicas que determinan el grado de humedad.

El trabajo de este sensor consistirá en monitorear la humedad que hay en la superficie terráquea y a través de sus funciones propias entregar la señal al microcontrolador para que así mediante algunos algoritmos establecidos tome decisiones para el trabajo del sistema.

El principio de funcionamiento de este sensor consiste en dos placas aisladas entre sí por una cierta distancia. las dos placas están envueltas de una capa de material conductor. Si hay humedad en el suelo se originará un puente entre una punta y otra, los será registrado por un circuito de control con un amplificador operacional que será el responsable de transformar la conductividad registrada a un valor analógico que podrá se manejado por Arduino.

El circuito de control posee cuatro patillas, en la Vcc va a los 5V, GND al GND, la abajo como muestra el esquema va a los pines analógicos y la otra en pines digitales. Este sensor ofrece dos tipos de salidas, una analógica y una digital. En la salida analógica el nivel de voltaje está ligado a la densidad de humedad que haya en el suelo. Es decir, el valor entregado por Arduino (entre 0 y 1023), variará dependiendo de cuánta conductividad haya entre las puntas del módulo, y la salida digital ofrecerá un pulso bajo cuando haya suficiente conductividad entre cada una de las puntas.

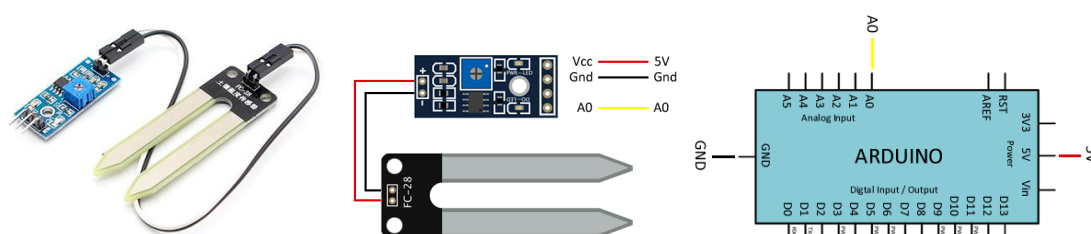


Imagen 107 Humedad del suelo esquema de montaje y conexión

El módulo es HL-96, utiliza la conductividad entre los terminales para obtener ciertos parámetros asociados al agua, líquidos y humedad.

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Este módulo es de gran utilidad en proyectos de control donde se requiera monitorear las condiciones del suelo, especialmente si se trata de un campo donde las plantas necesitan cuidados especiales.

El dispositivo de la siguiente imagen es un sensor de humedad/temperatura es de bajo costo económico, el más preciso de esta familia *DHTxx*, es el modelo DHT22, aunque en implementación, son casi completamente iguales, salvo algunas modificaciones de unos parámetros que se debe hacer en el código. Físicamente tienen pocas diferencias, entre las cuales se destaca el color y el tamaño de encapsulado.

Modelo	DHT22
Rango de medición de temperatura	-40 hasta 80°C
Rango de medición de humedad	0-100% HR
Precisión de humedad	±2% HR
Precisión de temperatura	±0.5°C
Voltaje	3.3-6V

Tabla 8 Hoja de características DHT22³⁸



Imagen 108 Sensor de humedad

³⁸ www.sparkfun.com

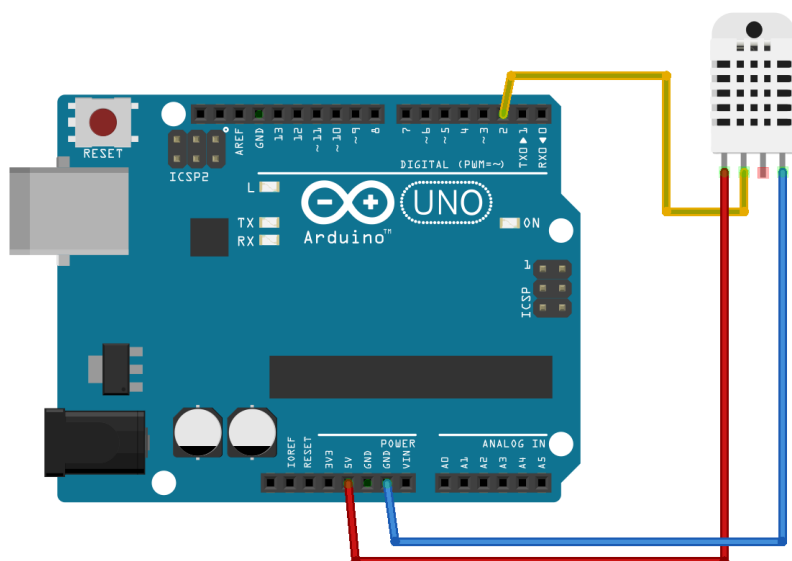


Imagen 109 Esquema de montaje DHT22

El DHT22 cuenta con cuatro patillas de las que solo se usan tres, en la primera van 5V, la segunda se conecta a cualquier entrada digital simplemente habría que definir el pin en el programa y la cuarta se conecta al GND de Arduino. Este sensor se puede utilizar como el LM35 solo se diferencian en que el DHT22 proporciona una salida de datos digital y el analógico.

Los modelos *DHTxx*, se diferencian del HL-69 no son capaces de medir la humedad en el suelo.

DHT22 pins	
1	VCC
2	DATA
3	NC
4	GND

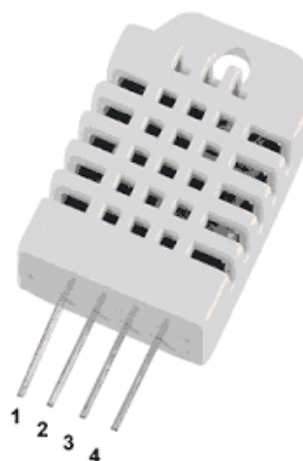


Imagen 110 Conexión de DHT22³⁹

³⁹ <http://arubia45.blogspot.com.es>

4.2.2.2 Detector de lluvia

Es un dispositivo electrónico que consta de una serie de pistas conductoras impresas sobre la placa de baquelita. El aislamiento entre las pistas es muy pequeño. Lo que este dispositivo hace es producir un cortocircuito cada vez que el agua impacta a las pistas. El agua penetrada en la placa crea un camino de baja resistencia entre las pistas con polaridad positiva y las pistas conectadas al GND. Dispositivo incorpora unas resistencias de 10K, que limitan la corriente que fluye a través de las pistas, lo que impide que el cortocircuito generado cuando el agua impacta a la placa vaya a deteriorar el microcontrolador.

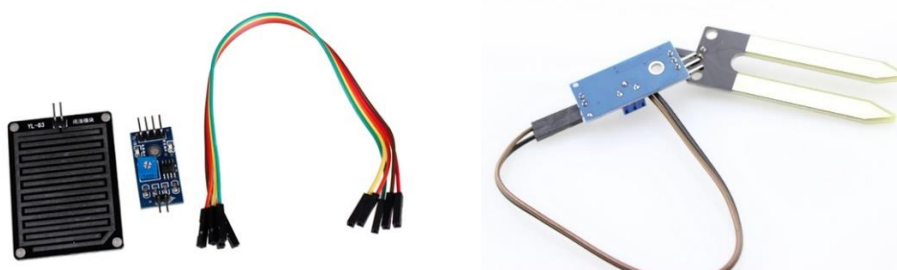


Imagen 111 Sensores de lluvia

Este dispositivo consta de dos partes, la que se muestra a continuación y un pequeño circuito de control.



Imagen 112 Placa sensor de lluvia YL-83

El circuito de control es el que alberga las resistencias que minimizan la corriente que fluye por las pistas y es el encargado alimentar el módulo YL-83. Incorpora un amplificador operacional concretamente el circuito integrado LM392. Su función es la de amplificar el que pequeño diferencial de voltaje que se origina cuando una gota de agua impacta sobre las pistas del módulo. La señal de salida generada puede ser del tipo analógica o digital. Se obtendrá dos valores HIGH y LOW cuando señal es digital, estos dos estados nos indican si hay agua o no sobre las pistas de la placa. El nivel de voltaje que entregará si

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

se trata de una salida analógica variará dependiendo de la cantidad de agua que haya sobre la placa.

Este dispositivo es capaz de detectar gotas de agua de lluvia, por lo que puede ser aplicado para sistemas de detección que requieran llevar a cabo funciones cuando empieza a caer la lluvia. Para usar el módulo basta con alimentar el circuito de control con 5V, GND al GND, la salida digital al cualquier pin digital y la analógica a su zona.

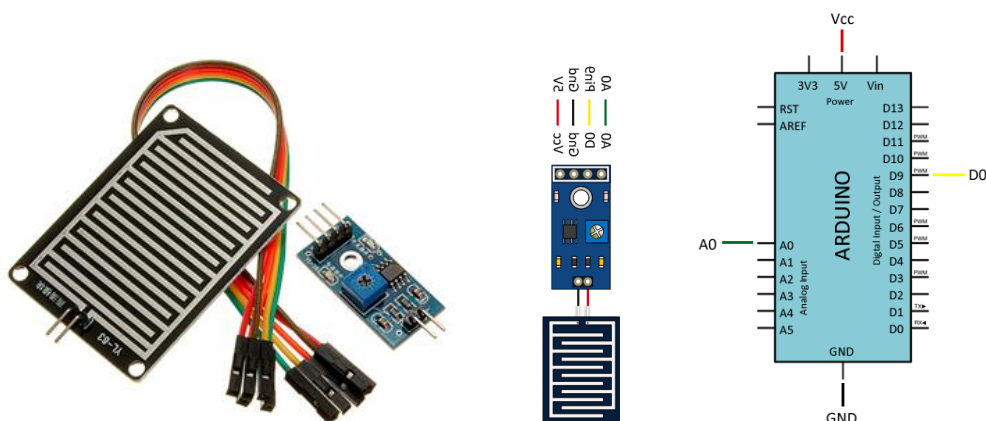


Imagen 113 Detector de lluvia esquema eléctrico y montaje

4.2.2.3 Sensor de viento

Su funcionamiento es muy sencillo. Este sensor es un optosensor capaz de leer la marca del disco, por lo que básicamente lo que hace este dispositivo es contar el número de vueltas por minuto que da el disco. Para su calibración se requiere un anemómetro auxiliar. El anemómetro servirá para medir la fuerza del viento y la dirección del viento.

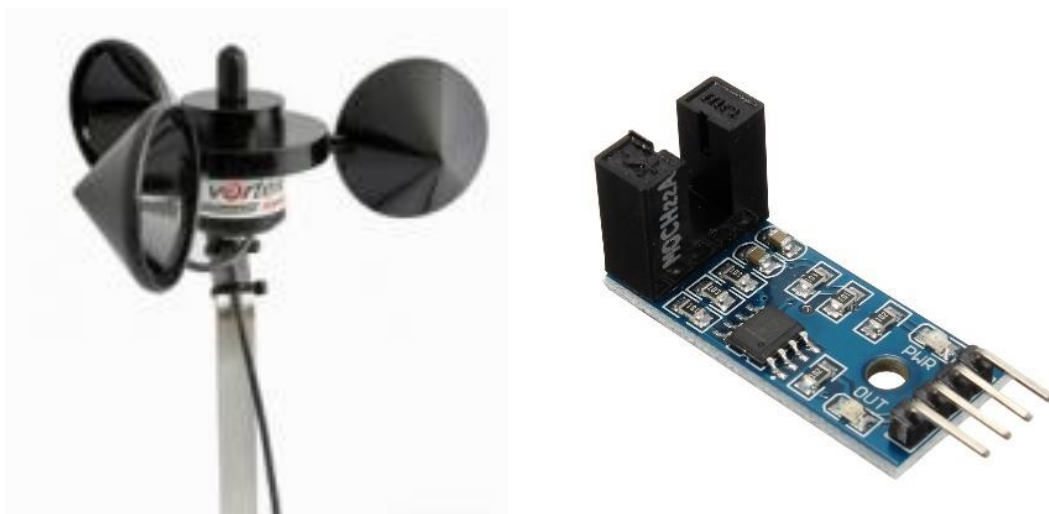


Imagen 114 Sensor de velocidad viento y anemómetro

4.2.2.4 Sensor presión barométrica

La presión atmosférica es el cociente de la fuerza por la superficie que ejerce aire sobre la superficie terrestre.

La presión atmosférica aparece por la columna de aire que hay sobre nosotros. Dicha presión se da en función de la altura y relacionada con las condiciones meteorológicas de determinado lugar en determinado momento.

El sensor de presión barométrica mide la presión barométrica. El sensor provee a la salida una señal en frecuencia proporcional a la presión.

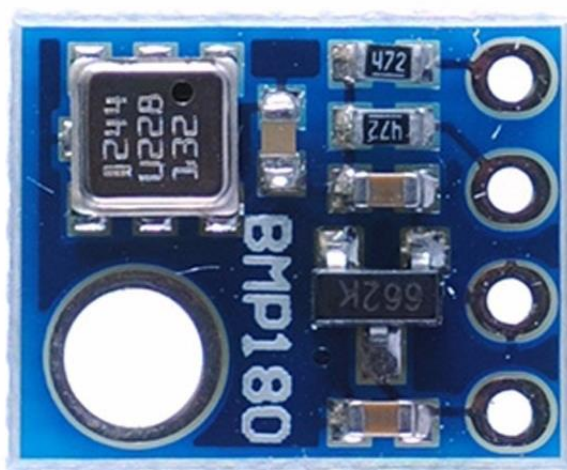


Imagen 115 Sensor de presión barométrica

Este sensor es capaz de leer la presión barométrica y temperatura. Mediante cálculos matemáticos es capaz de leer diferencias de alturas.

4.2.3 Desastres naturales

4.2.3.1 Sensor de flama

Los sensores de llama indican la presencia de una llama y forman parte del circuito de seguridad. En un entorno normal, la ignición de una llama produce una ionización intensa de gases comunes, que dan lugar a un patrón típico de frecuencia en la categoría del ultravioleta. El dispositivo es un semiconductor sensible a este rango de frecuencias.

Una vez que se estabiliza la llama, es relativamente fácil captar su espectro infrarrojo, con un fotoresistor LDR, pero construido para ser concretamente sensible a un rango característico.

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

El dispositivo consta de tres patillas, para ser utilizado basta con conectar la patilla del intermedia a cualquier pin digital, las otras dos a tierra y 5V de Arduino. Tiene una salida digital, se puede utilizar en los entornos expuestos a los riesgos de incendio.

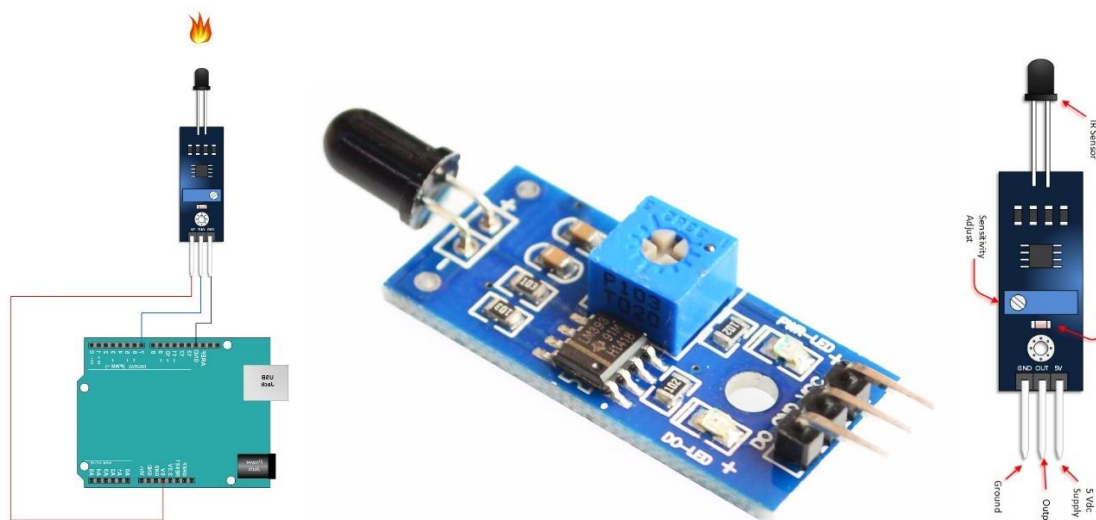


Imagen 116 Sensor de flama esquema eléctrico y montaje

4.2.3.2 Sensor de dióxido de carbono

Este dispositivo es capaz de medir la calidad del aire de los recintos abiertos y cerrados, puede detectar la presencia de: NH_3 , NO_x , benceno, alcohol, humo, CO_2 , etc. Son todos esos gases los que aparecen en los desastres naturales, como el incendio como explicó en el apartado de incendios.



Imagen 117 Sensor de CO_2 ⁴⁰

4.2.3.3 Sensor monóxido de carbono

El sensor MQ-7, es el adecuado para detectar concentraciones de CO en el aire. Su detección de gas CO oscila de 20 a 2000 ppm. La sensibilidad es ajustable, se consigue mediante e potenciómetro.

⁴⁰ www.sumeetinstrument.com

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

• Especificaciones

Alimentación	5V
Pines de salida	1 salida 2-GND 3-Vcc
Respuesta rápida	
Estable y larga vida	
Tipo de interfaz	Analógico
Alta sensibilidad al CO	
Tamaño	40x20mm

Tabla 9 Hoja de características de MQ-7



Imagen 118 Sensor CO⁴¹

4.2.3.4 Sensor de oxígeno

El módulo sensor de gas, este dispositivo sirve para medir la concentración del oxígeno en el aire, su principio de funcionamiento se base en el de la celda electroquímica para su trabajo original.

Características:

- Alta sensibilidad.
- Alta presión.
- Amplia gama de linealidad.
- Confiabilidad extraordinaria.
- Fuerte capacidad anti-interferencia.



Imagen 119 Sensor de O₂⁴²

⁴¹ www.openhacks.com

⁴² sebalabs.blogspot.com.es

4.2.3.5 Sensor de ozono

Este sensor es capaz de monitorear la cantidad de ozono en el aire.



Imagen 120 Sensor de ozono

4.2.3.6 Sensor óptico de polvo

Es un dispositivo construido para detectar partículas de polvo en el aire. Es capaz de detectar las partículas muy finas como el humo del cigarrillo y se aplica comúnmente en los sistemas de depuración del aire. Es de bajo consumo energético. Provee a la salida una señal analógica proporcional a la densidad del polvo medido.



Imagen 121 Sensor óptico de polvo

4.2.3.7 Sensor de amoniaco y óxido de nitrógeno

El sensor de NH_3 y NO_x , ideal para detección de concentraciones de los mismo. Su sensibilidad es ajustable para tener una lectura adecuada al sistema particular. Es de tamaño reducido, muy sencillo de usar y es muy práctico. El módulo tiene dos tipos de salidas una analógica que se puede medir con cualquier microcontrolador o tarjeta de desarrollo ADC y la otra digital a través de un comparador con umbral ajustable. El voltaje de alimentación es de 5V, la salida digital es DO, la analógica AO y el GND.



Imagen 122 Sensor de NH₃⁴³

4.2.4 La placa Arduino que se adapta a las necesidades de mi proyecto.

Arduino es una herramienta que surgió en Italia para desarrollar proyectos electrónicos de tipo *Opens Source* o código abierto. Principalmente, se basa en la facilidad de uso de una plataforma hardware y de un entorno de programación, para leer y controlar diversas variables físicas o químicas del entorno donde desarrollamos nuestras actividades. Debido a la filosofía del presente proyecto, está orientado cualquier público, desde programadores profesionales, hasta diseñadores, hasta artistas y aficionados que no hayan programado nunca.

Arduino puede ser utilizado para elaborar proyectos interactivos, tomando medidas desde *Switches* y sensores, controlando motores, arrays de leds y un montón de elementos electrónicos. Asimismo, todos los proyectos pueden ser ejecutados desde la placa Arduino o igualmente ser controlados desde un entorno en un ordenador, haciendo las aplicaciones configurables e interactivas.

Arduino brinda diversas placas y módulos de expansión, que permiten al usuario añadir funcionalidad avanzada a sus proyectos, desde conexión de sensores, hasta almacenamiento en tarjetas de memoria SD. Se pueden adquirir estas ampliaciones listas para funcionar, pero debido al carácter *Open-Source* del proyecto, uno mismo podría crear su propio prototipo que sea adapte a sus necesidades.

4.2.4.1 Por qué elegir Arduino

Se pueden encontrar en el mercado diversas clases de plataformas basadas en microcontroladores como placas *Raspberry Pi*, *PIC*, *Parallax Basic Stamp*, *PIC*, etc, que

⁴³ hetpro-store.com

ofrecen prestaciones semejantes a las que brinda Arduino. Sin embargo, Arduino simplifica el proceso de abstracción del microcontrolador de forma que ofrece una ventaja para los principiantes, capacitándoles para elaborar proyectos multidisciplinarios.

Algunas de las muchas ventajas que ofrece Arduino son las siguientes:

- **Multiplataforma.** El software de Arduino es compatible con muchos sistemas operativos como *Windows*, *Mac*, *Linux*. Otras plataformas están limitadas a ser programadas desde *Windows*.
- **Coste reducido.** Las placas Arduino son relativamente de bajo coste en comparación con otras tarjetas basadas en microcontroladores.
- **Software de código abierto.** El entorno de programación se distribuye de forma gratuito y está disponible el código fuente para ser prolongado por profesionales.
- **Entorno de desarrollo** sencillo y claro. El *arduino IDE*, es accesible para programadores no experimentados y suficientemente flexible y potente para usuarios avanzados.
- **Hardware de código abierto.** Las placas Arduino están basadas en los microcontroladores *Atmel Mega*. Estas están licenciadas de forma pública de manera que los diseñadores electrónicos profesionales pueden adaptarlas a sus propias necesidades. Incluso usuarios relativamente inexpertos, podrían elaborar sus propios diseños en una placa de prototipado sin soldadura para comprobar cómo funcionan las *Arduino Bords*.

Las dificultades que se enfrenta antes de comenzar un proyecto, o la primera vez que se va comenzar a trabajar con Arduino son, ¿qué modelo comprar?, ¿cuáles son sus especificaciones, ventajas y desventajas? La mejor forma de resolver estas inquietudes, es conocer las características para poder realizar una comparación entre las placas más conocidas de Arduino: Arduino DUE, Arduino Mega 2560, Arduino Leonardo, Arduino UNO.

La diferencia más relevante entre las cuatro placas, es que todas las entradas-salidas (*inputs/outputs*) del Arduino DUE trabajan a 3.3 V, mientras que sus hermanos lo hacen a 5V, siendo este último el más común a la hora de seleccionar materiales como sensores y actuadores que se utilizará en el proyecto, sin embargo, tanto la capacidad y sobre la velocidad de proceso de la que goza Arduino DUE es muy superior a las de sus hermanos,

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

se descarta la posibilidad el modelo DUE, debido a que en el proyecto hay componentes que requieren una alimentación de 5V, el cuadro siguiente contiene las características principales de los tres restantes.

Características de Arduino	UNO	Mega 2560	Leonardo
Tipo de microcontrolador	Atmega 328	Atmega 2560	Atmega 32U4
Velocidad de reloj	16 MHz	16 MHz	16 MHz
Pines digitales de E/S	14	54	20
Entradas analógicas	6	16	12
Salidas analógicas	0	0	0
Memoria de programa (Flash)	32 Kb	256 Kb	32 Kb
Memoria de datos (SRAM)	2 Kb	8 Kb	2.5 Kb
Memoria auxiliar (EEPROM)	1 Kb	4 Kb	1 Kb

Tabla 10 Comparación de las placas de Arduino

Con una primera observación, lo primero que se ve es la gran diferencia de memoria disponible que hay entre los tres, el Arduino UNO y Arduino Leonardo tienen 32 Kb mientras que el Arduino Mega 2560 tiene 256 Kb, en muchas ocasiones la memoria es más importante que la velocidad, sobre todo cuando se tiene ideado utilizar librerías complejas en el proyecto. En la velocidad no hay ninguna diferencia entre los tres, que es de 16 MHz.

La cantidad de pines de entrada-salida (I/O) digitales disponibles que pueden utilizar en el para PWM, si en el proyecto hay muchos componentes de control que van conectados a los pines PWM, el Arduino Mega 2560 es líder, que consta de 16 de ellos, Arduino Uno 6 y Leonardo 7. En proyectos donde se necesitan muchos sensores, la mayoría necesita conectarse a pines analógicos de entrada, en este caso también Arduino Mega 2560 ocupa el primer puesto con 16 pines, en el segundo puesto Arduino Leonardo con 20 y en la última posición el Arduino UNO con 6.



Imagen 123 Arduino mega 2560, Leonardo y UNO⁴⁴

Como se planteó en la introducción, la finalidad del proyecto es la de diseñar una plataforma de módulos multisensoriales medidores, registradores, transmisores y receptores de datos mediante el uso de la tarjeta Arduino. Teniendo en cuenta que las necesidades del proyecto no requieren de una gran potencia, la principal opción es utilizar la placa Arduino UNO, la cual nos brinda pines I/O suficiente para recoger las mediciones y para conectar los dispositivos externos que se necesiten.

Las principales debilidades de la placa Arduino UNO es la falta del zócalo para tarjeta de memoria micro SD. Por este motivo se hace necesario la adquisición de un módulo Micro SD para combinarlo con la tarjeta UNO. Esta ha sido la mejor opción, para optimizar al máximo el presupuesto del proyecto.

4.3 Datos y registro en memoria

En el presente proyecto se desea integrar al sistema un dispositivo capaz de registrar y almacenar datos de magnitudes físicas o químicas como pueden ser el nivel de iluminación, la humedad, la presión, las concentraciones de los gases, y la temperatura de diferentes zonas simultáneamente. Concretamente, se debe registrar estas magnitudes de diferentes escenarios, para así poder conocer las variaciones registradas durante largos periodos de tiempo. Con estos datos, si el escenario es en gestión de eficiencia energética, se podría determinar los momentos de desperdicio de energía, observando los datos de clima del exterior e interior del edificio, con ello se podría economizar los gastos de calefacción y de iluminación.

En un sistema donde se requiere registrar la información, se hace imprescindible contar con algún dispositivo de almacenamiento masivo que permita recoger y guardar los

⁴⁴ tienda.bricogeek.com

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

datos de manera estable y segura. Por suerte, existen dispositivos compatibles con Arduino que disponen de una ranura para tarjetas de memoria micro SD.

Este hecho y todos los expuestos anteriormente, convierten a la plataforma Arduino en un entorno totalmente adecuado para realizar el presente proyecto. En el mercado existe una variedad de tarjetas, pero en este trabajo se va a utilizar una tarjeta de marca *Kinsgton Technology* la cual permite guardar y leer gran cantidad de datos cuando se necesario.

Las características técnicas principales son:

- Dimensiones 11x15x1mm.
- Capacidad 8GB.
- Temperatura de funcionamiento -25°C a +85°C.
- Dimensiones del adaptador 24x32x2.1mm.
- Adaptador a tamaño SD.
- Clase 4 (HC) con velocidad de transferencia mínima de 4MB/s.



Imagen 124 Módulo Micro y tarjeta SD

Los pines utilizados para comunicación SPI con los siguientes:

Pin digital 4	CS
	GND
	5 V
Pin digital 11	MOSI
Pin digital 12	MISO
Pin digital 13	SCK

Tabla 11 Conexión Módulo Micro SD a Arduino

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

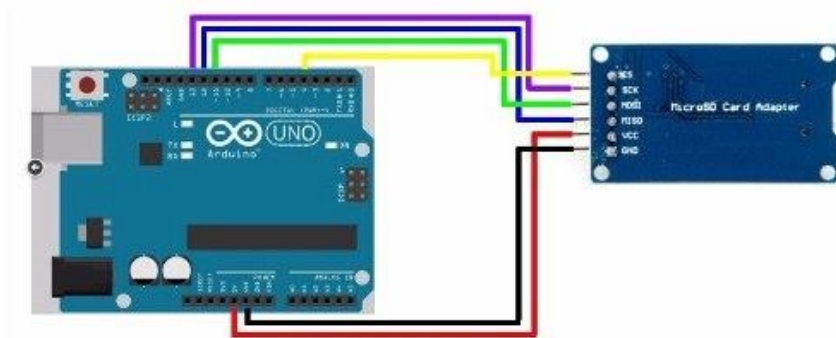


Imagen 125 Esquema eléctrico de Micro SD

Para registrar la información que toman los sensores del entorno en el que se hallan se necesita una tarjeta micro SD, en este trabajo disponemos de varias con memorias de 8 Gb. Los datos se pueden escribir en formato CSV o en un archivo *txt*. Se puede trabajar con ambos en Excel, pero la extensión CSV da la posibilidad de importar no solo a Excel sino a otros programas como *Gnumeric*, *Matlab*, *Calc de Open Office* o sistemas web. Para escribir los datos en forma de tabla en el formato CSV, antes de llevarlo al programa con el que se desea hacer el estudio de la información adquirida, primero se define en el programa el formato elegido como una hoja de texto, para ello las columnas van separadas por comas (u otro separador) y las filas por salto de línea.

	A	B	C	D	E	F
	Tiempo(ms)	Iluminación(Lumen)	Temperatura(°C)			
1	108	792	38.57			
2	1152	795	25.88			
3	2163	792	25.88			
4	3175	789	24.90			
5	4186	794	24.90			
6	5197	789	24.41			
7	6209	791	24.41			
8	7220	789	26.86			
9	8231	787	25.88			
10	9243	796	26.86			
11	10254	795	24.90			
12	11266	798	26.37			
13	12277	796	23.93			
14	13289	796	25.88			
15	14310	790	25.88			
16	15322	797	23.44			
17	16332	801	22.46			
18	17346	796	23.44			
19	18358	801	25.88			
20	19369	801	28.32			
21	20381	810	24.90			
22	21413	802	25.39			
23	22424	807	25.88			
24	23436	805	24.90			
25	24448	801	26.96			

Imagen 126 Registro de datos

4.4 Comunicaciones y recogida de datos

4.4.1 Sistema de transmisión y recepción de datos RF 433

4.4.1.1 Componentes

Descripción

Los módulos RF servirán para establecer una comunicación inalámbrica unidireccional, es decir un módulo emite y el otro recibe y el receptor no puede enviar nada al transmisor, técnicamente es un sistema de comunicación de bajo coste. Aun así, resultan significativamente provechosos en aplicaciones sencillas que no requieren una comunicación bidireccional. La distancia de transmisión dependerá del voltaje suministrado al emisor, que puede ser de 5 y 12V. Estos pequeños dispositivos se conectan fácilmente a los microcontroladores y/o circuitos decodificadores y codificadores.

Estos módulos tienen la ventaja de que la mayor parte del desarrollo de radiofrecuencia ya fue realizado y hay pocas formas de cometer errores. Imagen se presenta una fotografía de los módulos de radio. El más pequeño de los dos es el emisor, mientras que el de la forma más alargada es el receptor.



Imagen 127 Módulos RF

Modo de conexión del transmisor

El módulo transmisor requerirá una fuente de alimentación que en realidad debe ser de 5V hasta 12V, la conexión se realiza como se muestra en la imagen, la patilla data puede tomar cualquier pin digital de la placa Arduino.

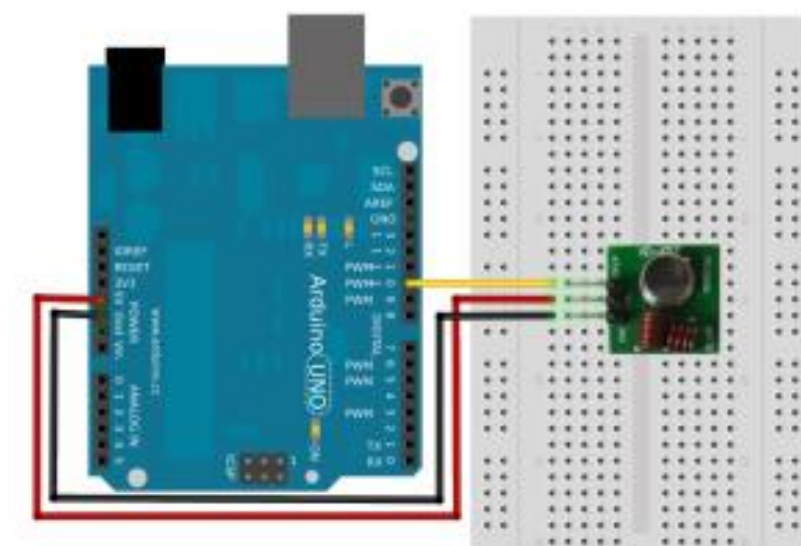


Imagen 128 Conexión transmisor

Modo de conexión del transmisor

El circuito receptor mostrará en el pin de salida una señal digital semejante a la que entró en el módulo emisor. El circuito que recibe la señal digital es el encargado de verificar la integridad de la transmisión y decidir qué se debe hacer. El circuito receptor es el responsable de esta tarea. El circuito es el que descifra los datos seriales y cambia el estado de sus salidas según el patrón recibido. La conexión es como se presenta en la foto, la patilla data puede tomar diferentes digitales, pero definidos a la hora de programar.

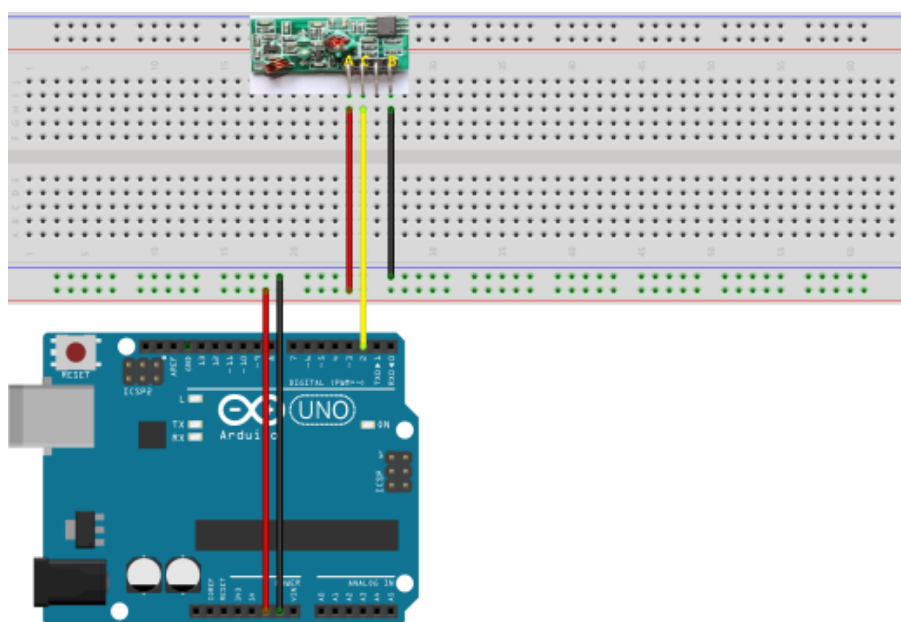


Imagen 129 Conexión receptor RF

Características técnicas

- **Transmisor**

Modelo	MX-FS-03V
Alcance	20-200 metros (Diferentes voltajes, diferentes resultados)
Alimentación	3.5-12V
Dimensiones	19 x19mm
Tasa de transmisión	4KB / S
Potencia de transmisión	10mW
Frecuencia de transmisión	433Mhz
Antena recomendada	25cm ordinaria de varios núcleos o la línea de un solo núcleo

Imagen 130 Características Emisor

- **Receptor**

Modelo	MX-05V
Voltaje de operación	DC-5V
Consumo	4mA
Tamaño	30 x14 x7mm
Frecuencia de recepción	433Mhz

Imagen 131 Características Receptor

4.4.2 Sistema de localización

4.4.2.1 Componentes

GPS GY-GPS6MV2

El GY-GPS6MV2 es un módulo GPS para Arduino y otros microcontroladores, está basado en el receptor de la marca *Ublox* tipo NEO 6M equipado en el PCB, una memoria *EEPROM*. Al módulo lo acompañan una pila de botón para preservar los datos de configuración en la memoria *EEPROM*, un indicador Led y una antena cerámica por lo que viene listo para operar de inmediato. También dispone de pines o conectores *Vcc*, *Rx*, *Tx* y *GND* por lo que se puede conectar fácilmente a cualquier microcontrolador a través de una

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

interfaz serial. Para que el módulo GPS entre en funcionamiento es recomendable hacer las pruebas en un entorno abierto para una correcta recepción de la señal.

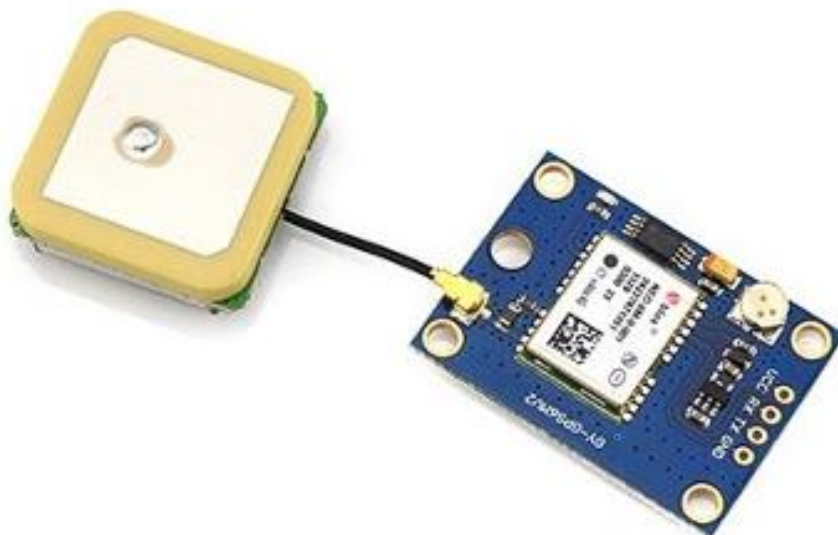


Imagen 132 GPS GY-GPS6MV2

Características técnicas

Receptor	Ublox NEO 6M
Voltaje de alimentación	3V a 5V
Interfaz	UART, comunicación asíncrona
Modelo	GY-GPS6MV2

Tabla 12 Características GPS

Conexiones

La conexión se realiza como se muestra en la imagen o seguir los pasos que se indica a continuación.

Conectar el pin GND del Arduino UNO al pin GND del módulo GPS
Conectar el pin GND del Arduino UNO al pin GND del módulo GPS
Conectar el pin digital 4 del Arduino UNO al pin Tx del módulo GPS
Conectar el pin 3.3V del Arduino UNO al pin Vcc del módulo GPS

Tabla 13 Conexión de GPS

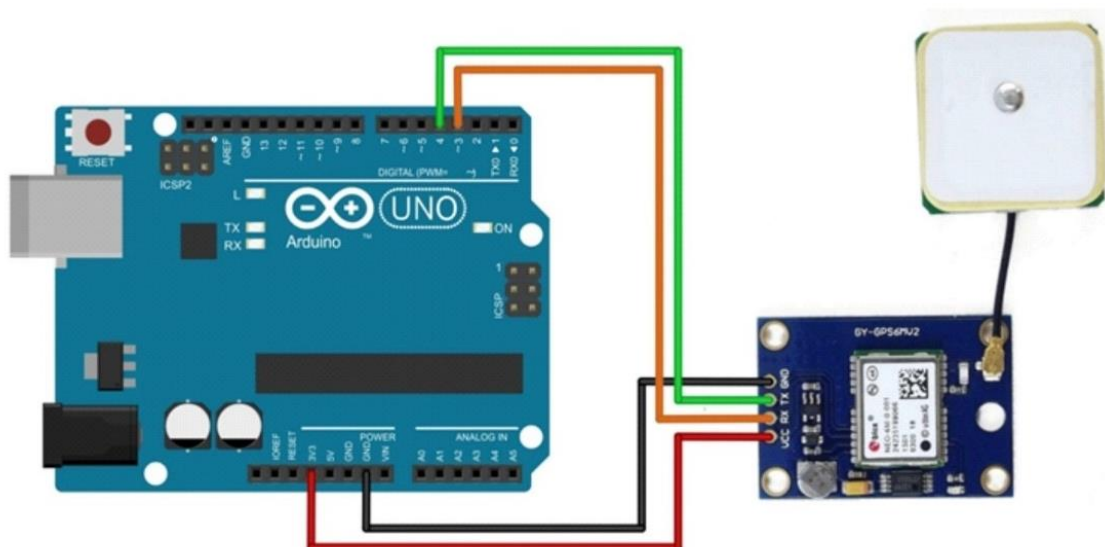


Imagen 133 Conexión Arduino y GY-GPS6MV2

El GPS proporcionará la siguiente información: la ubicación expresada en longitud y latitud, la fecha, el tiempo y mucha más que no se requiere en el presente proyecto. Cabe resaltar que para poner el GPS en funcionamiento primero se debe descargar la librería *TinyGPS* e introducirla en la capeta *libraries* de Arduino, como se ha expuesto en el capítulo 3, en el apartado de librerías.

4.4.3 Sistema de detección de temperatura

4.4.3.1 componentes

El dispositivo LM35 es un medidor de temperatura digital. Se diferencia de otros dispositivos como los termistores en los cuales la medición de temperatura se obtiene de la medición de su resistencia eléctrica, el sensor LM35 es un integrado acompañado de un circuito de control, que provee una salida de voltaje que es lineal con la temperatura.

La salida del dispositivo es proporcional a la temperatura, incrementando el valor a razón de 10 mV por cada 1°C. Su precisión a la temperatura ambiente es de 0.5°C.

Diagrama de conexión

Funciona con 5V, la patilla de *Vcc* va conectada al pin marcado con 5V en el Arduino, salida en la zona *ANALOG IN* de la placa y tierra en *GND*.

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

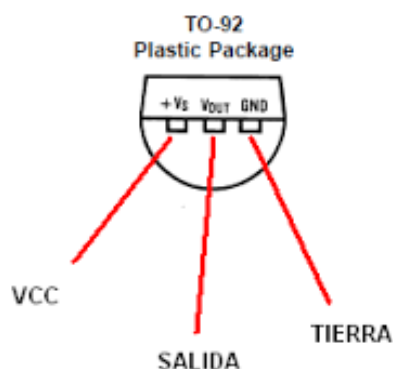


Imagen 134 Diagrama de conexión

Esquema de conexión del circuito

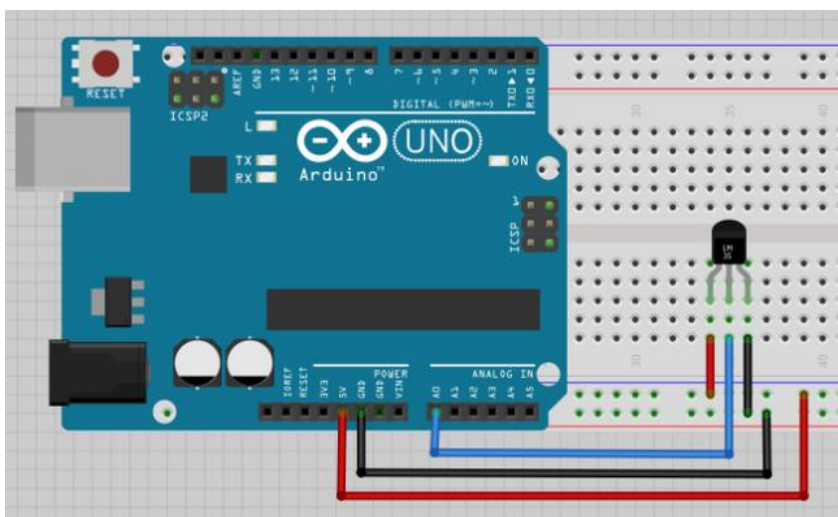


Imagen 135 Esquema de conexión del circuito

Este sistema es el encargado de registrar los cambios de temperatura que se producen en el entorno que se está estudiando.

4.4.4 Sistema de almacenamiento de datos

4.4.4.1 Componentes

Descripción

Las tarjetas SD son las más empleadas por los dispositivos actuales, se pueden encontrar en los móviles, ordenadores, tabletas, y en muchos más, esto se debe a su gran capacidad y su diminuto tamaño, por esta abundancia son fáciles de conseguir en diversas capacidades y precios. Estas características las convierten en una buena alternativa de almacenamiento para utilizarlo en este trabajo, sobretodo cuando se desea guardar mayor cantidad de datos.

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Existen varios módulos SD, compatibles con Arduino, en el presente proyecto se ha optado por módulo Micro SD, es más ligero, ocupa menos espacio y de poco peso, este módulo da la posibilidad de insertar una memoria Micro SD que son las más abundantes del mercado, el módulo funciona con tensiones de 3.3V o 5V usando los pines respectivos.



Imagen 136 Módulo Micro SD

Conexión y características técnicas del Módulo Micro SD

Módulo SD	Arduino Uno, Nano	Arduino Mega
CS	4	4
SCK	13	52
MOSI	11	51
MISO	12	50
VCC	5V	5V
GND	GND	GND
3.3V	No conectado	No conectado

Imagen 137 Características Módulos Micro SD

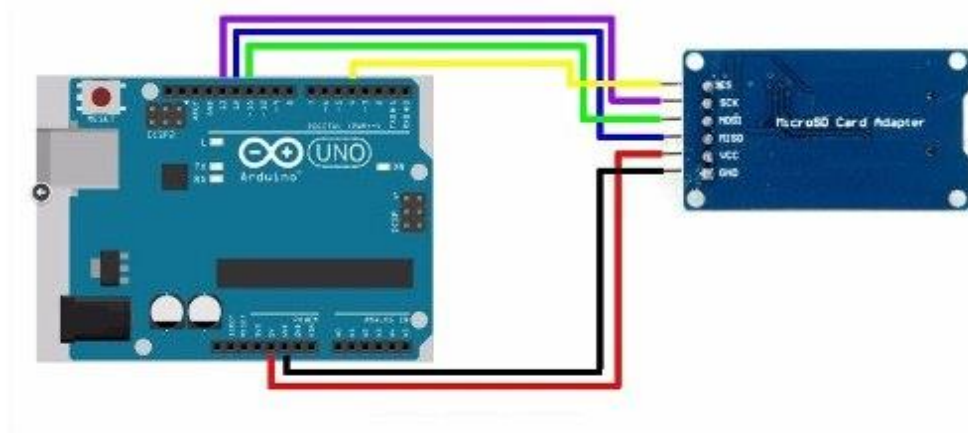


Imagen 138 Conexión Módulo Micro SD

Estas tarjetas no se pueden utilizar de este tamaño es todos los dispositivos, pero existen complementos auxiliares, que permiten su aplicación en otros ámbitos.



Imagen 139 Tarjetas SD

4.4.5 Sistema de control de luz

4.4.5.1 Componentes

El sensor LDR

Descripción

El LDR tiene su origen en la expresión inglesa *Light Dependent Resistor*, se caracteriza por ser un componente pasivo cuya resistencia eléctrica varía en función de la luz que recibe. Se denomina también, fotoresistor o fotorresistencia. Está hecho a base de un material semiconductor de alta resistencia como puede ser el sulfuro de cadmio. Si la luz que incide sobre el resistor es de alta resistencia, los fotones son captados por elasticidad del material semiconductor entregando a los electrones la suficiente energía para atravesar la banda de conducción. El electrón libre resultante conduce electricidad, de tal forma reduce la resistencia.

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

El sulfuro de cadmio tiene esta propiedad de variar la resistencia del cadmio en función de la cantidad de luz que incide sobre él. Cuanta más luz recibe, más baja será la resistencia. Las células de sulfuro de cadmio son también capaces de reaccionar ante grandes niveles de frecuencias incluyendo infrarrojo, luz visible, y la luz ultravioleta.

Modos de conexión

Para conectar el LDR en la placa Arduino se debe hacer un divisor de tensión, de donde se extrae la señal para conectar a una entrada analógica.

Se puede conectar de dos formas diferentes:

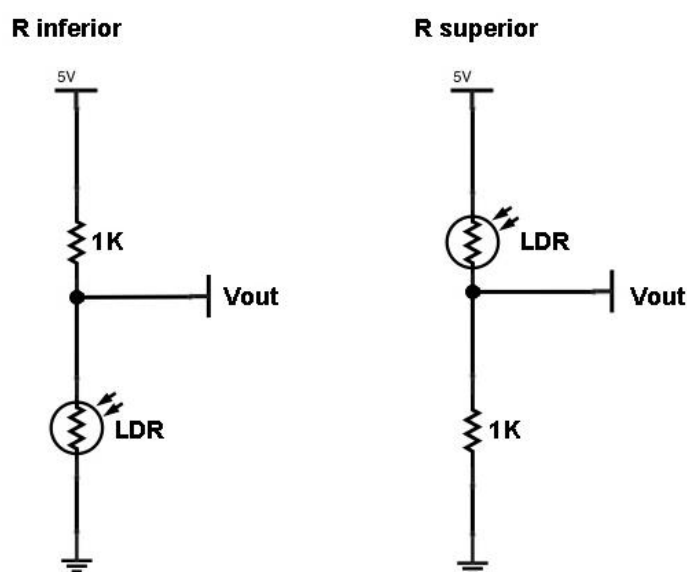


Imagen 140 Modos de conexión LDR

Si se lleva al cabo la conexión R inferior del divisor de tensión, el LDR dará como resultado tensión máxima cuando esté en plena oscuridad, en este caso opone el máximo de su resistencia al paso de corriente derivándose esta por V_{out} al completo, si la conexión es de tipo R superior, el resultado será el inverso, se obtendrá la tensión máxima cuando esté plenamente iluminado, ya que en este caso su comportamiento es similar al de un circuito abierto, con una resistencia de 50 ohmios o 100 ohmios. Este sensor ya lo mencionamos en los capítulos anteriores.

Resistencia

Una resistencia es un componente electrónico hecho para introducir una resistencia determinada entre dos extremos de un circuito. Se representa con los siguientes símbolos:

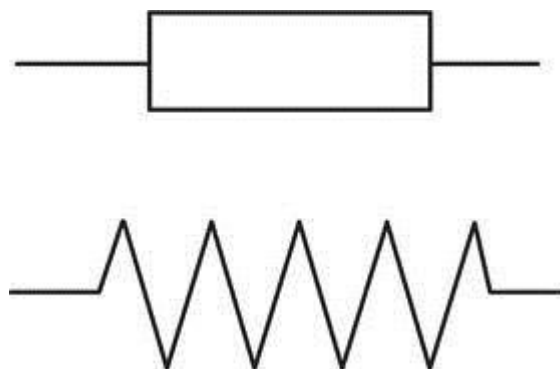


Imagen 141 Símbolos de resistencia

El papel de una resistencia en un circuito electrónico es oponer o limitar el paso de la corriente eléctrica.

Características

Las resistencias tienen un coeficiente de temperatura, éste depende de la temperatura que alcanza la resistencia cuando por ella empiecen a fluir los electrones. Tiene rango de trabajo, que es la temperatura máxima con la cual podrá trabajar sin deteriorarse.

Todos esos componentes electrónicos tienen una tolerancia, esto es, el margen de valores y en el que se sitúa el valor real de la resistencia. Su valor viene determinado por un porcentaje que oscila de 0.001% hasta 20% el más usado es el de 10%. Esta tolerancia viene expresada por un código de colores. También tienen un coeficiente de tensión que dificultará al paso de la corriente eléctrica entre sus dos extremos, que será la variación relativa de cambio de tensión al que se someterá.

Existencia muchos materiales para la fabricación de las resistencias los más son aleaciones de níquel, zinc, cobre en diversas cantidades de cada uno, de eso dependerá de la resistividad. El elemento que determinará el aumento de la resistividad es el níquel, ya que, si en una aleación se encuentra en mayor proporción, la resistencia tendrá gran resistividad.

Las aleaciones de níquel-cromo serán de 60 a 70 veces superior que las de cobre, con un gran comportamiento en altas temperaturas, las aleaciones de níquel-hierro y cobre-níquel tienen una resistividad de 10 a 30 veces mayor que el cobre. También es útil el carbono ya que su resistividad ronda de entre 400 y 2,400 veces que la del cobre, por este motivo se usa en las escobillas de los motores eléctricos.

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Código de colores

El valor de una resistencia viene marcado por un código de colores. Esto se lleva a cabo por medio del grabado de unos anillos de colores en el cuerpo de la resistencia. Estos anillos son más o menos cuatro o cinco y vienen indicados según se presenta en la siguiente imagen:

Código de colores
de las resistencias eléctricas



Colores	1ª Cifra	2ª Cifra	Multiplicador	Tolerancia
Negro		0	1	
Marrón	1	1	$\times 10$	$\pm 1\%$
Rojo	2	2	$\times 10^2$	$\pm 2\%$
Naranja	3	3	$\times 10^3$	
Amarillo	4	4	$\times 10^4$	
Verde	5	5	$\times 10^5$	$\pm 0.5\%$
Azul	6	6	$\times 10^6$	
Violeta	7	7	$\times 10^7$	
Gris	8	8	$\times 10^8$	
Blanco	9	9	$\times 10^9$	
Oro			$\times 10^{-1}$	$\pm 5\%$
Plata			$\times 10^{-2}$	$\pm 10\%$
Sin color				$\pm 20\%$

■ Ejemplo:  Si los colores son: (Marrón - Negro - Rojo - Oro) su valor en ohmios es:
 $1 \quad 0 \quad \times 100 \quad 5\% = 1000\Omega = 1K\Omega$, Tolerancia $\pm 5\%$

Imagen 142 Código de colores

Un programa fácil de usar para determinar el valor de una resistencia es el: resistor.



Imagen 143 Programa Resistor

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Esquema de montaje

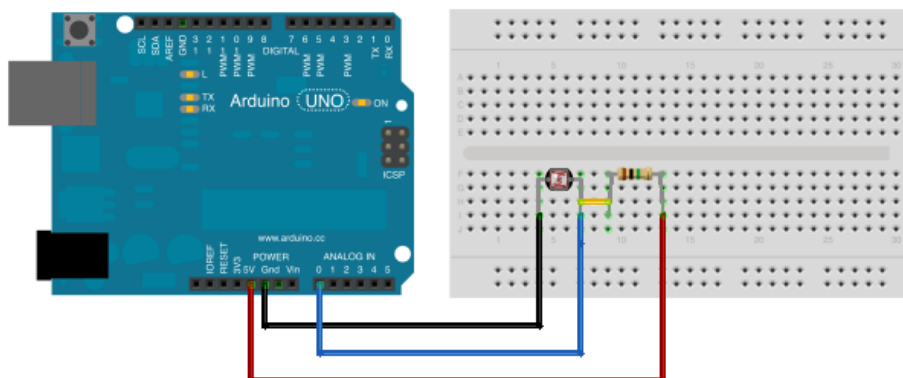
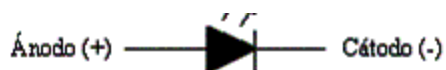


Imagen 144 Esquema de montaje

DIODO LED

La señal indicadora de recepción y almacenamiento de datos en sistema se compone siete LEDs.

- **Símbolo electrónico**



Este es el típico símbolo que se utilizar para representar los diodos en los circuitos eléctricos, donde al ánodo le corresponde la patilla larga y cátodo la corta. Los Leds están diseñados para trabajar a tensiones de 2V, para conectarlos a otra tensión diferente se recomienda conectar una resistencia en serie con él para absorber parte de esta tensión y al Led solo le queden los 2V.

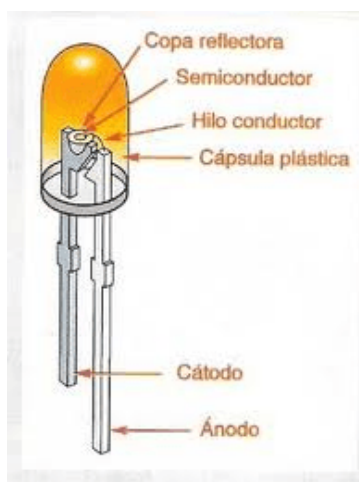


Imagen 145 Composición del LED⁴⁵

⁴⁵ www.areatecnologia.com

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

- **Funcionamiento**

Los diodos son dispositivos electrónicos que permiten la circulación de la corriente en un solo sentido, en sentido contrario se convierte en un obstáculo que no deja pasar la corriente, como si fuera un interruptor abierto. Un diodo Led además de permitir la circulación del flujo de corriente en un solo sentido, en el sentido en el que fluye la corriente por el diodo, este emite luz. Se dice que diodo está polarizado directamente cuando está conectado en el sentido que permite el paso de la corriente.



Imagen 146 Variedad de color de los LEDs⁴⁶

La palabra LED es de origen inglés *Light Emitting Diode* que en castellano es Diodo Emisor de Luz. Los Leds constan de dos patillas de conexión una larga y otra corta. Para que conduzca el diodo se debe conectar la patilla larga al polo positivo y la corta al negativo. De no ser así, la corriente no pasará y no emitirá luz.

- **Ventajas**
 - Mayor tiempo de ida.
 - Tiempo de encendido muy corto.
 - Casi no emite calor.
 - No contienen mercurio, altamente nocivo en el medio ambiente, en comparación con la tecnología fluorescente.
 - Tamaño reducido.
 - Reducen ruidos en las líneas eléctricas.

⁴⁶ es.123rf.com

- Son especiales para utilizarse con sistemas fotovoltaicos en comparación con cualquier tecnología.
- Variedad de colores, que ha permitido el desarrollo de nuevas pantallas electrónicas de texto monocromáticas, bicolores, tricolores y RGB.
- Bajo consumo de energía.
- Resistencia a las vibraciones.
- No les afecta el encendido intermitente y esto no reduce su vida promedio.
- En la mayoría de los colores, a excepción de los LEDs azules, cuentan con un alto nivel de fiabilidad y duración.
- Son especiales para sistemas anti-explosión ya que cuentan con un material resistente.
- No crean campos magnéticos altos como la tecnología de inducción magnética, con los usuales se crea mayor radiación residual hacia el ser humano.

4.4.6 Equipamiento

Para implementar nuestra plataforma de Módulos Multisensoriales Distribuidos para Análisis Medioambiental se ha necesitado los componentes, materiales y dispositivos que se presentan a continuación, utilizados para el montaje, conexión de componentes, comunicación inalámbrica y experimentos del sistema.

- **Fuente de alimentación**

Una pila de 9V, es una de las opciones más extendidas, es adecuado para proyectos de pequeño. El voltaje que ofrece es adecuado para alimentar Arduino. Tiene la ventaja de que son fáciles de encontrar y usar. Además, se puede encontrar cables y portapilas, que incluso integran un conector tipo Jack para Arduino, lo que les hace fácil de usar.

Como desventajas de estas pilas, disponen de baja densidad energética. Proporcionan una intensidad de corriente máxima muy baja, en torno a 300 miliamperios. Es inadecuada para la mayoría de accionadores. Su tensión es excesiva para alimentar los servos y motores DC, mientras que no es suficiente para dispositivos que requieren mucha intensidad como motores *brushless* y paso a paso, que función con una tensión de 12V.

Esta pila es una opción para pruebas sencillas o pequeños montajes, es muy limitada en sus características.

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL



Imagen 147 Pilas de 9V

- **Tres placas Arduino UNO Rev3:** contiene el programa y en ellas se conectan otros componentes del sistema.



Imagen 148 Placa Arduino

- **Cable USB** y adaptador de corriente a USB para la alimentación y programación de las placas Arduino.



Imagen 149 Cable USB

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

- 4 módulos RF 433 MHz

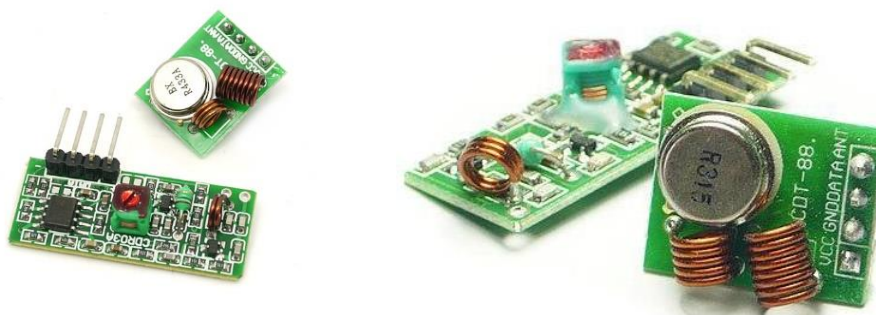


Imagen 150 Módulos RF 433 MHz

- Dos sensores de temperatura.

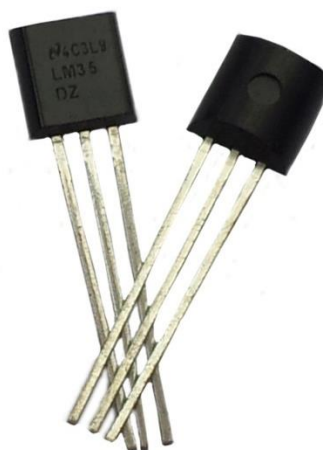


Imagen 151 Sensor temperatura LM35

- Tres fotoresistores LDR.

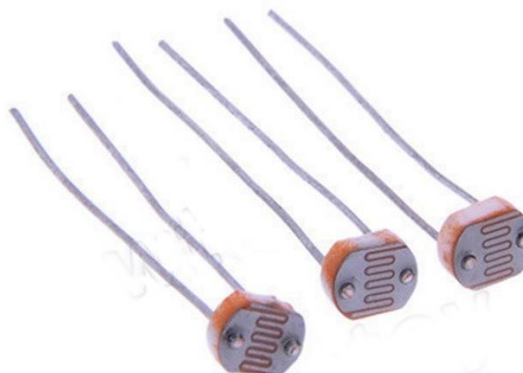


Imagen 152 Fotoresistor LDR

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

- **Resistencias**

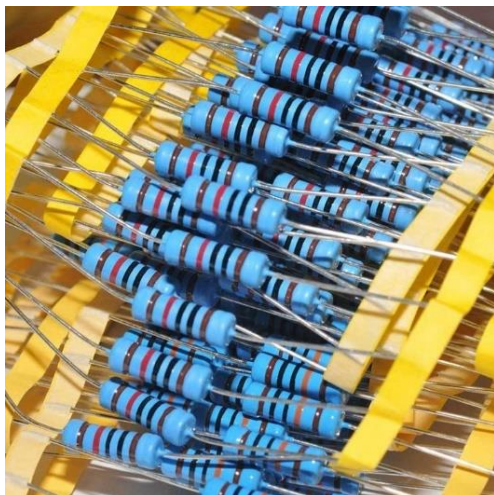


Imagen 153 Kit de resistencias

- **Placas de prototipado para el montaje de los componentes.**

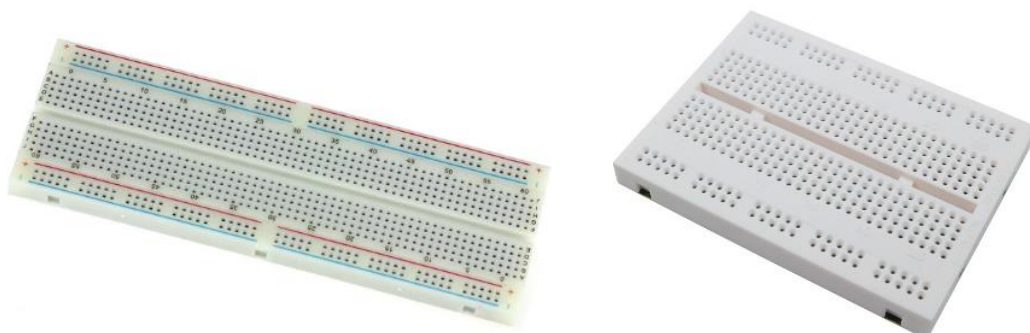


Imagen 154 Placas prototipado

- **Cables para las conexiones.**



Imagen 155 Cables Macho y Dupont

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

- Soldador y estaño para conectar los GPS.



Imagen 156 Soldador y un rollo de estaño

- 2 Módulos GPS GY-GPS6MV2.



Imagen 157 Módulos GPS

- 4 tarjetas Micro SD para almacenar los datos.



Imagen 158 Micro SD Kington 8GB

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

- **Módulos Micro SD.**

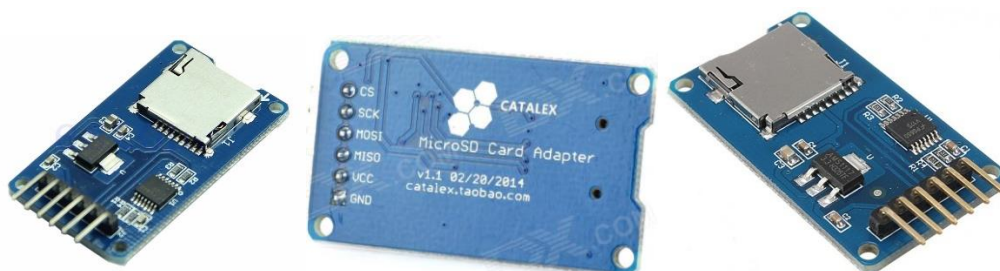


Imagen 159 Módulos Micro SD

- **LED.**



Imagen 160 Kit de Leds

- **Software instalado en el PC:**

- Arduino IDE: para la programación de Arduino UNO.
- Fritzing: para el diseño de los circuitos.
- Resistor: para el calcular resistencias.
- Microsoft office: para analizar los datos.
- Photoshop: para mejorar la calidad de imágenes.

4.5 Representación de datos

Hoy en día existen muchos programas de hojas de cálculo al alcance de casi todos. Entre ellos se puede citar los siguientes:

- **Microsoft Excel incorporado en Microsoft Office**

Excel es una aplicación para manipular hojas de cálculo, es propiedad de Microsoft, y es utilizado comúnmente en tareas financieras y contables. Los datos pueden ser de tipo numérico o de texto que pueden incluir fórmulas que calculan valores basados en referencias a otros números del libro. La hoja de cálculo de Microsoft está compuesta de 16,384 filas y 256 columnas.

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Se destaca por ser un programa muy potente y fácil de manejar, se presentan buenos trabajos, como puede ser unas nóminas o factura o también llevar las comisiones, llevar un control de los apuntes del banco, análisis de datos, etc. Excel incluye una potente función *Solver*. Esta función hace lo que los técnicos de llaman optimización: determinar el mejor valor de una función impuesta a unas restricciones o ninguna. Tiene la posibilidad de presentar los datos de forma asombrosa, con mucha estética. Con las prestaciones de Excel se puede ordenar, reorganizar, analizar y presentar los datos fácilmente.

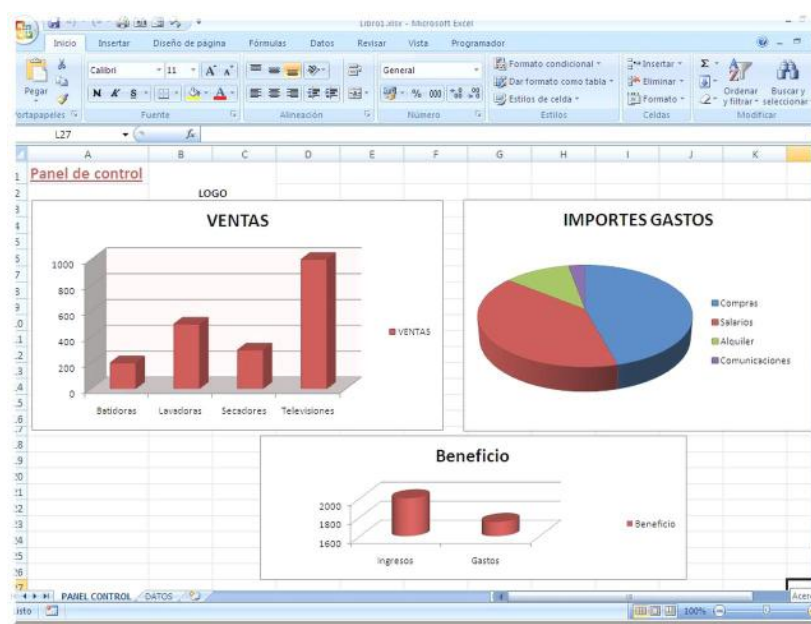


Imagen 161 Hoja de cálculo Excel⁴⁷

- **CALC (APACHE Open Office)**

Es una hoja de cálculo incorporada en el paquete *OpenOffice*, es una suite ofimática de software libre y de código abierto de distribución gratuita, es compatible con Microsoft Excel. Es propiedad de la empresa *Sun Microsystems Inc.* Incluye herramientas como base de datos, presentaciones, herramientas para el dibujo vectorial y procesador de textos. *Calc* puede usarse a través de una variedad de plataformas, incluyendo *Mac OS X*, *GNU/Linux*, *Windows*, *FreeBSD* y *Solaris*, y está disponible bajo licencia *LGPL*. Su dimensión es mucho menor y proporciona una serie de características que no dispone Excel, incluye un instrumento que automáticamente determina serie para representar gráficamente basado en la disposición de los datos del operador. Es una hoja multipropósito.

⁴⁷ hojasdecalculo.about.com

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

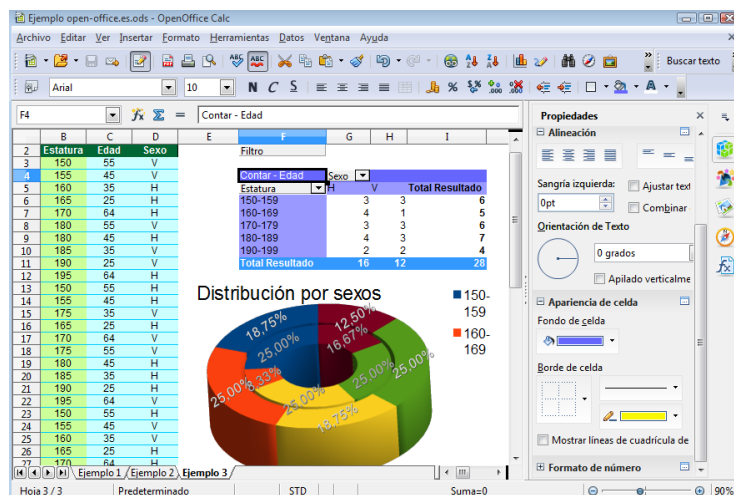


Imagen 162 Apache OpenOffice Calc⁴⁸

- **Gnumeric**

Gnumeric integrado en *GnomeOffice*, es una hoja de cálculo libre. Surge con la idea de convertirse en una alternativa de otras hojas de cálculo como Microsoft Excel. Tiene la ventaja de importar y exportar datos en diferentes formatos, lo que le da posibilidad de ser compatible con otros programas como *Applix*, *Excel*, *Quattro Pro*, *PlanPerfect*, *Sylk*, *DIF*, *Oleo*, *SC*, *OpenOffice.org*, *StarOffice* y *Lotus 1-2-3*.

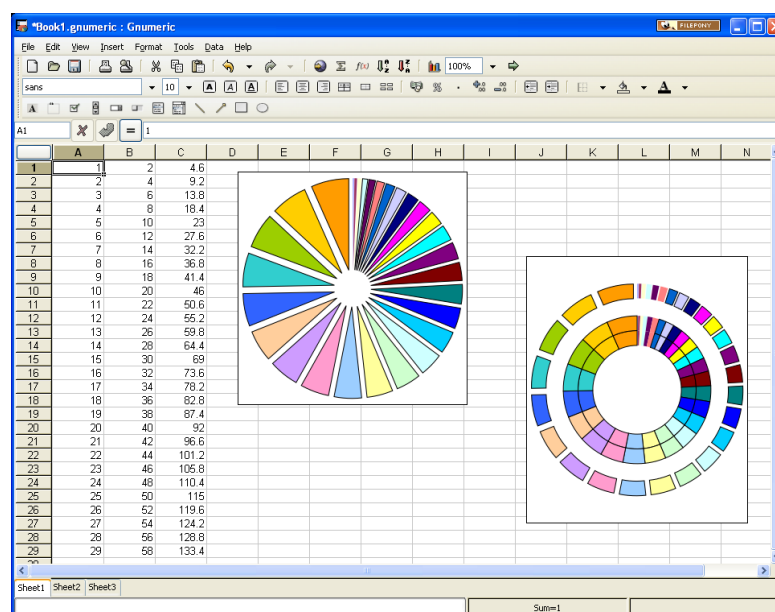


Imagen 163 Hoja de cálculo Gnumeric⁴⁹

⁴⁸ www.openoffice.org

⁴⁹ filepony.de

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

- Lotus 1-2-3

Lotus 1-2-3 es un clásico programa, desarrollado por la empresa *Lotus Development Corporation*, que más tarde fue adquirida por *IBM* en 1996. Tuvo su periodo de esplendor en la década de 1980 contribuyó valiosamente a afianzar el éxito de las *PCs* dentro del ambiente corporativo y de oficina. Como hoja de cálculo, también incluía la capacidad de gráfico y de realizar rudimentarias o elementales operaciones de base de datos. Los números 1-2-3, provienen de la integración de las tres principales capacidades del producto.

Existen muchas más aplicaciones de hoja de cálculo como *Google Spreadsheet*, *Numbers*, *Quattro Pro*, *Tables*, Hoja de cálculo (*Microsoft Works*), *Corel Calculate* (*Lotus Smart Suite*), todas con prestaciones similares a las de *Lotus*, *Excel*, *Gnumeric*, *Calc*.

El programa escogido en este proyecto para el análisis de los datos es *Excel*, por ser el más popular actualmente, es el más potente, es fácil de manejar, por la estética con que puede representar los datos, puede realizar operaciones simples y complejas.

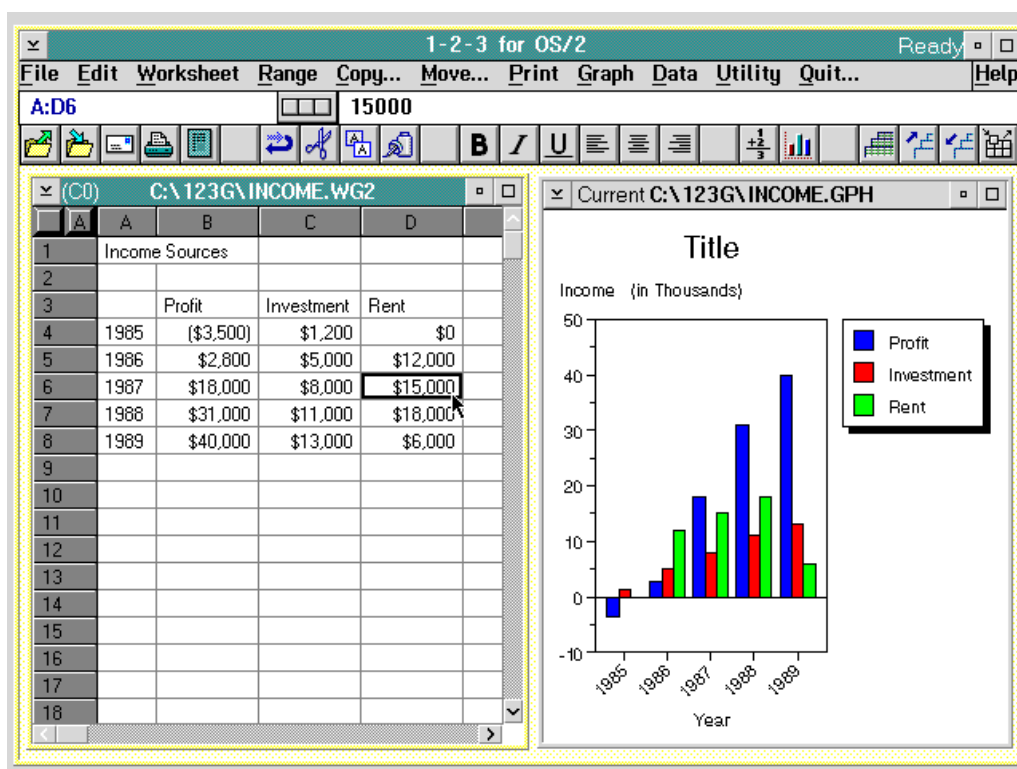


Imagen 164 Hoja de cálculo Lotus 1-2-3⁵⁰

⁵⁰ <http://www.aresluna.org>

4.6 Montaje final

4.6.1 Descripción y combinación de los sistemas individuales

Los módulos transmisores finales se componen de los cinco sistemas individuales descritos en esta memoria (localización, detección de temperatura, almacenamiento, lector de luz y transmisión), que operan de manera independiente, de modo que tanto los errores en el funcionamiento como en la conexión pueda controlarse y solucionarse también de forma independiente. También con el propósito y para reducir los errores de conexión, se ha utilizado distintos colores en el cableado y respetando las normativas de conexión (positivo y negativo, fase y neutro) positivo-rojo y negativo-negro, desde que comienza el diseño de los subsistemas en el software Fritzing hasta la obtención final del hardware, para facilitar el seguimiento y revisión de las señales. A continuación, se presenta las distintas fases que se ha pasado para llegar hasta el producto final.

4.6.2 Fase 1

4.6.2.1 Sistema detección de temperatura y el sistema de luz

Esta es primera parte de la plataforma que se ha construido, en este bloque solo se lleva a cabo la medición de temperatura y de luz, solo se requiere dos sensores: un sensor de temperatura y una fotorresistencia (LDR).

Para leer los valores de los sensores, se toma las entradas analógicas A0 y A1 de la placa Arduino. El fotoresistor LDR entregará valores comprendidos entre 0 y 1023 en función de la luz que incide sobre él. El caso de del sensor de temperatura es un poco especial y se expone a continuación para entender las operaciones que contiene el código de programación.

El sensor de temperatura LM35, en su pin central, entregará una señal que va desde 0V a 5V en función de la temperatura, y albergará una parte fraccional por lo que se almacenará en un tipo de variable *float*. Pero, el puesto analógico de Arduino interpretará valores entre 0 y 1023, por lo que primero habrá que realizar unas operaciones para saber a cuanto voltaje equivale lo que toma el puerto A1 usando la siguiente expresión:

$$voltaje = 5 \cdot \frac{valor\ del\ sensor}{1024}$$

De acuerdo a la hoja de características del sensor, cada variación de 10 mV en el voltaje de entrada implica un cambio de 1°C de temperatura, por consiguiente, será posible

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

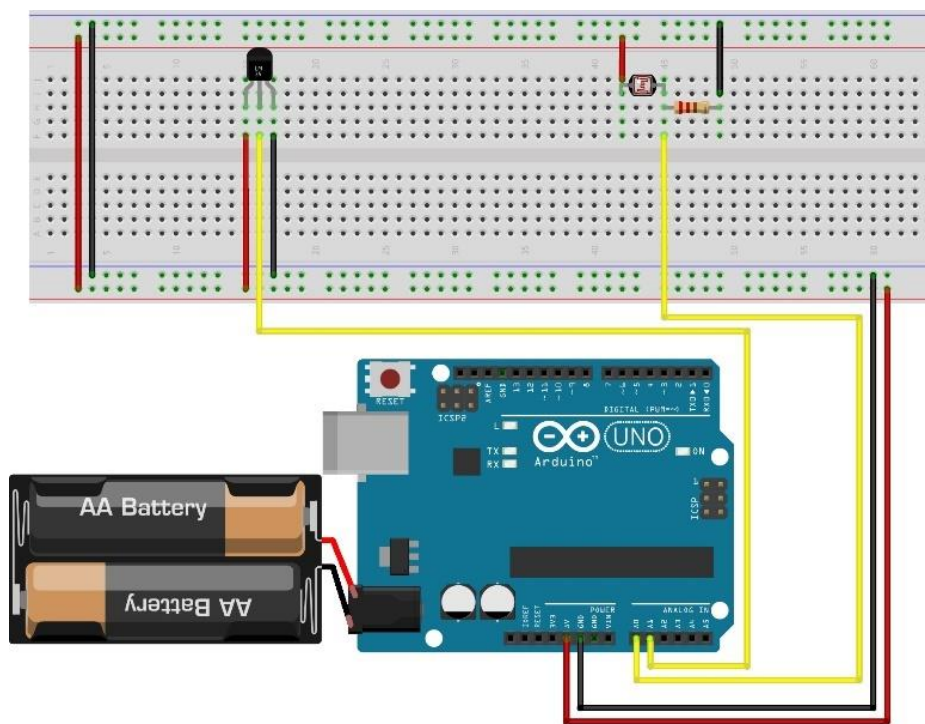


Imagen 166 Esquema de Montaje

4.6.2.4 Diagrama de flujo

Este diagrama representa el pseudocódigo del subsistema, en inicio se declara las variables, se inicia el puerto serial y por último mostrar los valores por pantalla.

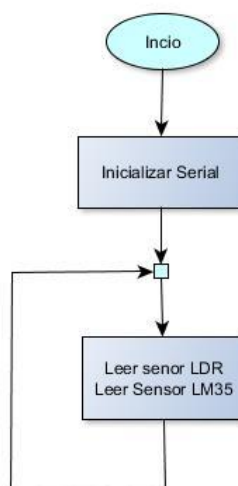


Imagen 167 Diagrama de flujo

La fortaleza de este bloque es fácil medición, es sencillo y menos errores. Y las debilidades es que los valores medidos no se almacenan, únicamente se ven en el monitor serial, no aporta información sobre cuándo y dónde se ha realizado estas medidas.

4.6.2.5 El código

El código necesario para realizar la lectura es el siguiente. Simplemente leemos los valores mediante la entrada analógica.

```
const int sensor1 = A0;
const int sensor2 = A1;
int S1=0;
int S2=0;
float temperatura=0;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  S1=analogRead(sensor1);
  S2=analogRead(sensor2);
  float milivolts=(5.0*S2*1000)/1023.0-0.5;
  temperatura=milivolts/10;

  Serial.print(millis());
  Serial.print(", sensor1=");
  Serial.print(S1);
  Serial.print(", sensor2=");
  Serial.println(temperatura);

  delay(1000);
}
```

Imagen 168 Sistema de lectura de temperatura e iluminación

4.6.3 Fase 2

4.6.3.1 Medición y transmisión

En este bloque se ha añadido un ingrediente más en el sistema ahora se puede compartir con otras cápsulas la información obtenida del entorno, la configuración de este subsistema es como se muestra en la próxima imagen, los sensores mantienen las ubicaciones de la Fase 1, la patilla central del módulo RF emisor puede tomar cualquier pin de la zona digital, en este esquema se encuentra en el 9, las de los extremos son de alimentación. El lado receptor solo se recibe datos, en ese lado el módulo las patillas data pueden conectarse en cualquier pin digital libre, en las otras dos patillas se alimenta el dispositivo. Esta es la fase de medición, transmisión y recepción.

4.6.3.2 Esquema de montaje

El siguiente esquema muestra cómo, el LM35, LDR y el módulo emisor RF 433 a la placa Arduino.

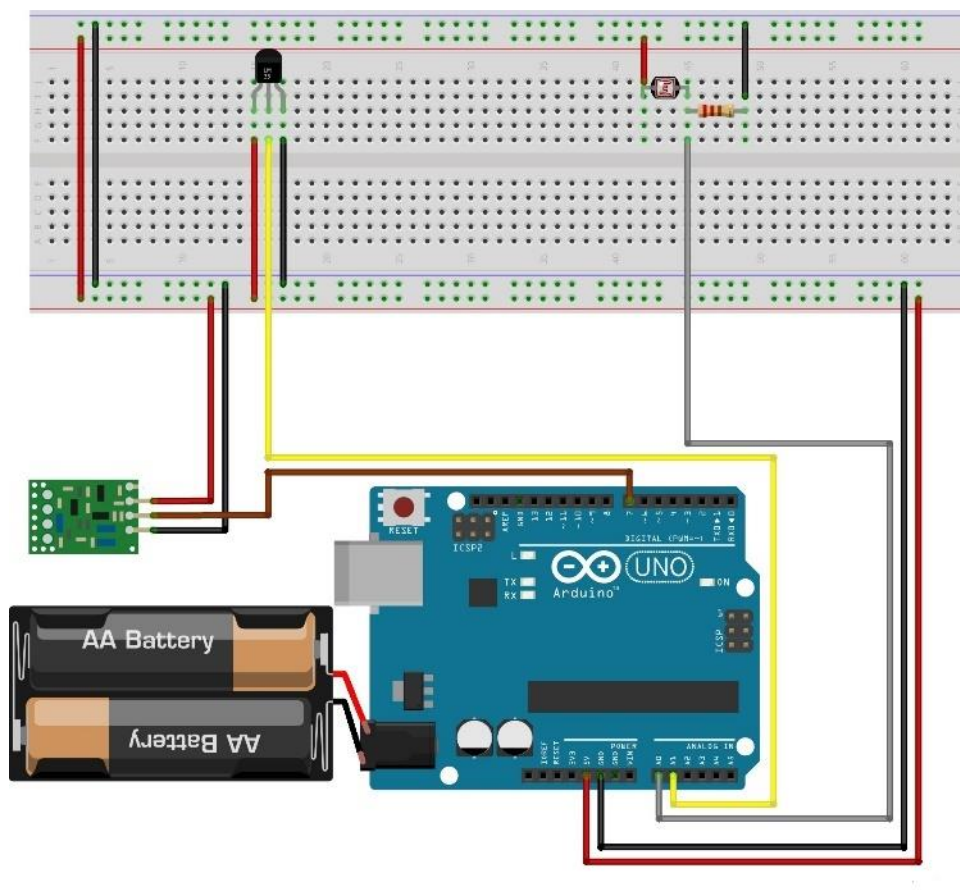


Imagen 169 Esquema Medición y Transmisión

4.6.3.3 Diagrama de flujo

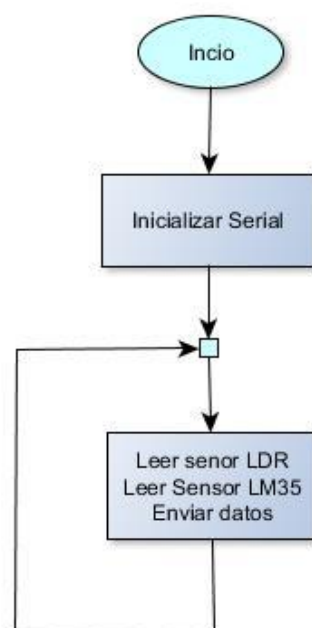


Imagen 170 Diagrama de flujo fase 2

4.6.3.4 El esquema del circuito

La conexión de LM35 y el módulo RF es trivial, tienen tres patillas cada uno. Normalmente viene rotulado en el sensor el nombre de cada pin. Así quedaría el diagrama eléctrico de este bloque.

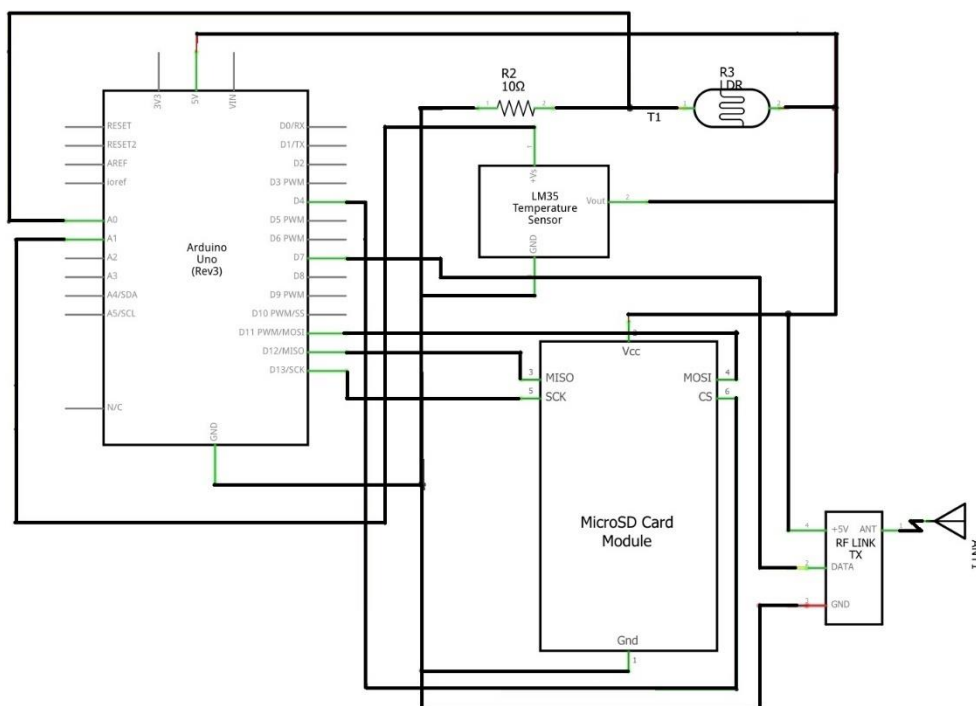


Imagen 171 Circuito Fase 2

4.6.3.5 El código

- **Transmisor**

Este es el pseudocódigo que rige este subsistema, para enviar las lecturas de los sensores de temperatura y LDR, para programar los módulos RF, primero se llama a la librería *VirtualWire* como se indica en el código, el apartado de librería se expone con más detalle las funciones de esta librería, con la función *vw_setup(2000)* se inicia la comunicación por radio, de forma similar al *Serial.begin()*, en el esquema de montaje en el pin(7) se conectaba la patilla data del emisor RF, y es el pin que se ajusta en el código para la transmisión de datos, con la función *sprintf* se crea una cadena con las variables a enviar, *vw_send()* sirve para enviar el mensaje, recibe dos parámetros el primero es la función en sí y el segundo cantidad de bytes que contiene el mensaje y la función *vw_wait_tx()* espera hasta que se haya transmitido todo el mensaje antes de continuar con el programa. Este fragmento le corresponde al emisor.

```
#include <VirtualWire.h>
```

```
int Sensor1 = A0; // El pin del sensor LDR
int Sensor2 = A1; // Sensor LM35
int S1=0; // La variable que va a leer cada sensor
int S2=0; //
int temperatura=0;
char SensoresCharMsg[21]; // La cadena que vamos a enviar al
canal RF
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    vw_setup(2000);
    // bits por segundo
    vw_set_tx_pin(7);
    // Ajustar el pin de tx. Aquí lo conectamos en 9
    // Si no se ajusta, por defecto es 12
}
void loop()
{
    S1=analogRead(Sensor1);
    S2=analogRead(Sensor2);
    int milivolts=(5.0*S2*1000)/1023.0-0.5;
    temperatura=milivolts/10;

    Serial.print(millis());
    Serial.print(", sensor1=");
    Serial.print(S1);
    Serial.print(", sensor2=");
    Serial.println(temperatura);

    sprintf(SensoresCharMsg, "%d,%d", S1,temperatura);
    vw_send((uint8_t *)SensoresCharMsg,
strlen(SensoresCharMsg));
    vw_wait_tx();
    Serial.println(SensoresCharMsg);
    delay(1000);
}
```

- **Receptor**

En el Arduino se recibe un mensaje que se guardará en el array de caracteres *SensoresCharRecibir[]*. La información se recibe en forma de cadena, con la función *sscanf()* lo convierte en un array, los *%d* representan cantidad de caracteres que formarán el array, *&variable*, los nombres que tomarán los elementos del array. En el programa declaramos *vw_setup(2000)* para iniciar la comunicación por radio, la función *vw_rt_start()* inicia el pin de recepción, el pin por defecto para recibir el mensaje es el 11, pero se puede cambiar escribiendo *vw_set_rx_pin(7)*.

```
#include <VirtualWire.h>
```

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

```
int S1; // Variables que van a registrar los valores
recibidos
int temperatura;
char SensoresCharRecibir[22];

void setup()
{
    Serial.begin(9600);
    vw_setup(2000); //Tiempo de espera
    vw_set_rx_pin(7); //Pin donde se conecta el Arduino
    vw_rx_start(); //Se inicia la recepción de datos
}

void loop() {
    //Creamos un mensaje
    //La constante VW_MAX_MESSAGE_LEN viene definida en la
    libreria

    uint8_t buf[VW_MAX_MESSAGE_LEN]; //Tamaño del mensaje
    uint8_t buflen = VW_MAX_MESSAGE_LEN;

    //Se verifica si hay //mensaje disponible para ser
    leído
    //Tomando los datos de la base de control
    if (vw_get_message(buf, &buflen))
    {
        int i;

        //Se leen todos los caracteres
        for (i = 0; i < buflen; i++)
        {
            // Caracteres del buffer
            SensoresCharRecibir[i] =char(buf[i]);

            //Serial.println(i);
        }
        // Convierte una cadena a un arrays
        sscanf(SensoresCharRecibir, "%d,%d", &S1,
        &temperatura);

        Serial.print(millis());
        Serial.print(", sensor1="); //Se imprime el mensaje
        en el monitor //serial
        Serial.print(S1);
        Serial.print(", sensor2=");
        Serial.println(temperatura);

        delay(1000);
    }
}
```

Configuración del circuito receptor

4.6.3.6 El esquema del circuito

El esquema eléctrico que se necesitaria para el conexionado de módulo receptor RF en la placa Arduino.

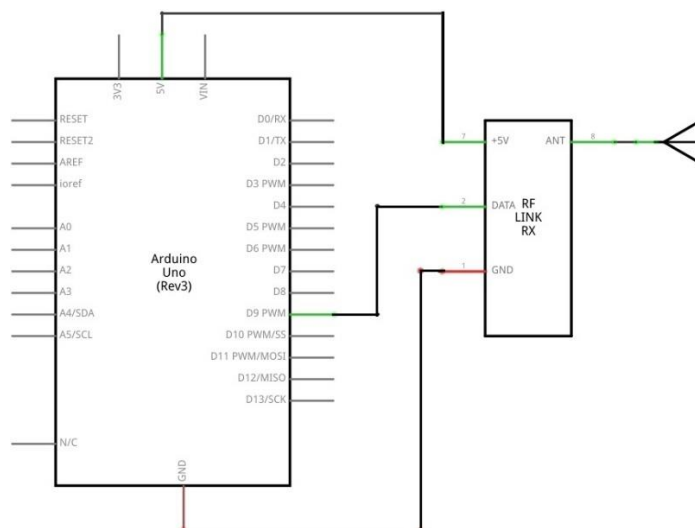


Imagen 172 Circuito de Recepción Fase 2

4.6.3.7 El esquema montaje

El siguiente esquema muestra la conexión del módulo RF a la placa Arduino. Las conexiones de estos dispositivos a la tarjeta Arduino son fáciles de llevar a cabo.

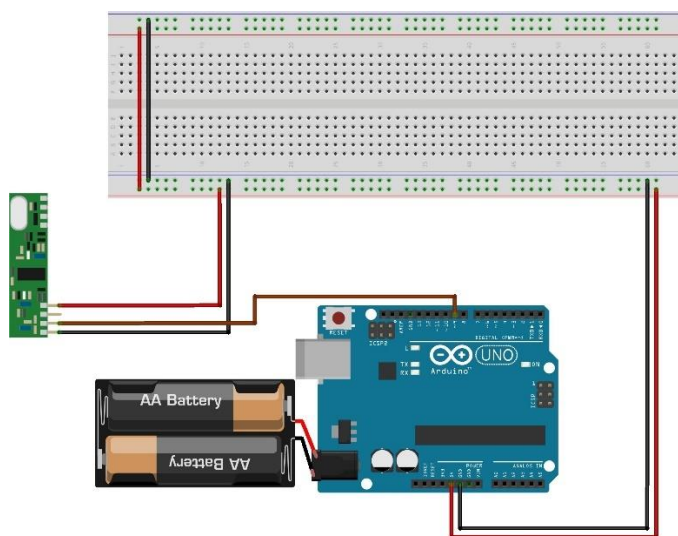


Imagen 173 Esquema montaje Receptor Fase 2

4.6.3.8 Diagrama de flujo

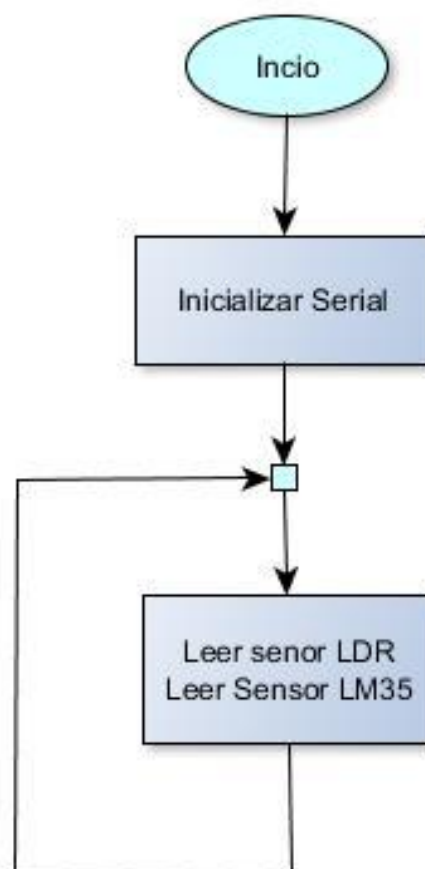


Imagen 174 Diagrama de flujo Receptor Fase 2

En este bloque los datos se transmiten con facilidad, no hay errores lo que se mide, se transmite y se recibe, la comunicación es instantánea, y hay flexibilidad en la transferencia de información.

Las debilidades de este subsistema son: sin ordenadores con software Arduino no se puede saber lo que leen los sensores, y no hay información del lugar, fecha y hora de monitoreo.

4.6.4 Fase 3

4.6.4.1 Medición, transmisión y almacenamiento de información

En este subsistema los sensores miden, transmiten y almacenan las sensaciones que experimentan del entorno. Por otro extremo llegan los datos y posteriormente acomodarlos.

4.6.4.2 Esquema de montaje emisor

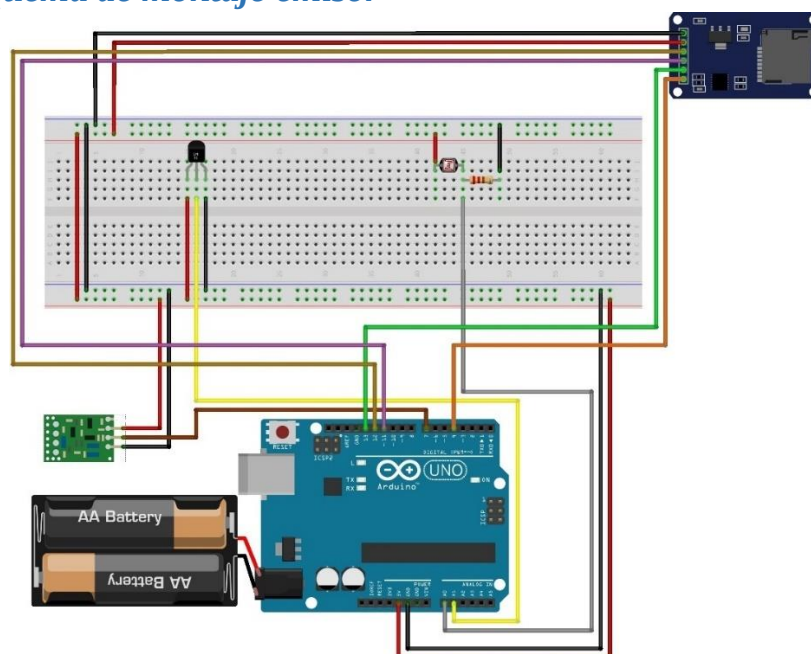


Imagen 175 Esquema de montaje Emisor Fase 3

Este bloque tiene la ventaja de almacenar en todo momento lo que perciben los sensores y los comparte con el subsistema receptor. Todavía se desconoce el momento y el lugar donde están midiendo los sensores, ahora las capsulas pueden liberarse del ordenador, ya tienen la posibilidad de memorizar lo que sienten del entorno.

4.6.4.3 Esquema de montaje receptor

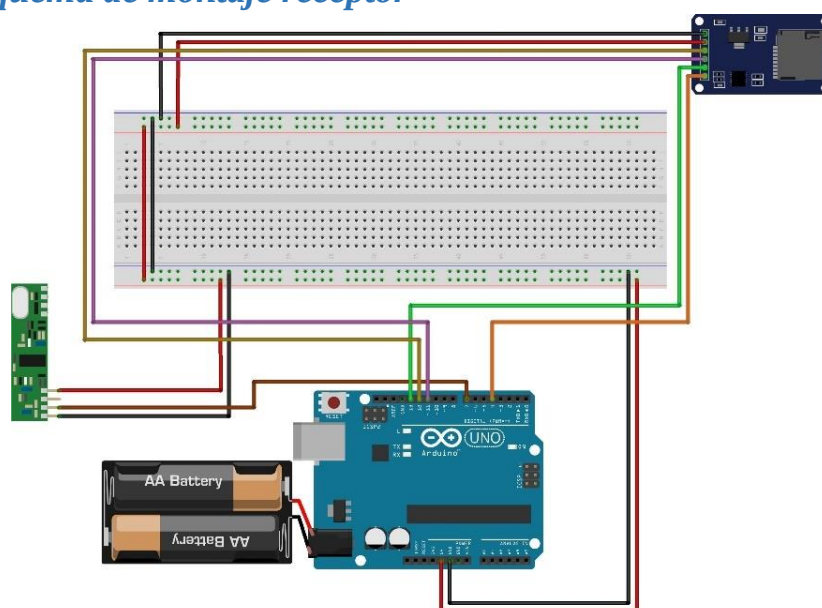


Imagen 176 Montaje de Receptor Fase 3

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

- Diagrama de flujo

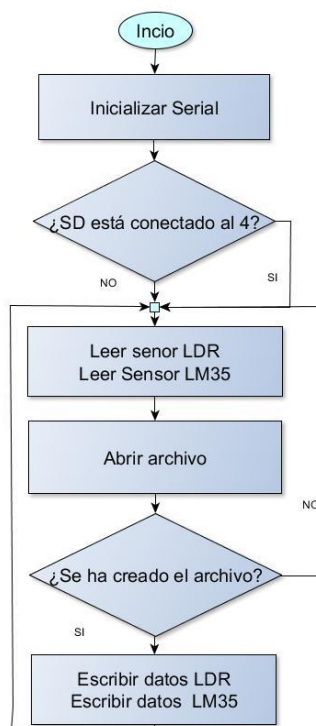


Imagen 177 Diagrama de flujo Fase 3

Los diagramas de flujo son similares entre emisor y receptor, para el receptor el contenido del rectángulo de lectura se cambia por escritura.

4.6.4.4 Diagrama eléctrico

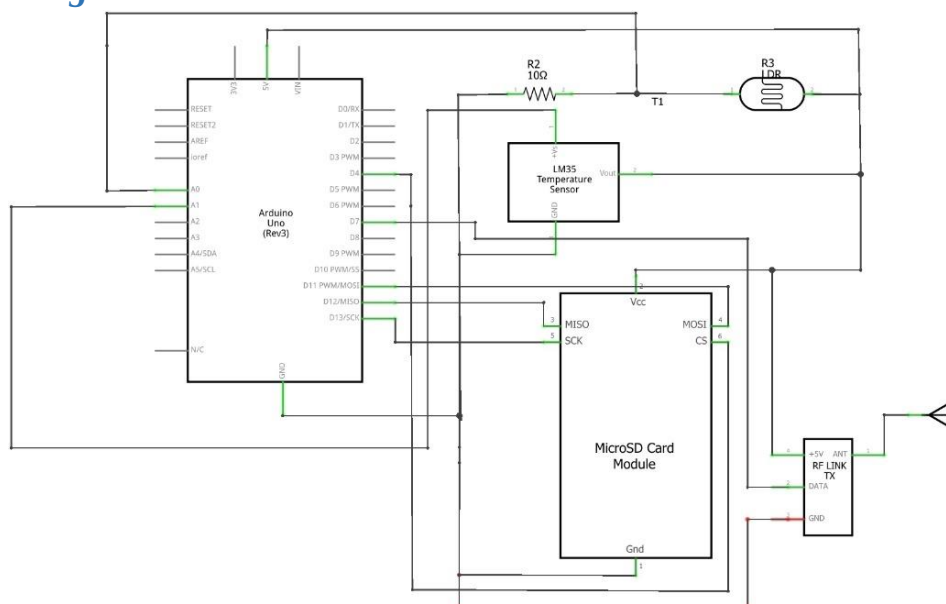


Imagen 178 Diagrama eléctrico Receptor Fase 3

4.6.4.5 Código transmisor Fase 3

Para poder utilizar la librería en nuestro código es necesario incluir a la librería SD al inicio del código: *SD.h*, con *SD.begin()* inicializa la biblioteca SD y la tarjeta, indicando el pin cuatro que lleva la patilla CS, para continuar *SD.exists()* comprueba si existe el archivo especificado si existe esta función nos devuelve un true, de lo contrario devuelve false, si todas estas condiciones cumplen con *SD.open()* se abre el archivo especificado y con esta función se abre el directorio en el archivo creado en la tarjeta, *miArchivo.close()* se cierra el archivo, y recién en este instante los datos se guardan en la SD, pudiendo extraer de forma segura la SD.

Entonces el comportamiento del código será, definición de las variables y las librerías, comprobar la existencia del archivo y conexión de SD si cumplen las condiciones se leerá la temperatura, el nivel de iluminación y se guardan, si no cumplen, Arduino tomada datos, pero no pueden ser almacenado.

```
#include <VirtualWire.h>
#include <SD.h>;
int Sensor1 = A0; // El pin del sensor LDR
int Sensor2 = A1; // Sensor LM35
int S1=0; // La variable que va a leer cada sensor
int S2=0; //
int temperatura=0;
char SensoresCharMsg[21]; // La cadena que vamos a enviar al
canal RF
File miArchivo;
int chipSelect=4;
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    vw_setup(2000);
    // bits por segundo
    vw_set_tx_pin(9);
    // Ajustar el pin de tx. Aquí lo conectamos en 7
    //Si no se ajusta, por defecto es 12

    if (!SD.begin(chipSelect)) {

        Serial.println("Error al leer la tarjeta. ");

        return;
    }
    if (!SD.exists("fase3.csv")) {
```

```
miArchivo=SD.open("fase3.csv", FILE_WRITE);
if (miArchivo){
    Serial.println("Archivo nuevo, Escribiendo
encabezado(fila 1)");
    miArchivo.println("Tiempo(ms),Iluminación(lm),
Temperatura(°C)");
    miArchivo.close();
}
else {
    Serial.println("Error creando el archivo
datalog.csv");
}
}
}
void loop()
{
    S1=analogRead(Sensor1);
    S2=analogRead(Sensor2);
    int milivolts=(5.0*S2*1000)/1023.0-0.5;
    temperatura=milivolts/10;
    //abrimos el archivo tipo CSV
    miArchivo=SD.open("fase3.csv", FILE_WRITE);

    if (miArchivo){

        //Escritura de datos en la tarjeta SD
        miArchivo.print(millis());
        miArchivo.print(" , ");
        miArchivo.print(S1);
        miArchivo.print(" , ");
        miArchivo.println(temperatura);

        // Lo que se puede ver en monitor serial
        Serial.print(millis());
        Serial.print(", sensor1=");
        Serial.print(S1);
        Serial.print(", sensor2=");
        Serial.println(temperatura);

        //Transmisión
        sprintf(SensoresCharMsg, "%d,%d", S1,temperatura);
        vw_send((uint8_t *)SensoresCharMsg,
                    strlen(SensoresCharMsg));
        vw_wait_tx();
        Serial.println(SensoresCharMsg);
        delay(1000);
        //cerramos el archivo
        miArchivo.close();
    }
}
```

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

```
}  
else{  
  //Si el archivo no se abre, imprimir un error:  
  Serial.println("Error al escribir en sensor.txt");  
}  
delay(1000);  
}
```

La siguiente imagen muestra lo que resulta de la combinación de las tres fases, es el esquema eléctrico del receptor con micro SD, la cápsula ahora puede recibir, imprimir por pantalla lo que le llega y almacenar los datos.

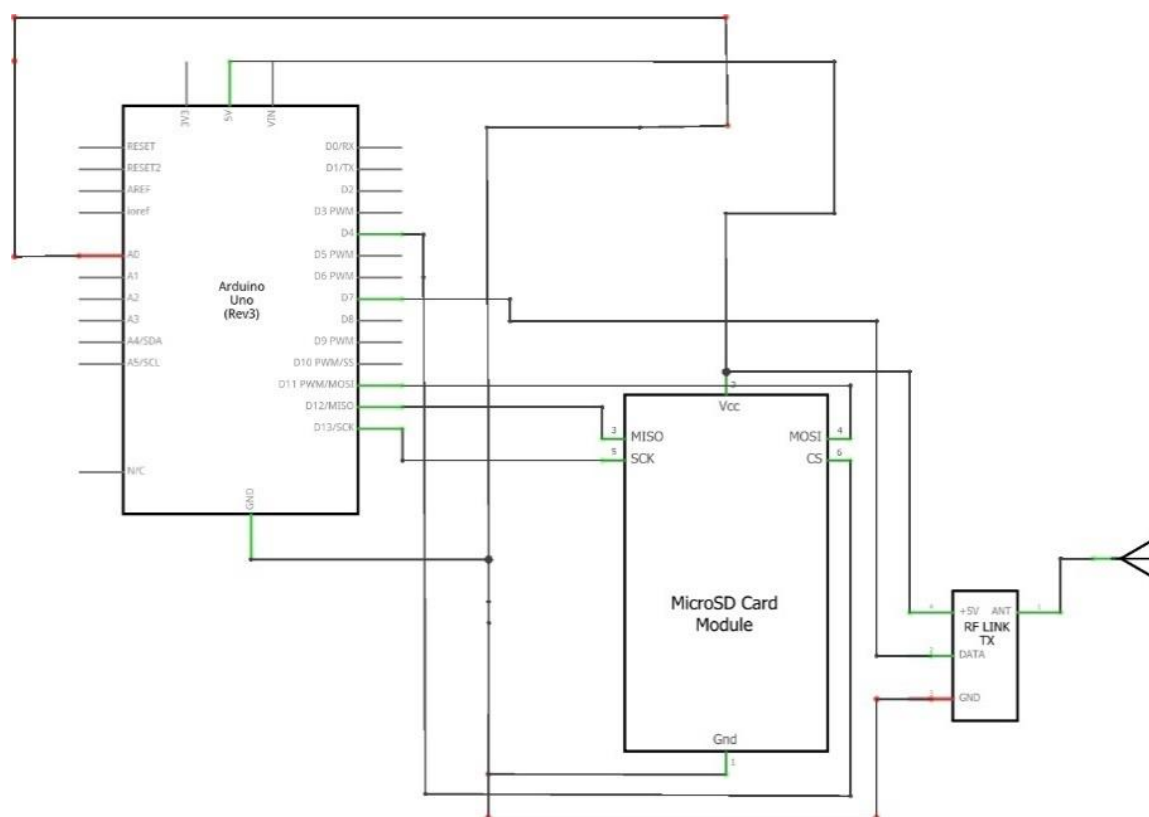


Imagen 179 Diagrama Eléctrico Receptor Fase 3

Las funciones de SD son iguales tanto para emisor como receptor, este código hace lo mismo que el emisor.

```
#include <VirtualWire.h>  
#include <SD.h>;  
int S1; // Variables que van a registrar los valores  
recibidos  
int temperatura;  
char SensoresCharRecibir[22];  
int chipSelect=4;
```

```
File dataFile;

void setup()
{
  pinMode(chipSelect, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  vw_setup(2000); //Tiempo de espera
  vw_set_rx_pin(7); //Pin donde se conecta el Arduino
  vw_rx_start(); //Se inicia la recepción de datos

  if (!SD.begin(chipSelect)){

    Serial.println("Error al leer la tarjeta. ");

    return;

  }
  if (!SD.exists("sensor.csv")){
    dataFile=SD.open("sensor.csv", FILE_WRITE);
    if (dataFile){

      Serial.println("Archivo nuevo,
                      Escribiendo encabezado(fila 1)");

      dataFile.println("Tiempo(ms), Iluminación(lm),
                      Temperatura(°C)");

      dataFile.close();
    }
    else {

      Serial.println("Error creando el archivo
                      datalog.csv");
    }
  }
}

void loop()
{
  //Creamos un mensaje
  //La constante VW_MAX_MESSAGE_LEN
  //viene definida en la librería

  uint8_t buf[VW_MAX_MESSAGE_LEN]; //Tamaño del mensaje
  uint8_t buflen = VW_MAX_MESSAGE_LEN;

  //Se verifica si hay
  //mensaje disponible para ser leído
  //Tomando los datos de la base de control
  if (vw_get_message(buf, &buflen))
  {
```

```
int i;

//Se leen todos los caracteres
for (i = 0; i < buflen; i++)
{
    // Caracteres del buffer
    SensoresCharRecibir[i] =char( buf[i]);

    //Serial.println(i);
}
// Convierte una cadena a un arrays
sscanf(SensoresCharRecibir, "%d,%d", &S1,
                                             &temperatura);

//abrimos el archivo
dataFile=SD.open("sensor.csv", FILE_WRITE);

if (dataFile){

    //Escritura de datos en la tarjeta SD
    //Escribir los datos por separa
    dataFile.print(millis());
    dataFile.print(" , ");
    dataFile.print(S1);
    dataFile.print(" , ");
    dataFile.println(temperatura);

    //También se puede escribir en forma de array
    //dataFile.println(SensoresCharRecibir);

    //Se imprime el mensaje en el monitor //serial
    Serial.print(millis());
    Serial.print(", sensor1=");
    Serial.print(S1);
    Serial.print(", sensor2=");
    Serial.println(temperatura);

    //cerramos el archivo
    dataFile.close();

}
else{
    //Si el archivo no se abre, imprimir un error:
    Serial.println("Error al escribir en sensor.txt");
}

delay(1000);
}
```

4.6.5 Fase final

Después de ver tantas fases y subsistemas que componen los Módulos Multisensoriales, para finalizar hay que incorporar el GPS, de esta manera vaciar el catálogo de las ventajas presentadas en las fases anteriores, este dispositivo proporcionará información acerca del lugar, la fecha y la hora donde se realizó las medidas, aporta más fiabilidad y seguridad en la comparación y recepción de los datos que entregan los Módulos Distribuidos en el escenario en cuestión. El circuito final tendrá la siguiente configuración:

4.6.5.1 Esquema eléctrico transmisor

Con la llegada del GPS en el sistema el esquema de circuito de la cápsula que alberga una el módulo de transmisión queda como se muestra en la siguiente imagen:

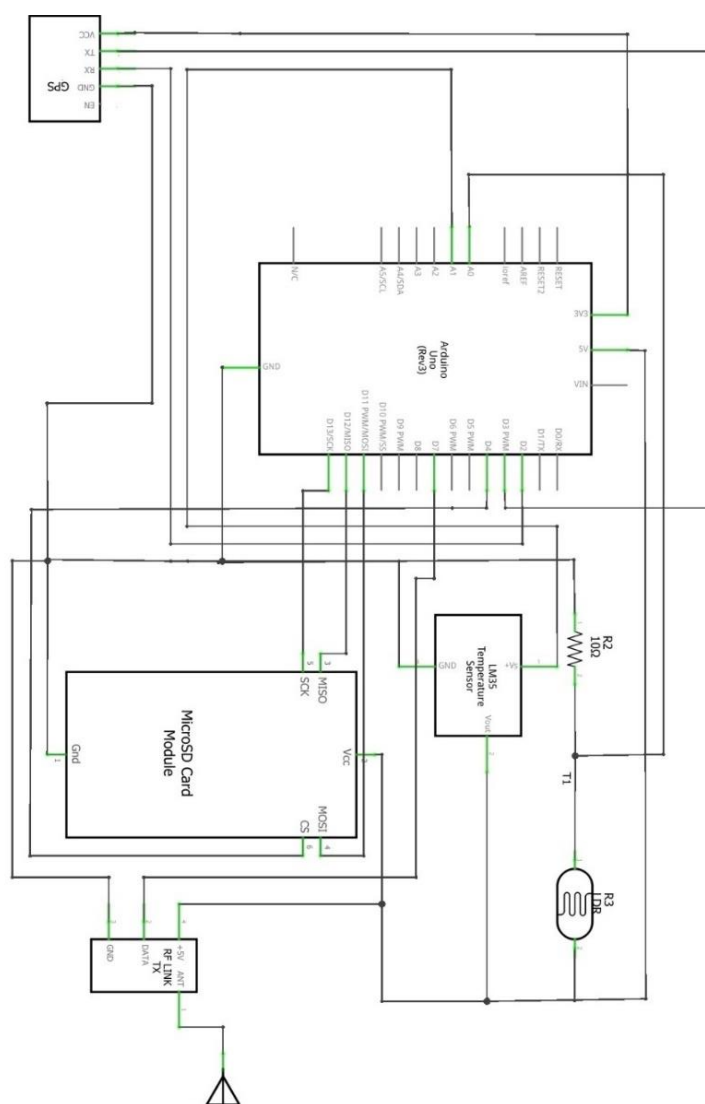


Imagen 180 Circuito Emisor final

4.6.5.2 Esquema eléctrico Receptor

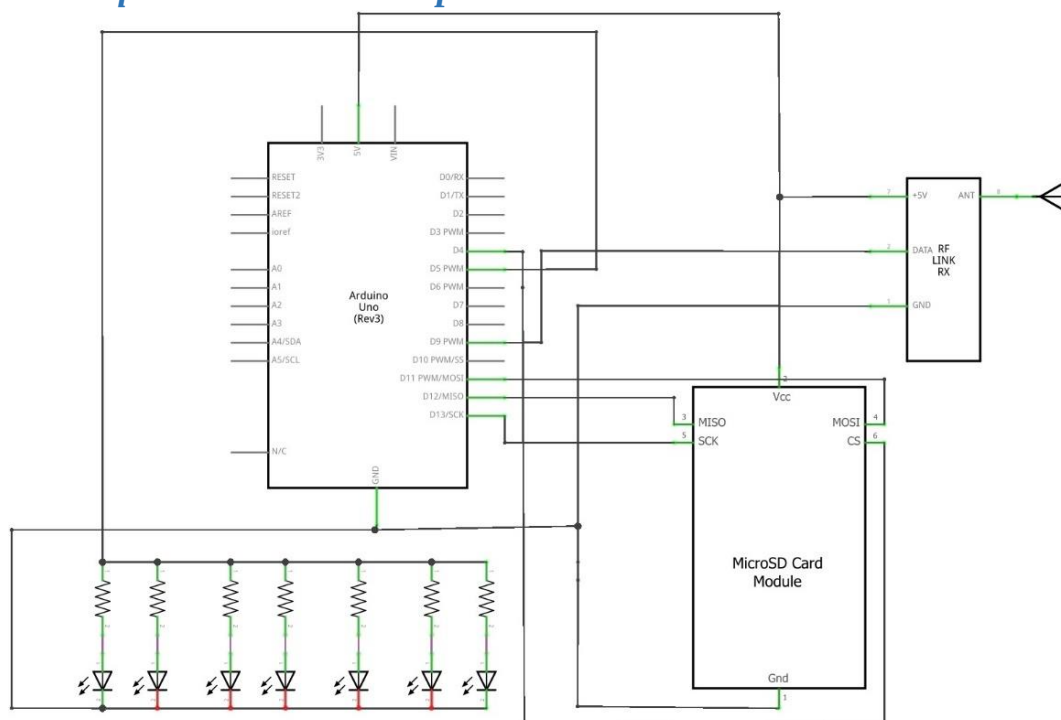


Imagen 181 Esquema eléctrico Receptor

Este es el esquema eléctrico de la cápsula receptor se con unos pequeños cambios, hemos añadido un conjunto de led, que nos ayudarán a determinar si la información ha sido recibida y guardada correctamente.

Ahora el proyecto se ha vuelto muy complejo, en las fases anteriores los subsistemas manejaban dos variables la temperatura y la luz, con la incorporación del GPS, el volumen de información se ha visto aumentado, el GPS proporciona los datos de fecha y hora por separado mediante algunas instrucciones del programa se trata de darlos un formato de tiempo adecuados, al que estamos acostumbrados (HH/MM/SS) y (DD/MM/AA), al conseguirlo, la programación continua con el almacenamiento, transmisión y recepción de los mismos.

Para representar en un mapa la posición del GPS, en el presente proyecto utilizaremos dos programas *Google Maps* y *Google Earth*. Siendo el primero el que se ha definido como predeterminado en el software de los Módulos.

Goople Maps: las cápsulas han sido programadas para imprimir por defecto lo siguiente, <https://maps.google.es/maps?q=latitud,longitud>, solo bastará con copiar el enlace en la hoja de cálculo y pegar en el navegador.

4.6.5.3 Esquema de montaje Transmisor

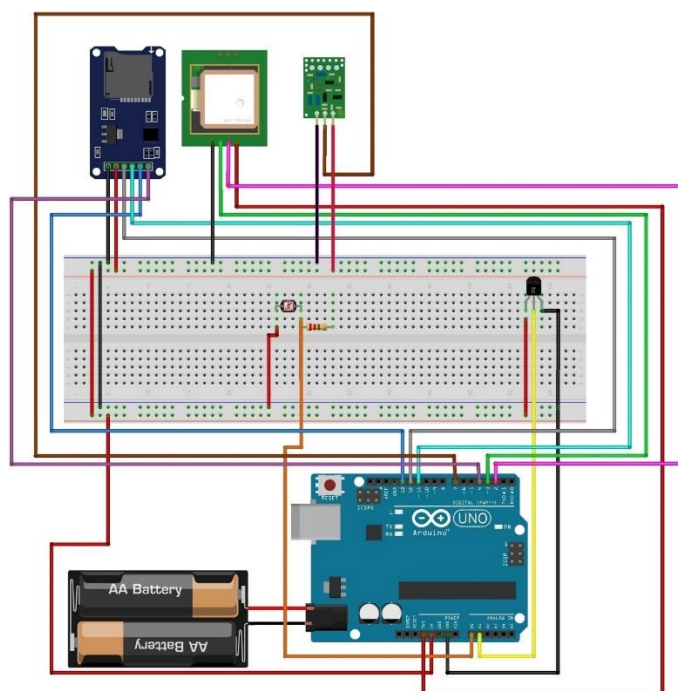


Imagen 182 Esquema de Montaje Emisor final

4.6.5.4 Esquema montaje del Receptor

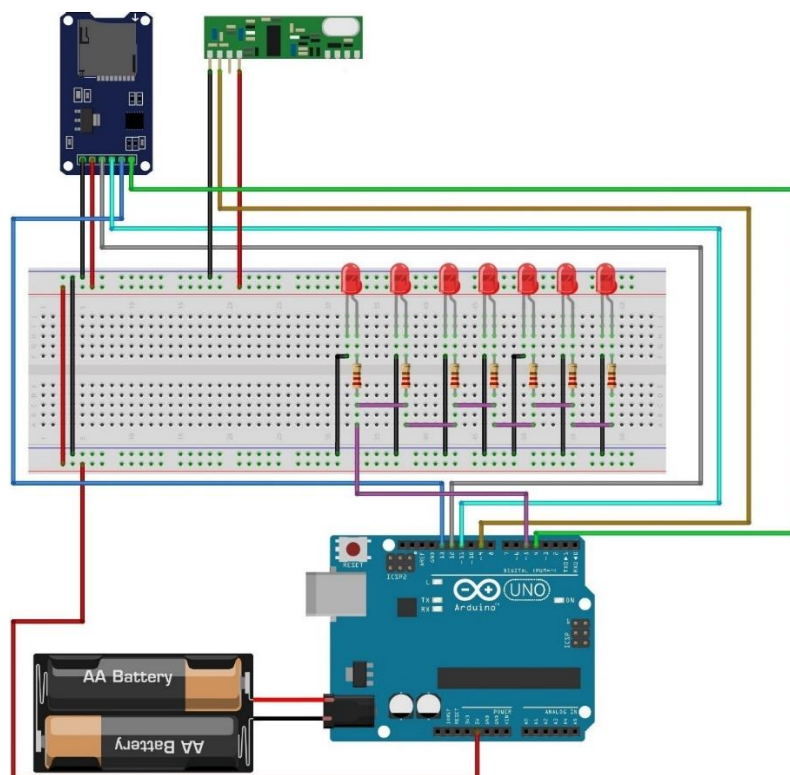


Imagen 183 Esquema de Montaje Receptor final

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Los diagramas de montajes finales de las cápsulas son los que se muestran en las imágenes 84 y 85, albergan todos los componentes que constituyen el hardware de las mismas. Este bloque es el último eslabón que conforma esta larga cadena de fases, a partir de él se empezará exponer el funcionamiento del proyecto.

4.6.6 Implementación real

Debido a las particularidades del proyecto, el prototipo de plataforma implementada cuenta con tres cápsulas, las dos primeras de a las que vamos llama Cápsula A y B van conectadas con los receptores GPS GY-GPS6MV2, módulo micro SD, sensor LM35, LDR y un módulo transmisor, ahí se van a recoger los datos de posicionamiento, sensores y se va acondicionar dicha información según se requiera. La tercera cápsula, la C con ella se recogen la información que envían las cápsulas A y B.

A continuación, se muestra la conexión final del entorno de pruebas:

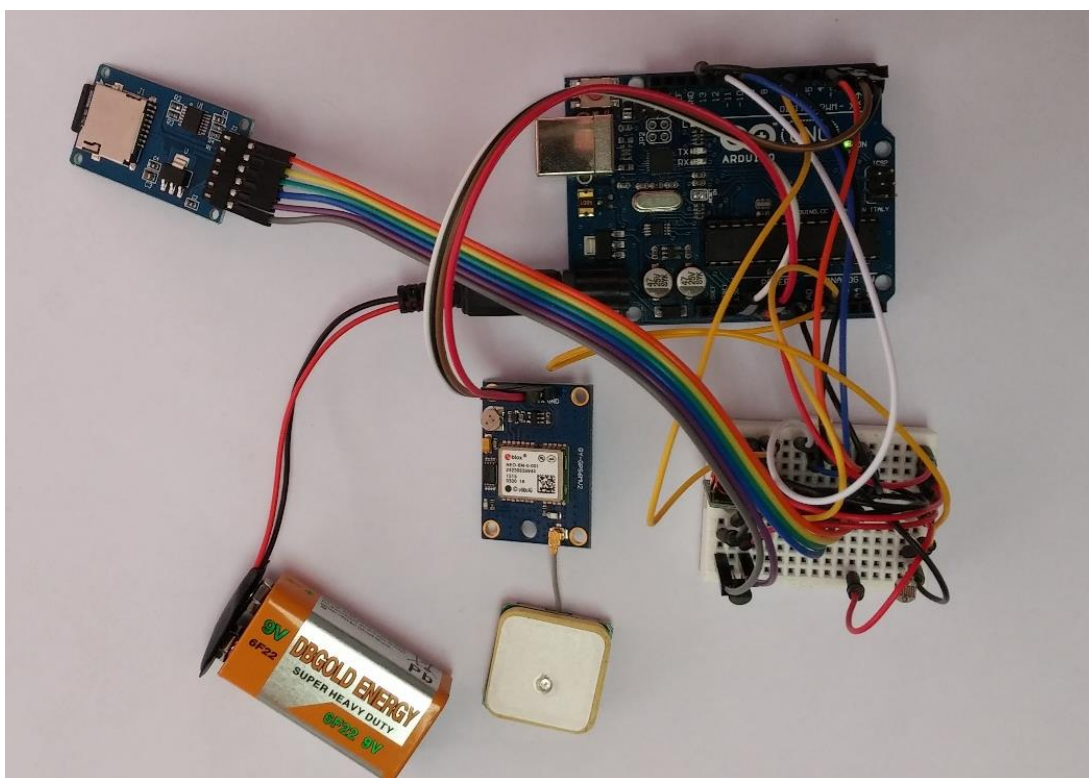


Imagen 184 Cápsula A transmisora

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

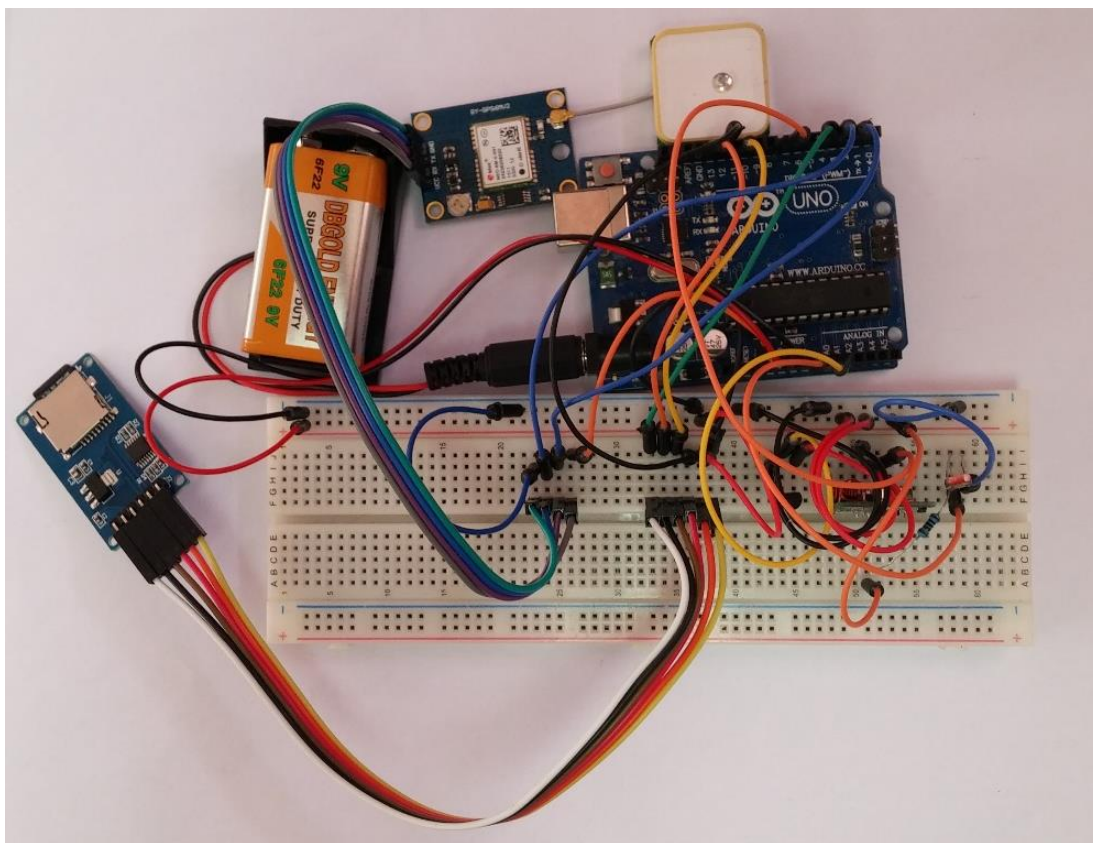


Imagen 185 Cápsula B transmisora

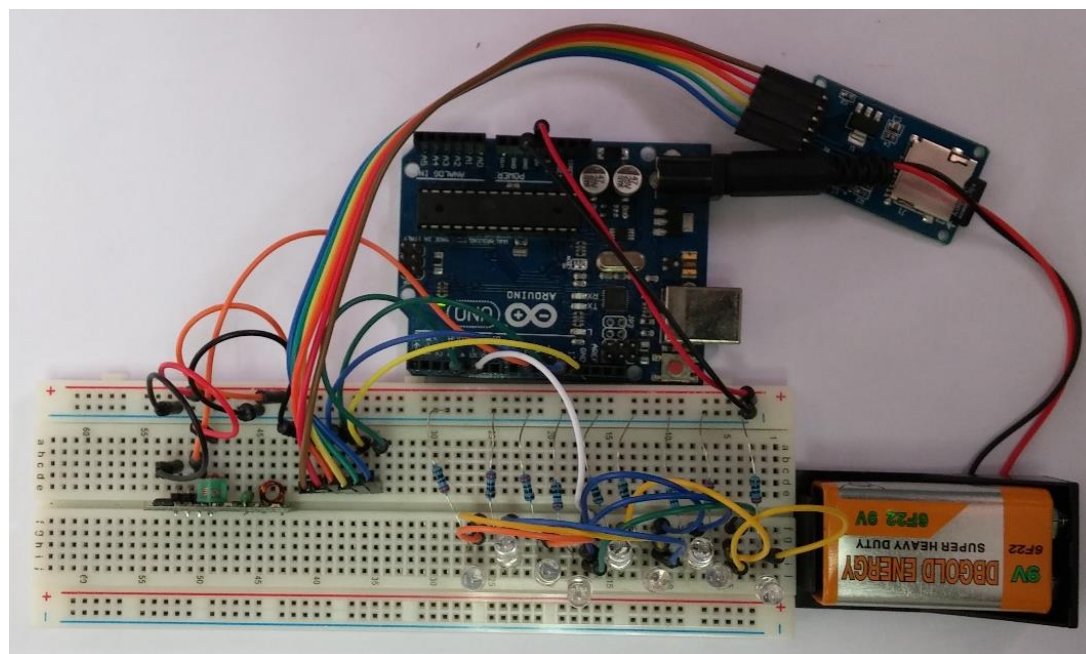


Imagen 186 Cápsula C receptora

4.6.7 Funcionamiento del proyecto

Después de haber pasado por proceso de construcción, ahora se va a entrar en detalle de lo que viene a ser la descripción del funcionamiento de toda la plataforma, recorriendo todos los aspectos que hacen posible dicho proceso. Antes de todo lo primero que se hará en este proceso va a ser diseñar un diagrama de bloques simplificado y que representa de manera superficial todos los componentes que integran la plataforma.

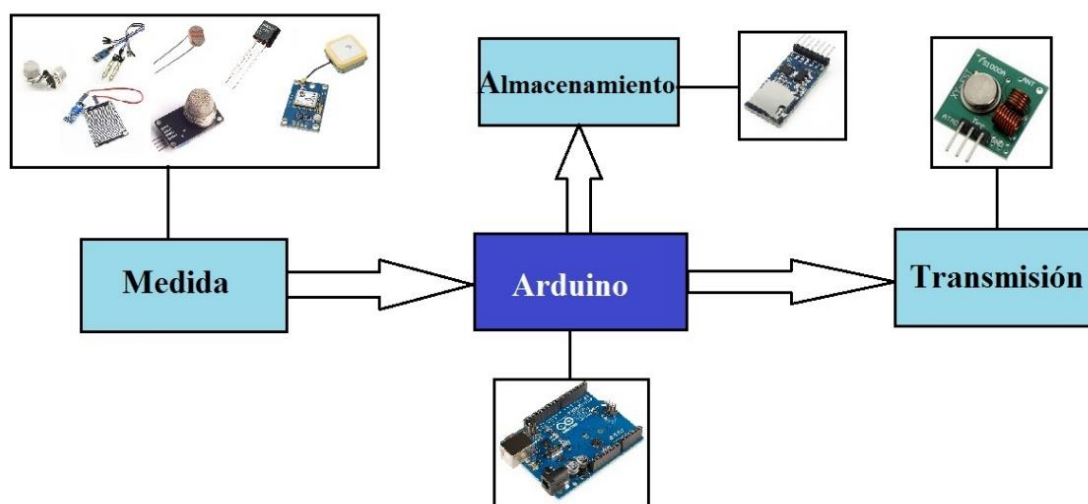


Imagen 187 Diagrama de bloques del sistema emisor

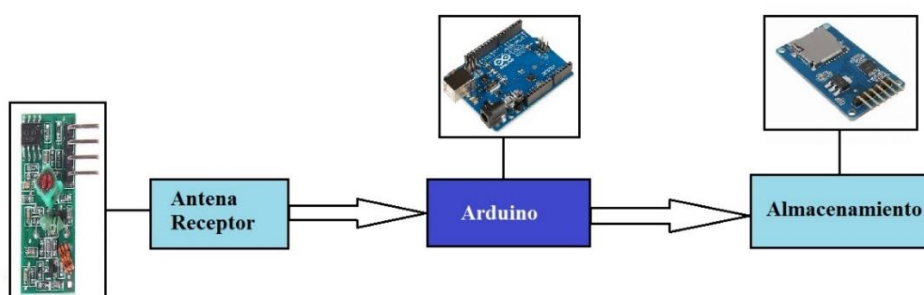


Imagen 188 Diagrama de bloques del sistema receptor

- **Sistema de medida:** son los dispositivos utilizados para toma de información en el sistema. Entre ellos se tiene: sensor LM35, sensor LDR y el módulo GPS.
- **Sistema de almacenamiento:** en este sistema se guardarán todas las acciones del sistema de medida.
- **Sistema de radio:** este sistema nos permitirá establecer comunicaciones entre las cápsulas que componen nuestra plataforma de forma inalámbrica.

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

- **Arduino:** este dispositivo es el cerebro que procesará todas las funciones del sistema, ya sean de cálculo, toma o envío de información.

Antes de entrar a exponer verbalmente cómo funciona conjuntamente el sistema implementado, se presentará primero un diagrama de flujo orientativo que expone de forma simplificado el programa que gobierna toda la plataforma.

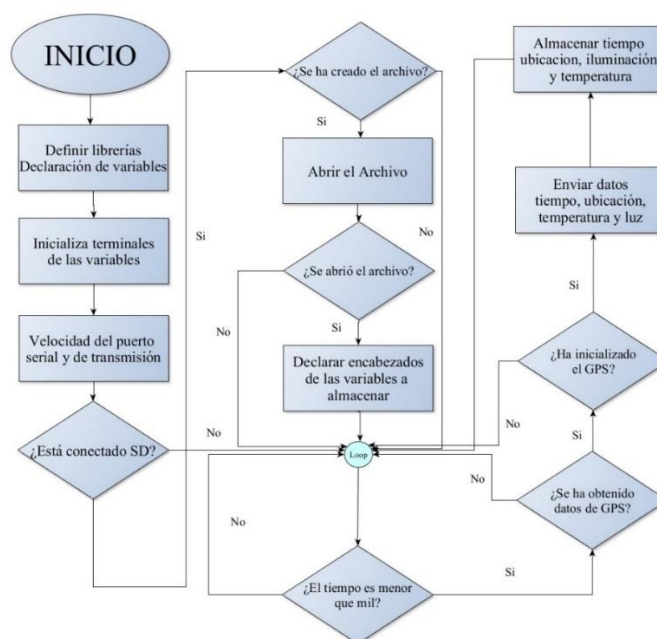


Imagen 189 Diagrama de flujo Cápsulas transmisoras

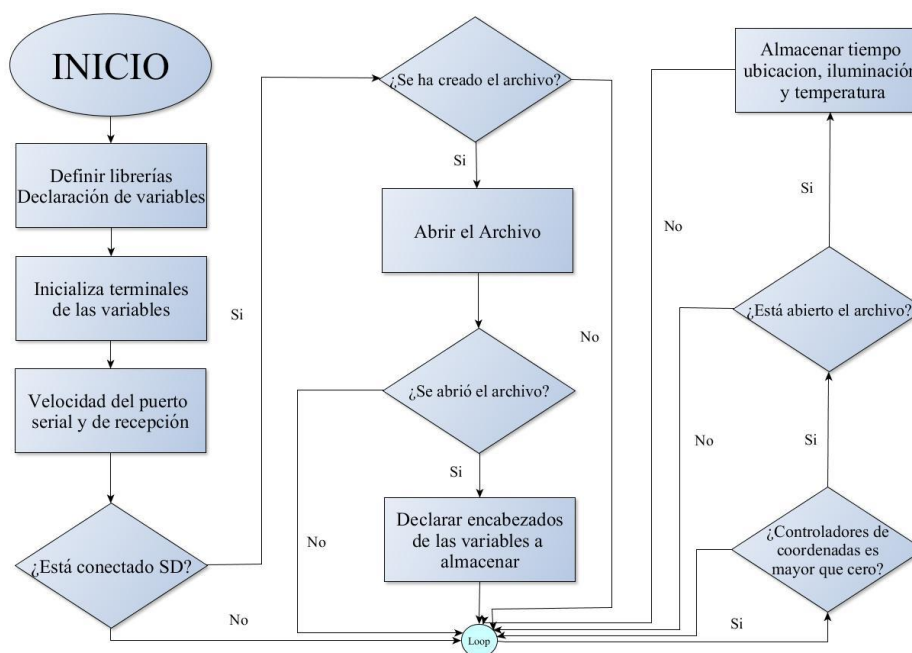


Imagen 190 Diagrama de flujo de cápsula receptora

4.6.7.1 Código fuente programado

Antes de iniciar la programación lo primero que se hizo fue incluir las librerías utilizadas para la comunicación RF, almacenamiento micro SD y las del GPS.

4.6.7.1.1 Código del transmisor

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <TinyGPS.h>
#include <VirtualWire.h>
#include <SD.h>;
//pines de los sensores LDR y temperatura
int Sensor1 = A0;
int Sensor2 = A1;
//variable para guargar el valor leído del sensor
int S1=0;
int S2=0;
// variable para guardar la temperatura
int temperatura=0;
// La cadena que vamos a enviar al canal RF
char SensoresCharMsg[21];

// Crear archivo en la carpeta
File miArchivo;

void gpsdump(TinyGPS &gps);
int lat1=0;
int lat2=0;
int lon1=0;
int lon2=0;
int pos1=0;
int pos2=0;
int card1=0;
int card2=0;
TinyGPS gps;
SoftwareSerial nss(3, 2);

int year;
byte month, day, hour, minute, second, hundredths;

int chipSelect=4;
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    vw_setup(2000);
    // bits por segundo
    vw_set_tx_pin(9);
    // Ajustar el pin de tx. Aquí lo conectamos en 7
    //Si no se ajusta, por defecto es 12
```

```
if (!SD.begin(chipSelect)){

    Serial.println("Error al leer la tarjeta. ");

    return;

}

if (!SD.exists("final.csv")){
    miArchivo=SD.open("final.csv", FILE_WRITE);
    if (miArchivo){
        Serial.println("Archivo nuevo, Escribiendo
encabezado(fila 1)");

        miArchivo.println("Google Maps; Fecha; hora;
Iluminación(lm); Temperatura(°C)");

        miArchivo.close();
    } else {

        //Serial.println("Error creando el archivo
final.csv");
    }
}

void loop()
{
    S1=analogRead(Sensor1);
    S2=analogRead(Sensor2);
    int milivolts=(5.0*S2*1000)/1023.0-0.5;
    temperatura=milivolts/10;
    bool newdata = false;
    bool nuevodato=false;

    unsigned long start = millis();

    while (millis() - start < 1000) { // Actualizar cada
5 segundos
        if (feedgps())
            newdata = true;
        }
        if (newdata) {
            gpsdump(gps);
            gpsdato(gps);
        }
    }
    // Obtener y procesar datos GPS
void gpsdump(TinyGPS &gps) {
    float flat, flon;
    unsigned long age;
```

```
gps.f_get_position(&flat, &flon, &age);
/* Serial.print("Latitud: ");
Serial.print(flat, 6);
Serial.print(" ");
Serial.print("Longitud: ");
Serial.print(flon, 6);
Serial.print(" ");*/
gps.crack_datetime(&year, &month, &day, &hour,
&minute,&second, &hundredths);
/*Serial.print("Fecha: "); Serial.print(day, DEC);
Serial.print("/");
Serial.print(month, DEC); Serial.print("/"); Serial.print(year);
Serial.print(" Hora: "); Serial.print(hour, DEC); Serial.print(":");
Serial.print(minute, DEC); Serial.print(":"); Serial.print(second, DEC);
Serial.print("."); Serial.print(hundredths, DEC);

Serial.print(" ");
Serial.print("Iluminacion: ");
Serial.print(val);
// coma entre val y temperatura
Serial.print(" ");
Serial.print("Temperatura: ");
Serial.print(temperatura);
Serial.print(char(176));
Serial.println(char(67));*/

/// Y escribirlo en la tarjeta SD
miArchivo = SD.open("final.csv", FILE_WRITE);

// si el archivo se abrió bien, escribir en él:
if (miArchivo) {
    //Serial.print("Writing to tracking.txt...");
    miArchivo.print("https://maps.google.es/maps?q=");
    miArchivo.print(flat, 6);
    miArchivo.print(", ");
    miArchivo.print(flon, 6);
    miArchivo.print(";");
    miArchivo.print(day, DEC); miArchivo.print("/");
    miArchivo.print(month, DEC); miArchivo.print("/");
    miArchivo.print(year);
    miArchivo.print("; ");
    miArchivo.print(hour, DEC); miArchivo.print(":");
    miArchivo.print(minute, DEC); miArchivo.print(":");
    miArchivo.print(second, DEC);
    miArchivo.print(":"); miArchivo.print(hundredths, DEC);
    miArchivo.print("; ");
}
```

```
miArchivo.print(S1);
// coma entre val y temperatura
miArchivo.print(";");
miArchivo.println(temperatura);
// cerrar el archivo:
miArchivo.close();
Serial.println("guardado");
} else {
    // Si el archivo no se abre, imprimir un error:
    //Serial.println("error al abrir final.txt");
}

}

void gpsdato(TinyGPS &gps){
    float flat, flon;
    unsigned long age;

    long latitud, longitud;
    // variables para almacenar datos de latitud y longitud

    gps.get_position(&latitud, &longitud);

    // TinyGPS función para adquirir información de posición

    gps.f_get_position(&flat, &flon, &age);

    /*Serial.println(latitud);
    Serial.println(longitud);*/
    lat1=ubicacion(latitud);
    lon1=ubicacion(longitud);
    lat2=ubicacion2(latitud);
    lon2=ubicacion2(longitud);
    pos1=buscoma(flat,5);
    pos2=buscoma(flon,5);
    card1=cardi(latitud);
    card2=cardi(longitud);
    ///
    if (age == TinyGPS::GPS_INVALID_AGE)
        Serial.print("***** ");
    else
    {
        char gp[31];
        char sz[50];
        char gq[4];
        sprintf(sz, "%d,%d,%d,%d,%d,%d,%d,%d",
            S1,temperatura,lat1, lat2, lon1, lon2, pos1, pos2);
        sprintf(gp, "%02d/%02d/%02d,%02d:%02d:%02d",
            month, day, year, hour, minute, second);
```

```
    sprintf(gq, "%d,%d", card1, card2);
    /*sprintf(sz, "%02d/%02d/%02d %02d:%02d:%02d
%d,%d,%d,%d,%d,%d ",
        month, day, year, hour, minute, second, lat1, lat2, l
on1, lon2, pos1, pos2);*/
    vw_send((uint8_t *)sz, strlen(sz));
    vw_send((uint8_t *)gp, strlen(gp));
    vw_send((byte *)gq, strlen(gq));
    vw_wait_tx();
    //delay(40);
    Serial.println(gp);
    Serial.println(sz);
    //Serial.println(gq);
}
}

// Alimentarse siempre cuando hay datos disponibles
bool feedgps() {
    while (nss.available()) {
        if (gps.encode(nss.read()))
            return true;
    }
    return false;
}

// la función ubicación, la necesitamos para reducir el tamañ
o o longitud de las coordenadas, ya que arduino no
// permite imprimir escribir ni enviar numeros grandes, que lo
s permitidos por, long, byte, float e int
long ubicacion(long coordenada){
    //coordenada: se escribe, los nombre que hayamos asignado a
la longitud y latitud en el gps. En nuestro
    // caso tenemos Latitud y longitud
    long mitad0;
    //mitad0, lo definimos long, este comando nos permitira
almacenar hasta 32.000 bits
    if (coordenada>0){
        //Si la longitud o latitud es positivo
        // mitad0: la operación latitud o longitud entre, por
defecto el gps nos da un numero de 7 digitos.
        mitad0=coordenada/1000;
        //Serial.println(mitad0);
    }
    else {
        // Si la longitud o latitud es negativa, se multiplica
por (-1), en el módulo receptor definiremos una función
        // que haga lo controrio: agregar signo a este numero
        mitad0=-(coordenada/1000);
    }
    return mitad0;
}
```

```
}

//Si con la función dividimos las coordenadas por 1000 con el
// fin obtener las partes enteras, con ubicacion2 sacamos las p
// artes decimales
// Enviamos esos numeros por partes, en el receptor tendremos
// una operación que nos los unirá y nos los escribirá como los
// originales
long ubicacion2(long coordenada2){
    // mitad1: representa la parte entera de la coordenada
    long mitad1;
    // mitad2: será el resultado de restar el producto de
    mitad1*1000 a la coordenada en cuestión
    long mitad2;
    if (coordenada2>0){
        // si es negativo la operación se efectuará como se ha
        descrito
        mitad1=coordenada2/1000;
        mitad2=coordenada2-mitad1*1000;
    }
    else{
        // Asimismo cuando es negativo, solo multiplicado por (-
        1)
        mitad1=-(coordenada2/1000);
        mitad2=(-coordenada2)-mitad1*1000;
    }
    return mitad2;
}

// con esta función vamos a buscar el lugar que ocupa la coma
// en las variables latitud y longitud
// nos servirá para, escribir las coordenadas correctamente,
// en cualquier lugar de la tierra que nos
// nos encontremos
float buscoma(float numero , int digitos){
    int posicion=0;

    //manipular numeros negativos
    if (numero<0.0){
        //Serial.print('-');
        numero=-numero;
    }
    double redondeo=0.5;
    for (uint8_t j=0; j<digitos; ++j)
        redondeo/=10.0;

    numero += redondeo;
```

```
// SE extrae la parte entera del numero e imprimirlo
unsigned long int_part=(unsigned long)numero;

while(0<int_part){
    int_part/=10;
    posicion++;
}
return posicion;

}
//Funcion para estudiar los signos de las cordenas
long cardi(long coorden){
    int negativo;
    if (coorden>0){
        negativo=1;
    }
    else{
        negativo=2;
    }
    return negativo;
}
// Esta función nos permitira determinar los puntos cardinales
void puntoscardinales(float latitud, float longitud, int
parte_decimal){

    Serial.print(latitud, 6);
    // imprime latitud
    if(latitud>0)
        Serial.println(" al Norte ");
    else
        Serial.println(" al Sur ");

    Serial.print(longitud, 6);

    // imprime longitud

    if(longitud>0)
        Serial.println(" al Este ");
    else
        Serial.println(" al Oeste ");
}
```

4.6.7.1.2 Código del receptor

```
#include <VirtualWire.h>
#include <SD.h>;
```

```
// Variables que van a registrar los valores recibidos
```

```
int S1;
int temperatura;
long lat1;
long lat2;
long lon1;
long lon2;
int pos1;
int pos2;
int card1;
int card2;
long latitud;
long longitud;
float latitud1;

// cadenas a recibir
char sz[50];
char gp[32];
char gq[22];

//definir variables de tiempo
int year;
byte month, day, hour, minute, second;

// pin CS de la SD
int chipSelect=4;
File dataFile;

int ledPin=5;

void setup()
{
    pinMode(chipSelect,OUTPUT);

    pinMode(ledPin,5);

    Serial.begin(9600);
    //Tiempo de espera
    vw_setup(2000);
    //Pin donde se conecta el Arduino
    vw_set_rx_pin(9);
    //Se inicia la recepción de datos
    vw_rx_start();

    if (!SD.begin(chipSelect)){

        Serial.println("Error al leer la tarjeta. ");

        return;
    }
}
```

```
    }
    if (!SD.exists("sensor.csv")) {
        dataFile=SD.open("sensor.csv", FILE_WRITE);
        if (dataFile) {
            Serial.println("Archivo nuevo, Escribiendo
encabezado(fila 1)");
            // Encabezados de las variables que se almacenan
            dataFile.println("Fecha; Hora; Temperatura;
iluminación; GOOGLE MAPS");
            dataFile.close();
        } else {

            Serial.println("Error creando el archivo
datalog.csv");
        }
    }

}

void loop()
{
    //Creamos un mensaje
    //La constante VW_MAX_MESSAGE_LEN viene definida en la
libreria

    uint8_t buf[VW_MAX_MESSAGE_LEN]; //Tamaño del mensaje
    uint8_t buflen = VW_MAX_MESSAGE_LEN;

    //Se verifica si hay //mensaje disponible para ser
leido
    //Tomando los datos de la base de control
    if (vw_get_message(buf, &buflen))
    {
        int i;

        //Se leen todos los caracteres
        for (i = 0; i < buflen; i++)
        {
            // Caracteres del buffer
            sz[i] = char(buf[i]);
            gp[i] = char(buf[i]);
            gq[i] = char(buf[i]);

            //Serial.println(i);
        }

        // Convertir una cadena a un arrays
        sscanf(sz, "%d,%d,%d,%d,%d,%d,%d,%d", &S1,
&temperatura, &lat1, &lat2, &lon1, &lon2, &pos1, &pos2);
        sscanf(gp, "%02d/%02d/%02d,%02d:%02d:%02d", &month,
&day, &year, &hour, &minute, &second);
    }
}
```

```
    sscanf(gq, "%d,%d", &card2, &card2);

    if(card1>0&&card2>0){

        if(card1==1){
            if (lat1>0&&lat2>0){
                latitud=lat1*1000+lat2;
                Serial.print("la latitud es: ");
                //Serial.println(pos1);
                float lati=float(latitud)/pow(10,7-pos1);
                Serial.println(lati, 7-pos1);
            }
        }else {

            if (lat1>0&&lat2>0){
                latitud=lat1*1000+lat2;
                Serial.print("la latitud es: ");
                //Serial.println(pos1);
                float lati=(-10)*float(latitud)/pow(10,7-pos1);
                Serial.println(lati, 7-pos1);
            }
        }

        if(card2==2){
            if (lon1>0&&lon2>0){
                longitud=lon1*1000+lon2;
                //Serial.print("la longitud es: ");
                float longi=(-10)*float(longitud)/pow(10,7-pos2);
                Serial.println(longi, 7-pos2);
            }
        }else{
            if (lon1>0&&lon2>0){
                longitud=lon1*1000+lon2;
                Serial.print("la longitud es: ");
                float longi=float(longitud)/pow(10,7-pos2);
                Serial.println(longi, 7-pos2);
            }
        }
    }

    dataFile=SD.open("sensor.csv", FILE_WRITE);

    if (dataFile){
        digitalWrite(ledPin, HIGH);
        dataFile.print(gp);
        dataFile.print("; ");
        dataFile.print(temperatura);

        //Escribe (°C)
```

```
//dataFile.print((char)176);
//dataFile.print("C");

dataFile.print("; ");
dataFile.print(S1);
//iluminación
dataFile.print(" Lumen");

dataFile.print("; ");
dataFile.print("https://maps.google.es/maps?q=");

if(card1==1){
  if (lat1>0&&lat2>0){
    latitud=lat1*1000+lat2;
    Serial.print("la latitud es: ");
    //Serial.println(pos1);
    float lati=float(latitud)/pow(10,7-pos1);
    Serial.println(lati, 7-pos1);
    dataFile.print(lati, 7-pos1);
  }
}else{
  if (lat1>0&&lat2>0){
    latitud=lat1*1000+lat2;
    Serial.print("la latitud es: ");
    //Serial.println(pos1);
    float lati=float(latitud)/pow(10,7-pos1);
    Serial.println(lati, 7-pos1);
    dataFile.print(lati, 7-pos1);
  }
}

if(card2==2){
  if (lon1>0&&lon2>0){
    longitud=lon1*1000+lon2;
    Serial.print("la longitud es: ");
    float longi=(-10)*float(longitud)/pow(10,7-pos2);
    dataFile.println(longi, 7-pos2);
    Serial.println(longi, 7-pos2);
  }
}else{
  if (lon1>0&&lon2>0){
    longitud=lon1*1000+lon2;
    Serial.print("la longitud es: ");
    float longi=(-10)*float(longitud)/pow(10,7-pos2);
    dataFile.println(longi, 7-pos2);
    Serial.println(longi, 7-pos2);
  }
}

dataFile.close();
```

```
    }else{  
        Serial.println("Error al escribir en sensor.txt");  
    }  
  
}  
  
delay(1000);  
digitalWrite(ledPin, false);  
}  
}
```

4.6.7.2 Distribución del sistema

El sistema planteado, como se ha comentado anteriormente, dispone de una serie de cápsulas, unas que recogen datos de diferentes sensores, tras obtener estos datos y procesarlos, los envían a las cápsulas receptoras que se encargarán de organizar la información procedente de las demás cápsulas, guardarla adecuadamente en la tarjeta de micro SD para su posterior análisis, verdaderamente todas las cápsulas tienen esta función de guardar información.

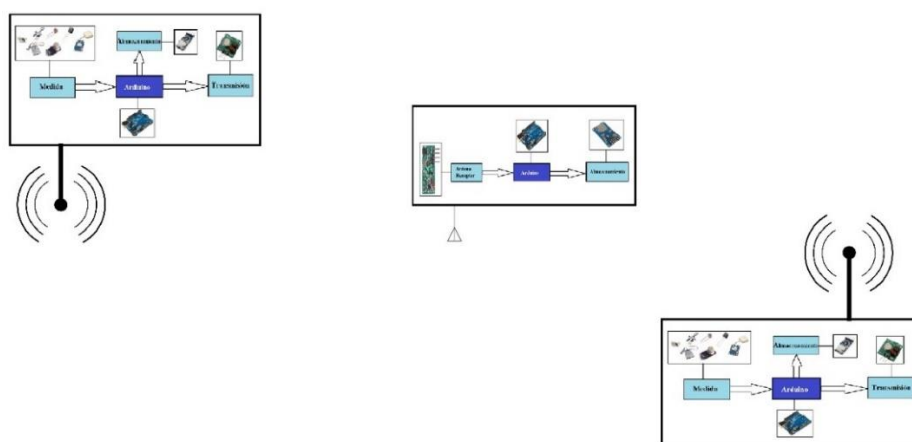


Imagen 191 Dos cápsulas transmisoras y otra receptora

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

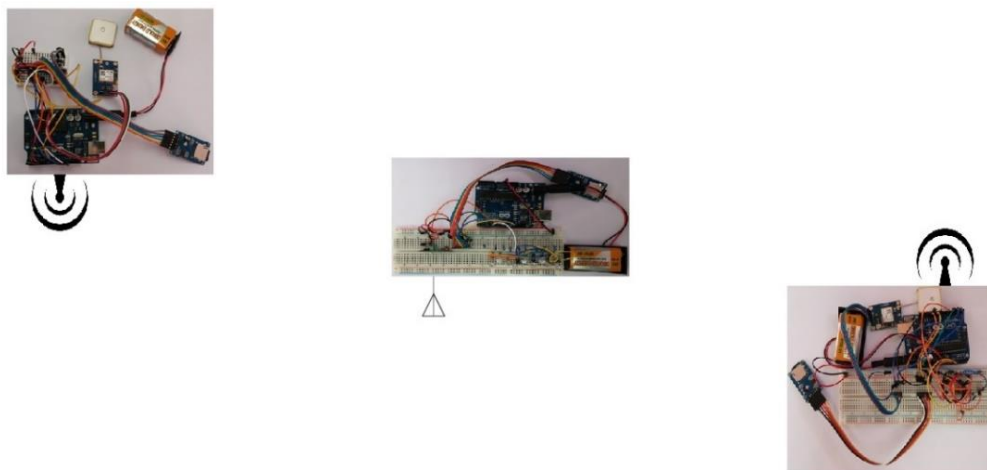


Imagen 192 Dos cápsulas reales y una emisora

Se muestra como tras la combinación de distintos subsistemas se tiene un sistema completo, y que aún se puede ampliar más.

Como se observa en la representación anterior, se contarán con dos tipos de cápsulas, la que recoge, guarda, y transmite información de diferentes tipos sensores, y la otra que recibe y almacena. El funcionamiento general se puede describir de la siguiente forma:

1. Unas cápsulas se configuran como transmisoras y las otras como receptoras.
2. Las cápsulas transmisoras recogen, guardan y envían las distintas acciones que captan los sensores.
3. Las cápsulas receptoras reciben los datos de procedentes de las estaciones emisoras y los guardan para un posterior estudio y conclusiones.
4. Se repite el proceso tantas veces como cápsulas distribuidas haya.
5. Las estaciones transmisoras siempre están en continua emisión de señales, que pueden ser captadas por receptoras cada que se encuentran a las distancias permitidas de comunicación. Las señales enviadas pueden alcanzar de 20 a 200 metros dependiendo de la tensión de entrada.



Imagen 193 Transmisión-Recepción

Dado que se dispone de dos tipos cápsulas, serán necesarios dos tipos de códigos, principalmente, el código correspondiente a la cápsula receptora y el código correspondiente a cada una de las pequeñas estaciones distribuidas, donde sólo variará la lectura que lleva a cabo cada sensor y por tanto el tipo de datos que enviará. A continuación, se explica con más detalle el funcionamiento exacto de cada cápsula.

4.6.7.2.1 Estaciones transmisoras

El primer paso a dar es verificar el funcionamiento correcto del receptor GPS, es decir que inicie comunicación con los satélites de posicionamiento.

Una vez que entabla comunicación con los satélites toda la estacione se activa, Arduino comprobará siempre si hay datos de GPS disponibles. La estación transmisora lee toda la información recibida del sistema de medida, la guarda y la envía. El proceso es repetitivo, lectura-almacenamiento-transmisión, hasta que se apague el sistema, la estructura esta red es la que muestra en la siguiente imagen:

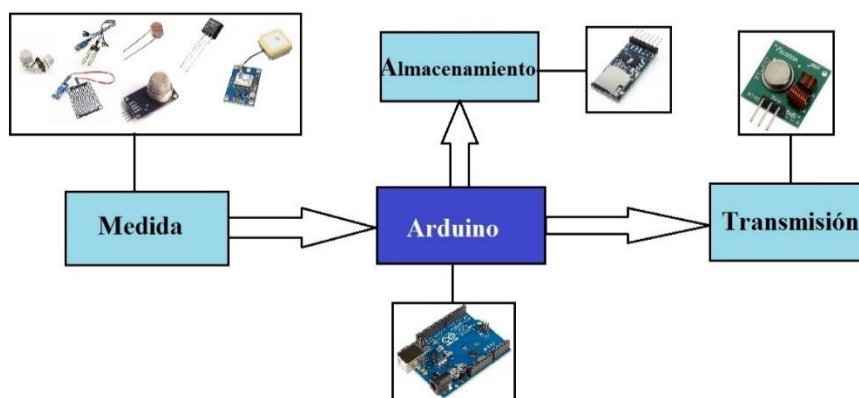


Imagen 194 Lectura-almacenamiento-transmisión

El sistema de medida puede albergar tantos sensores como variables se desea monitorizar, dependiendo del escenario se puede armar este sistema con los siguientes dispositivos:

- **Gestión de eficiencia energética:** para realizar seguimiento de temperatura y luz, se necesita sensores de temperatura y de luz.
- **Agricultura:** para llevar a cabo el seguimiento de humedad/temperatura, humedad del suelo, radiación solar, etc. se tiene disponible los sensores DHT22, de humedad de suelo, de lluvia y otros más.

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

- **En los incendios:** para detectar los distintos gases presentes en la zona: existen sensores de oxígeno, de amoníaco, monóxido de carbono, de dióxido de carbono, de los NOx, se puede encontrar muchos en las descripciones que se hizo en las secciones anteriores.

4.6.7.2.2 Cápsulas receptoras

Son los módulos portátiles, con ellos se desplaza cuando tenemos las estaciones transmisoras en plena acción, las cápsulas receptoras, reciben toda la información procedente de las estaciones, la ordenan con algoritmos que integran en sus softwares y la guardan en el sistema de almacenamiento, la información contiene datos de los sensores, hora, fecha y el lugar de origen de los mismos. El proceso es repetitivo hasta que se inhabilite el sistema, están programadas para recibir y almacenar señales cada vez que entren en contacto con las emisoras, la estructura de estas cápsulas es como se presenta a continuación:

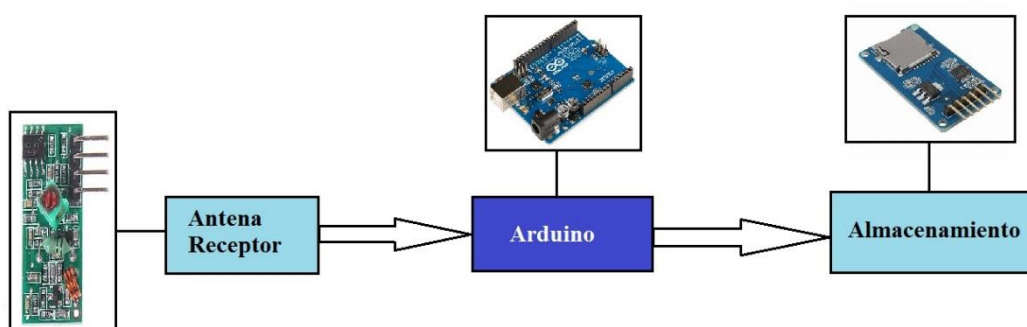


Imagen 195 Recepción-almacenamiento

4.6.7.3 Obtención de datos

La obtención de los datos se lleva a cabo de manera inalámbrica e invisible ante nuestros ojos, no podemos verlos de forma inmediata, para acceder a los datos almacenados la posibilidad es mediante las tarjetas micro SD. Para llevarlo a cabo se debe extraer la tarjeta micro SD de las cápsulas y conectar mediante un adaptador al PC.



Imagen 196 Adaptador micro SD al PC

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Cuando se vaya a liberar la tarjeta micro SD, antes, se debe desconectar las baterías o pilas de las cápsulas para impedir que se pierdan datos.

4.6.7.4 Análisis y procesamiento de datos

Como se ha expuesto anteriormente, los datos de este sistema se encuentran alojados en una tarjeta SD, el programa los escribe a su interior en formato CSV. Los archivos CSV son un tipo de hoja en formato abierto fácil para escribir datos en forma de tabla, donde las columnas se separan por comas o punto y coma, y las filas por saltos de línea. El análisis de datos se realizará en la hoja de cálculo de Excel, para importar los archivos CSV una vez insertada tarjeta SD en el ordenador, se realiza los siguientes pasos:

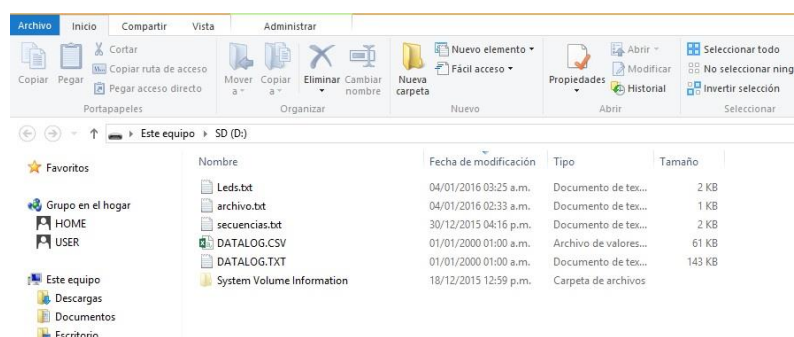


Imagen 197 Contenido de la tarjeta

Abrir *Excel*.

Se dirige a la opción *datos*, aparecerá un menú desplegable, clic en *obtener datos externos*, específicamente desde un *archivo de texto*.

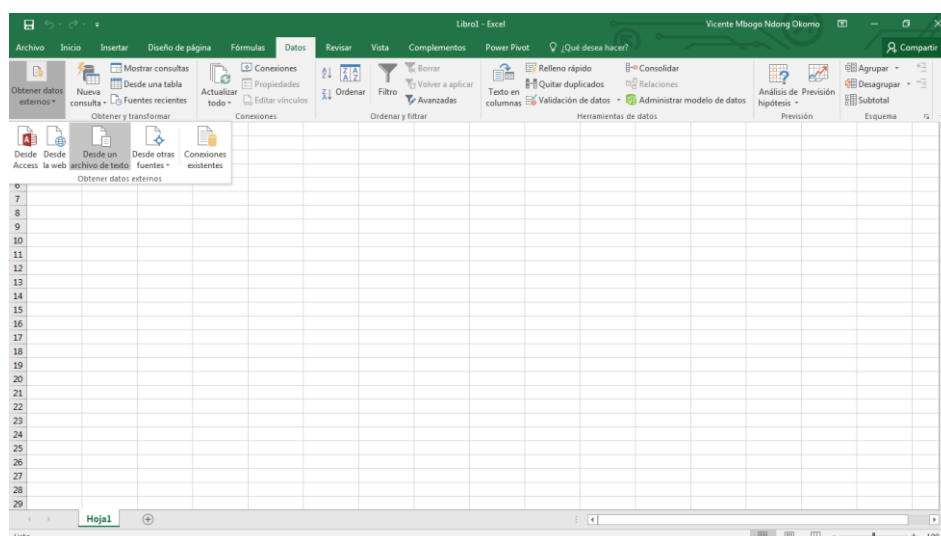
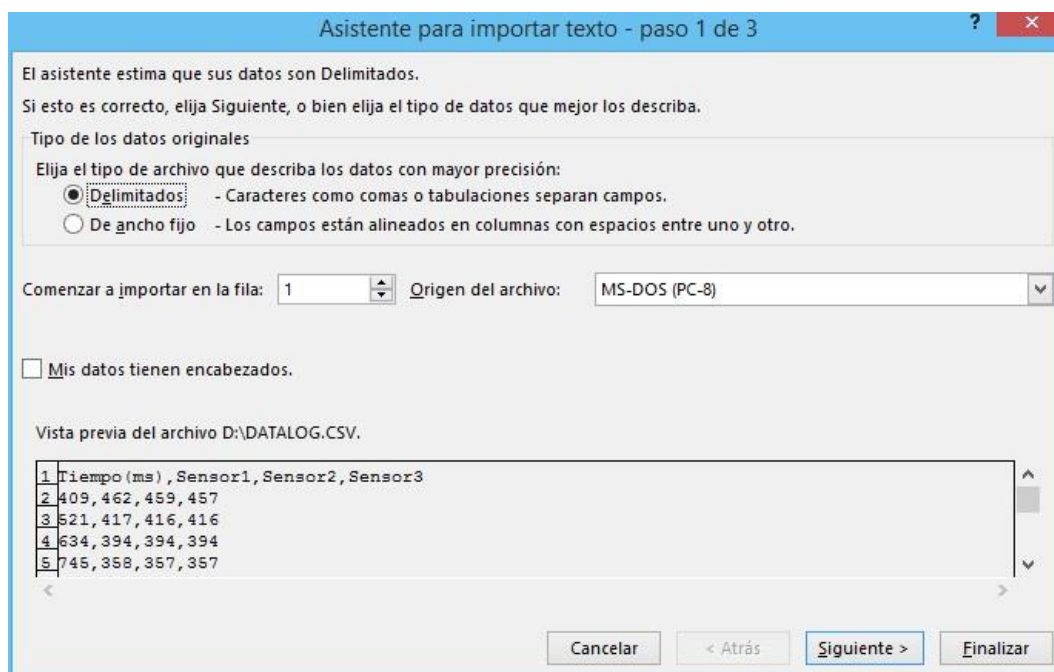


Imagen 198 Hoja de cálculo Excel

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Seguidamente seleccionamos el archivo que deseamos importar, el archivo de ejemplo es *datalog.csv*, abriendo el asistente de importación.

En el primer paso se marca *delimitados*:



Asistente para importar texto - paso 1 de 3

El asistente estima que sus datos son Delimitados.
Si esto es correcto, elija Siguiente, o bien elija el tipo de datos que mejor los describa.

Tipo de los datos originales

Elija el tipo de archivo que describa los datos con mayor precisión:

☒ Delimitados - Caracteres como comas o tabulaciones separan campos.

☐ De ancho fijo - Los campos están alineados en columnas con espacios entre uno y otro.

Comenzar a importar en la fila: 1 Origen del archivo: MS-DOS (PC-8)

☐ Mis datos tienen encabezados.

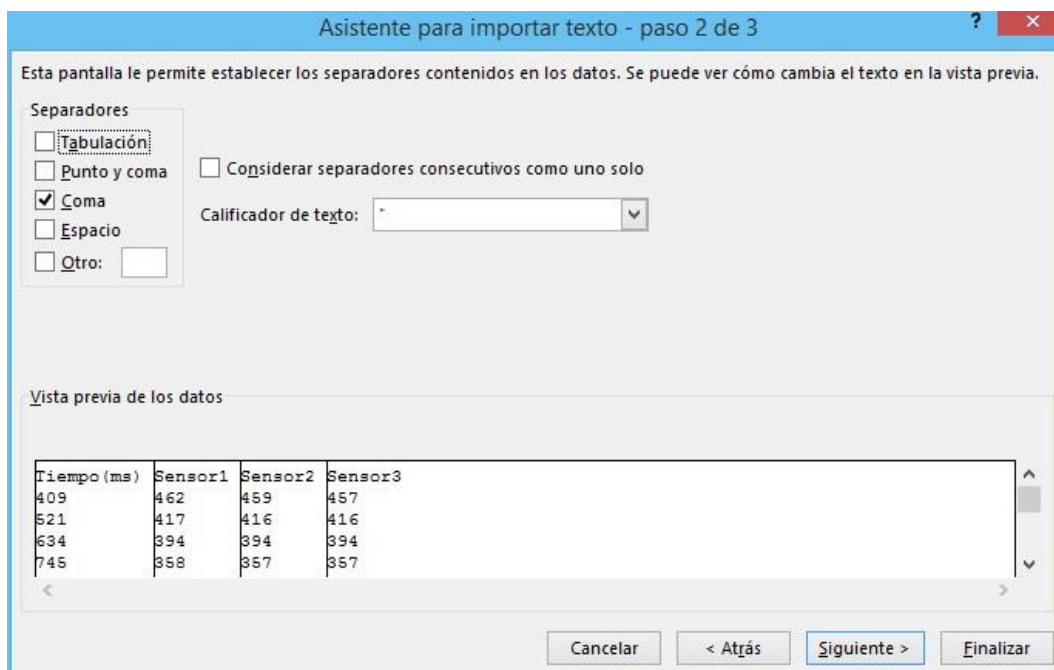
Vista previa del archivo D:\DATALOG.CSV.

1	Tiempo (ms)	Sensor1	Sensor2	Sensor3
2	409	462	459	457
3	521	417	416	416
4	634	394	394	394
5	745	358	357	357

Cancelar < Atrás Siguiente > Finalizar

Imagen 199 Selección delimitados

En el paso dos escoger *separador* en este ejemplo es *coma*:



Asistente para importar texto - paso 2 de 3

Esta pantalla le permite establecer los separadores contenidos en los datos. Se puede ver cómo cambia el texto en la vista previa.

Separadores

☐ Tabulación

☐ Punto y coma

☒ Coma

☐ Espacio

☐ Otro:

☐ Considerar separadores consecutivos como uno solo

Calificador de texto: -

Vista previa de los datos

Tiempo (ms)	Sensor1	Sensor2	Sensor3
409	462	459	457
521	417	416	416
634	394	394	394
745	358	357	357

Cancelar < Atrás Siguiente > Finalizar

Imagen 200 Separador Coma

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

En el paso tres dejar todas las columnas en *general*, después presionar *finalizar*:

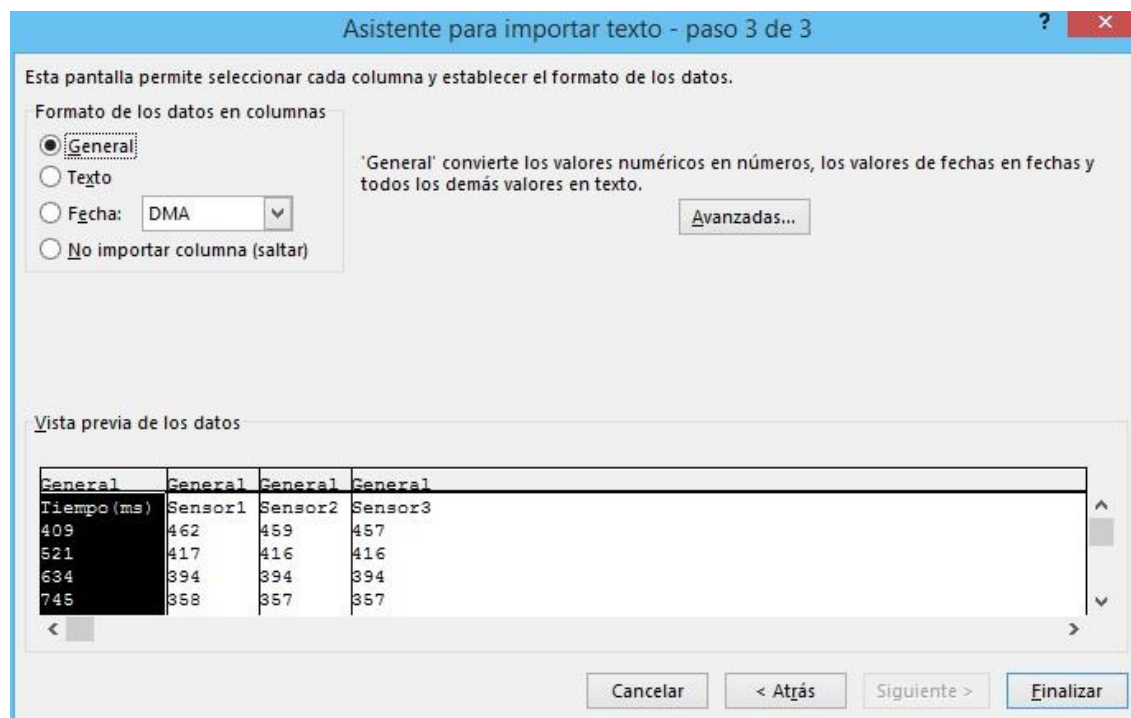


Imagen 201 Selección General

En la hoja escoger el lugar en donde se va iniciar la tabla, finalmente los ya se hallan disponibles en Excel.

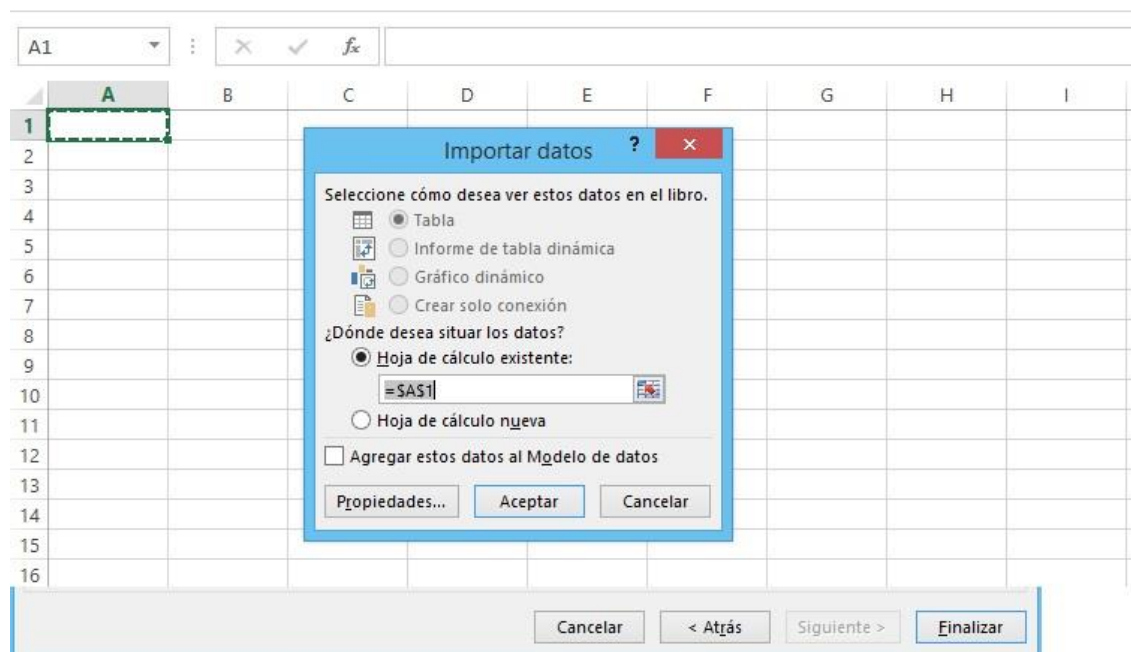
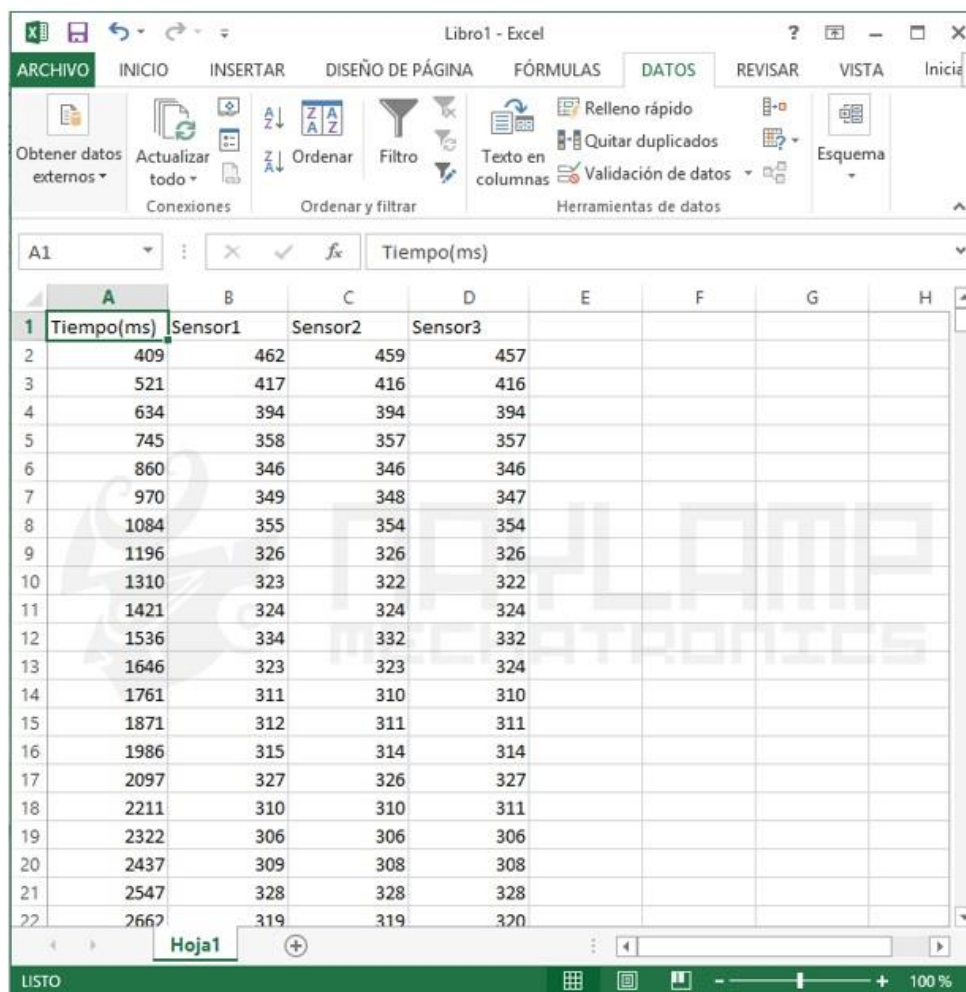


Imagen 202 Insertar datos

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Tiempo(ms)	Sensor1	Sensor2	Sensor3				
2	409	462	459	457				
3	521	417	416	416				
4	634	394	394	394				
5	745	358	357	357				
6	860	346	346	346				
7	970	349	348	347				
8	1084	355	354	354				
9	1196	326	326	326				
10	1310	323	322	322				
11	1421	324	324	324				
12	1536	334	332	332				
13	1646	323	323	324				
14	1761	311	310	310				
15	1871	312	311	311				
16	1986	315	314	314				
17	2097	327	326	327				
18	2211	310	310	311				
19	2322	306	306	306				
20	2437	309	308	308				
21	2547	328	328	328				
22	2667	319	319	320				

Imagen 203 Hoja de Cálculo con los datos

- Permite llevar a cabo un filtro de los datos.
- Actualizar la información desde el fichero de forma periódica.

Una vez disponible la tabla dinámica, se puede crear una gráfica dinámica que dependa de los datos de la tabla anterior, de este modo se consigue que cuando se actualicen los datos de la tabla, la gráfica haga lo propio.

Este criterio es muy completo ya que pone a nuestra disposición todas las herramientas de Excel, lo que para las personas que utilizarán los datos obtenidos les resultará más sencillo que adaptarse a otros programas.

4.7 Caso particular (EIMIA)

En la última década, con la concienciación sobre el gasto energético, es frecuente oír hablar de eficiencia energética. Su estudio permite diagnosticar el estado y funcionamiento del edificio, desde un punto de vista energético. Por medio de este tipo de estudios, se toman las medidas y recomendaciones para hacer eficiente el consumo energético del edificio, y se determina el ahorro económico que compensa la inversión que se requiere. Dado que los

puntos más importantes en la investigación de eficiencia energética de un edificio son, la iluminación y sistema de climatización, el sistema implementado sería una de estas herramientas utilizadas para llevar a cabo este estudio. Con los módulos multisensoriales inalámbricos se va a realizar un estudio de eficiencia energética en EIMIA, midiendo en su interior los niveles de confort, tales como: luminosidad y temperatura, hacer una comparación con los del ambiente que está sumergido y realizar un análisis.

Se intenta comprometer el sistema, haciendo una un estudio en la EMIA.

El objetivo es demostrar que la solución propuesta es fiable y rentable, vigorosa y sencilla. Esto es sin duda un aspecto relevante pues, aunque se disponga de pocos sensores, debido al ajustado presupuesto, se mostrará una solución económica con resultados reales la cual puede ser expandido en un futuro.

4.8 Otros casos

4.8.1 Aplicación de módulos multisensoriales en la agricultura

La tecnología está llegando cada vez más en todos los ámbitos de nuestra vida cotidiana y en las actividades del hombre, tal es el caso de la agricultura actual que se tiende hacia el fomento de la eficiencia de los recursos disponibles, la preservación del medioambiente y la seguridad, la sostenibilidad del sector agrícola y calidad de los productos. Para aplicaciones de control y monitorización en agricultura, la plataforma desarrollada en este proyecto a bajo coste es una herramienta más de medida lo suficientemente alta como para medir parámetros del terreno y del entorno según la extensión del campo, conociendo con precisión todo lo que acontece en cada parcela. La plataforma está formada por pequeñas cápsulas, que recogen, almacenan, transmiten y reciben datos. Con este sistema se incorporan sensores de variable de terreno (la humedad, temperatura, contenido de agua, etc.), y de factores climáticos (humedad ambiental, radiación solar, temperatura, lluvia, etc.). El conocimiento exacto y preciso de estas variables, en un número de puntos de medición adecuada, permitirá aplicar técnicas de agricultura de precisión y optimizar las técnicas de tratamiento de los cultivos.

4.8.2 Incendios

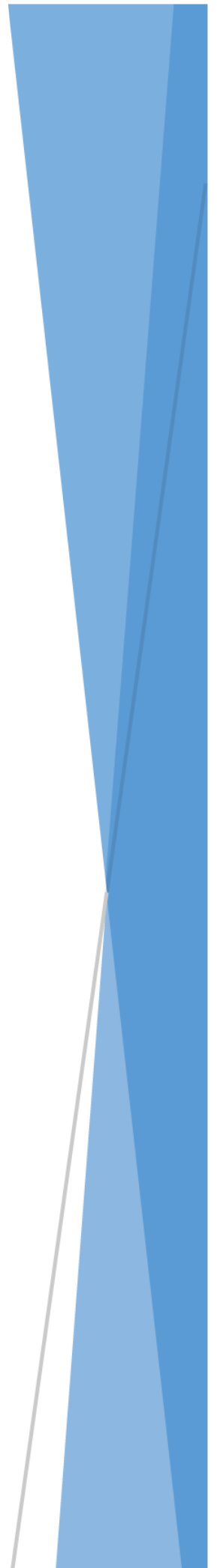
Una de las amenazas constantes para los ecosistemas del planeta, es el problema de los incendios forestales. Su incidencia se ve aumentada durante el verano, asola su alrededor y causando costos económicos incalculables en la restauración de zonas boscosas, entre

otros. Una plataforma de módulos multisensoriales es una herramienta con la capacidad de extraer datos de las condiciones ambientales del entorno para su posterior análisis. La combinación de información permite fusionar diferentes fuentes de datos para mejorar la calidad de la reacción ante un evento de interés. En este proyecto se propone un método para detección de incendios forestales utilizando la plataforma multisensorial. Su principal aporte es la implementación de un sistema de bajo coste con la capacidad de detectar un evento de incendio usando varios de los sensores que mencionamos.

- **Resumen del capítulo**

El trabajo realizado en este capítulo es de carácter práctico que consistía en el diseño de los módulos multisensoriales distribuidos para análisis medioambiental. Se ha desarrollado teniendo en cuenta los escenarios que puede aplicarse, para ello se comenzó con la breve descripción de las variables físicas o químicas que intervienen en cada uno de los campos, los diferentes sensores que se puede utilizar para obtener dichos parámetros, un sistema de almacenamiento para mantener con vida todas las acciones registradas en cada escenario, un sistema de posicionamiento que nos permite determinar la ubicación de los módulos y lo que miden en cada momento, un sistema de comunicación inalámbrica entre dichos módulos, y la presentación de las aplicaciones disponibles para el análisis de los datos recolectados. En el siguiente capítulo se muestra los diferentes experimentos que se hace realizado para para comprobar el correcto funcionamiento del sistema implementado, así como los resultados obtenidos en las pruebas.

CAPÍTULO 5: EXPERIMENTOS Y RESULTADOS



5 EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

En este capítulo se propone una serie de pruebas, las cuales consisten en distribuir las cápsulas en distintos puntos de la Escuela concretamente en aulas, bibliotecas, y pasillo, con el fin evaluar los niveles de confort térmico y luminoso del exterior e interior de estas zonas, posteriormente hacer un análisis de los datos obtenidos y sacar conclusiones.

Antes de empezar con los experimentos, primero se va hacer una breve descripción de las debilidades o problemas que pueden impedir el correcto funcionamiento de las cápsulas y las medidas adoptadas para solucionarlos.

5.1 Alcance

El rango de cobertura es muy dependiente de la situación de los módulos transmisor-receptor que tienen mucho más alcance cuando están en la intemperie que en interior, con obstáculos como paredes. La distancia normal que especifica el fabricante para los módulos empleados es de 300 metros, pero obviamente este dato es para el caso más óptimo.

En el caso del presente proyecto, tras lleva a cabo una serie de pruebas, se observa que el rango de alcance sin obstáculos y a un voltaje de 5V se sitúa en torno a los 15-35 metros, pero cuando se interponen elementos de obstrucción el alcance baja hasta 8-15 metros.

Sin embargo, para elevar el rango, existen dos formas que recomiendan los fabricantes, la primera consiste en aumentar el voltaje de transmisión, y la segunda es añadir una antena tipo helicoidal como se muestra en la imagen. Pero también se puede adquirir otros módulos que añaden amplificadores de potencia al transmisor y preamplificadores al receptor para alcanzar largas distancias, que pueden llegar hasta 1 km. Dichos módulos utilizan una antena externa que puede ser una antena simple que esté directamente acoplada o un cable conectado a una antena con más ganancia.

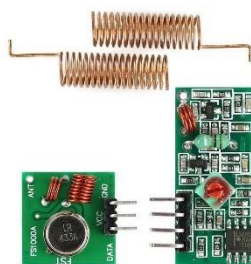


Imagen 204 Ampliación de señal



Imagen 205 Módulo nRF24l01 con amplificador.

En la imagen 205. Se muestra el modelo con amplificador de potencia de transmisión y preamplificador para recepción. Las patillas se conectan al arduino de la misma forma en todas versiones de transmisor-receptor y se emplea el mismo software.

Por consiguiente, las soluciones muy sencillas para aumentar el alcance serian:

- Aumentar la tensión de transmisión.
- Incorporar en los módulos dos antenas tipo helicoidal.
- O implementar uno de estos módulos con amplificador.

Tarjeta micro SD extraída o defectuosa

En caso de que la tarjeta SD sea quitada de la ranura del módulo micro SD mientras Arduino está en funcionamiento, esto provocará que los datos almacenados durante el periodo de funcionamiento no puedan ser leídos en la computadora.

Asegurar la conexión

Al alimentar las cápsulas, con los módulos SD y otros componentes instalados, en caso de que no funcionen o se recibe medidas erróneas, la solución es asegurar que todos están bien conectados.

5.2 Estudio de eficiencia energética en EIMIA

El propósito del trabajo es estudiar el comportamiento energético de la universidad, haciendo uso de las herramientas que nos proporciona el presente proyecto, el estudio se apoyará en el uso de las cápsulas para medir los niveles de confort en el interior y exterior del edificio.

Se pretende que las variables a medir, la temperatura y la iluminación, en el interior y exterior del edificio, sirvan para determinar cuándo es aprovechable la energía natural y si, con su aprovechamiento, se puede limitar el uso de los recursos energéticos de la Escuela, así como la posibilidad de llevar a cabo medidas que permitan un uso más eficiente de los recursos.

Experimento 1

La sensación de bienestar en una sala, su nivel de confort, depende de la influencia de una serie de factores externos. Estos parámetros de medición pueden ser determinados a través de la medición del nivel de confort para ser ajustados apropiadamente: la temperatura del aire y el nivel de iluminación.

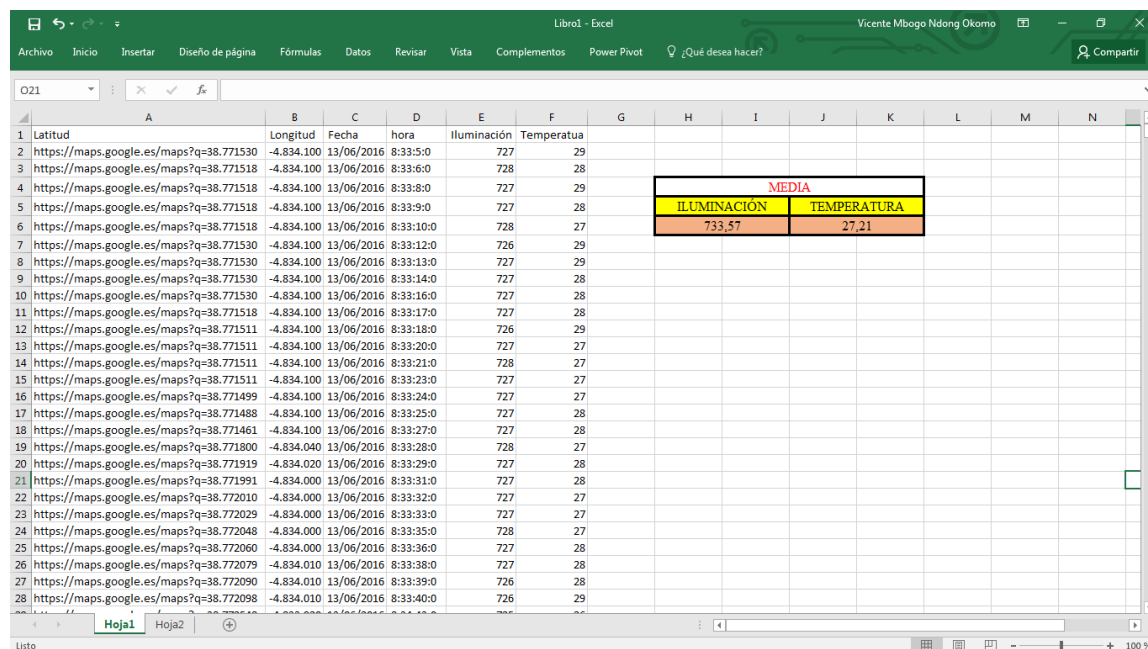
Este primer experimento se realizó el 13 de junio con el objetivo de determinar qué medios (naturales y artificiales) eran necesarios y adecuados en ese día, para mantener a los ocupantes de la biblioteca en un confort térmico y luminoso, y si hubo un desperdicio de energía para hacerlo, para ello se utilizó dos módulos, uno para medir la temperatura y el nivel de iluminación en el interior de la biblioteca y otro en el exterior de la misma para medir los mismos parámetros y posteriormente hacer un análisis y sacar conclusiones.

5.2.1.1 El microclima de la biblioteca y el clima del exterior

Del experimento propuesto se puede observar en las tablas los datos recogidos por los sensores, estas tablas y gráficos donde expresamos los resultados, muestran que la temperatura media y el nivel de iluminación medio dentro de la biblioteca son 24,26°C y 472.57 lux, y en el exterior 27,21°C y 733.57 lux, y de acuerdo al Real Decreto, que establece que la temperatura de los edificios donde se realicen trabajos sedentarios propios de oficinas o similares estará comprendida entre 17 y 27°C, y la iluminación recomendada es de 500 lux. Podemos concluir que la biblioteca cumple con las condiciones establecidas, los

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

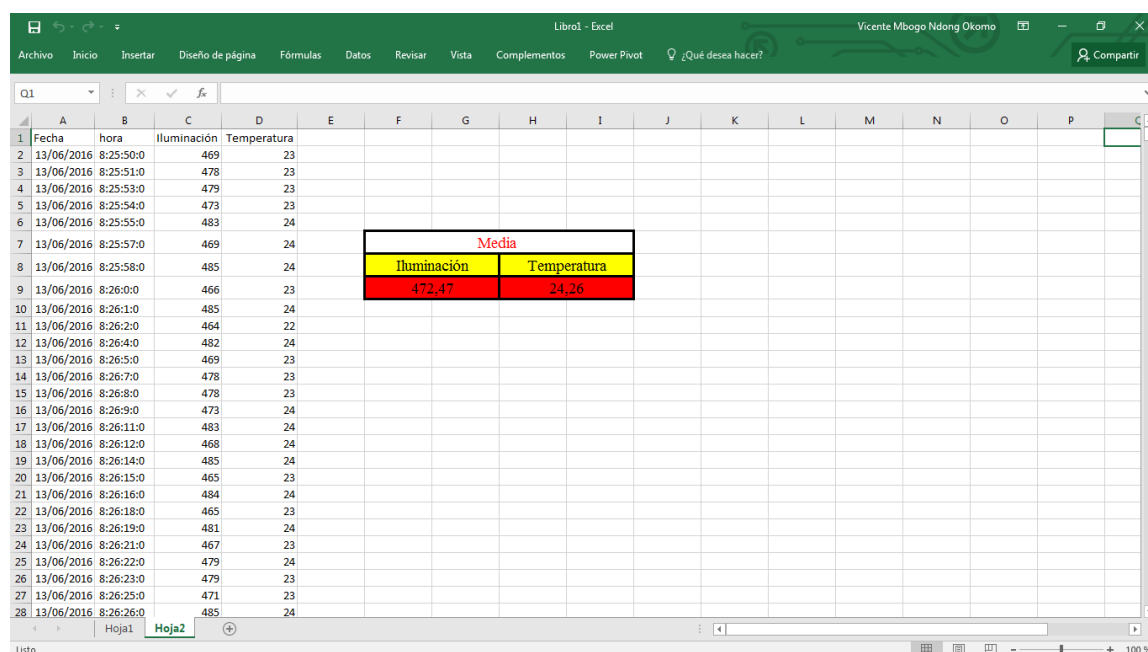
ocupantes están en confort térmico y luminoso, con medios artificiales (climatización e iluminación artificial).



A	B	C	D	E	F
Latitud	Longitud	Fecha	hora	Iluminación	Temperatura
https://maps.google.es/maps?q=38.771530	-4.834.100	13/06/2016	8:33:50	727	29
https://maps.google.es/maps?q=38.771518	-4.834.100	13/06/2016	8:33:60	728	28
https://maps.google.es/maps?q=38.771518	-4.834.100	13/06/2016	8:33:80	727	29
https://maps.google.es/maps?q=38.771518	-4.834.100	13/06/2016	8:33:90	727	28
https://maps.google.es/maps?q=38.771518	-4.834.100	13/06/2016	8:33:100	728	27
https://maps.google.es/maps?q=38.771530	-4.834.100	13/06/2016	8:33:120	726	29
https://maps.google.es/maps?q=38.771530	-4.834.100	13/06/2016	8:33:130	727	29
https://maps.google.es/maps?q=38.771530	-4.834.100	13/06/2016	8:33:140	727	28
https://maps.google.es/maps?q=38.771530	-4.834.100	13/06/2016	8:33:160	727	28
https://maps.google.es/maps?q=38.771518	-4.834.100	13/06/2016	8:33:170	727	28
https://maps.google.es/maps?q=38.771511	-4.834.100	13/06/2016	8:33:180	726	29
https://maps.google.es/maps?q=38.771511	-4.834.100	13/06/2016	8:33:200	727	27
https://maps.google.es/maps?q=38.771511	-4.834.100	13/06/2016	8:33:210	728	27
https://maps.google.es/maps?q=38.771511	-4.834.100	13/06/2016	8:33:230	727	27
https://maps.google.es/maps?q=38.771499	-4.834.100	13/06/2016	8:33:240	727	27
https://maps.google.es/maps?q=38.771488	-4.834.100	13/06/2016	8:33:250	727	28
https://maps.google.es/maps?q=38.771461	-4.834.100	13/06/2016	8:33:270	727	28
https://maps.google.es/maps?q=38.771800	-4.834.040	13/06/2016	8:33:280	728	27
https://maps.google.es/maps?q=38.771919	-4.834.020	13/06/2016	8:33:290	727	28
https://maps.google.es/maps?q=38.771991	-4.834.000	13/06/2016	8:33:310	727	28
https://maps.google.es/maps?q=38.772010	-4.834.000	13/06/2016	8:33:320	727	27
https://maps.google.es/maps?q=38.772029	-4.834.000	13/06/2016	8:33:330	727	27
https://maps.google.es/maps?q=38.772048	-4.834.000	13/06/2016	8:33:350	728	27
https://maps.google.es/maps?q=38.772060	-4.834.000	13/06/2016	8:33:360	727	28
https://maps.google.es/maps?q=38.772079	-4.834.010	13/06/2016	8:33:380	727	28
https://maps.google.es/maps?q=38.772090	-4.834.010	13/06/2016	8:33:390	726	28
https://maps.google.es/maps?q=38.772098	-4.834.010	13/06/2016	8:33:400	726	29

MEDIA	
ILUMINACIÓN	TEMPERATURA
733,57	27,21

Imagen 206 Temperatura e iluminación del exterior Cápsula 2



A	B	C	D
Fecha	hora	Iluminación	Temperatura
13/06/2016	8:25:50:0	469	23
13/06/2016	8:25:51:0	478	23
13/06/2016	8:25:53:0	479	23
13/06/2016	8:25:54:0	473	23
13/06/2016	8:25:55:0	483	24
13/06/2016	8:25:57:0	469	24
13/06/2016	8:25:58:0	485	24
13/06/2016	8:26:0:0	466	23
13/06/2016	8:26:1:0	485	24
13/06/2016	8:26:2:0	464	22
13/06/2016	8:26:4:0	482	24
13/06/2016	8:26:5:0	469	23
13/06/2016	8:26:7:0	478	23
13/06/2016	8:26:8:0	478	23
13/06/2016	8:26:9:0	473	24
13/06/2016	8:26:11:0	483	24
13/06/2016	8:26:12:0	468	24
13/06/2016	8:26:14:0	485	24
13/06/2016	8:26:15:0	465	23
13/06/2016	8:26:16:0	484	24
13/06/2016	8:26:18:0	465	23
13/06/2016	8:26:19:0	481	24
13/06/2016	8:26:21:0	467	23
13/06/2016	8:26:22:0	479	24
13/06/2016	8:26:23:0	479	23
13/06/2016	8:26:25:0	471	23
13/06/2016	8:26:26:0	485	24

Media	
Iluminación	Temperatura
472,47	24,26

Imagen 207 Temperatura e iluminación Biblioteca Cápsula 1

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

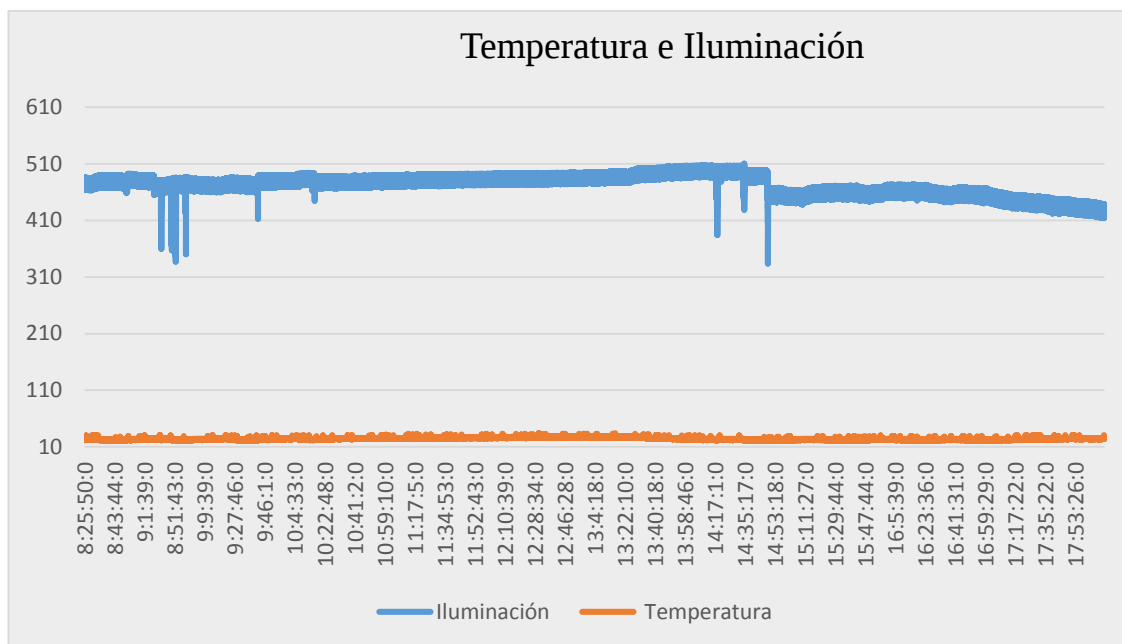


Gráfico 1 Temperatura e iluminación Biblioteca Cápsula 1

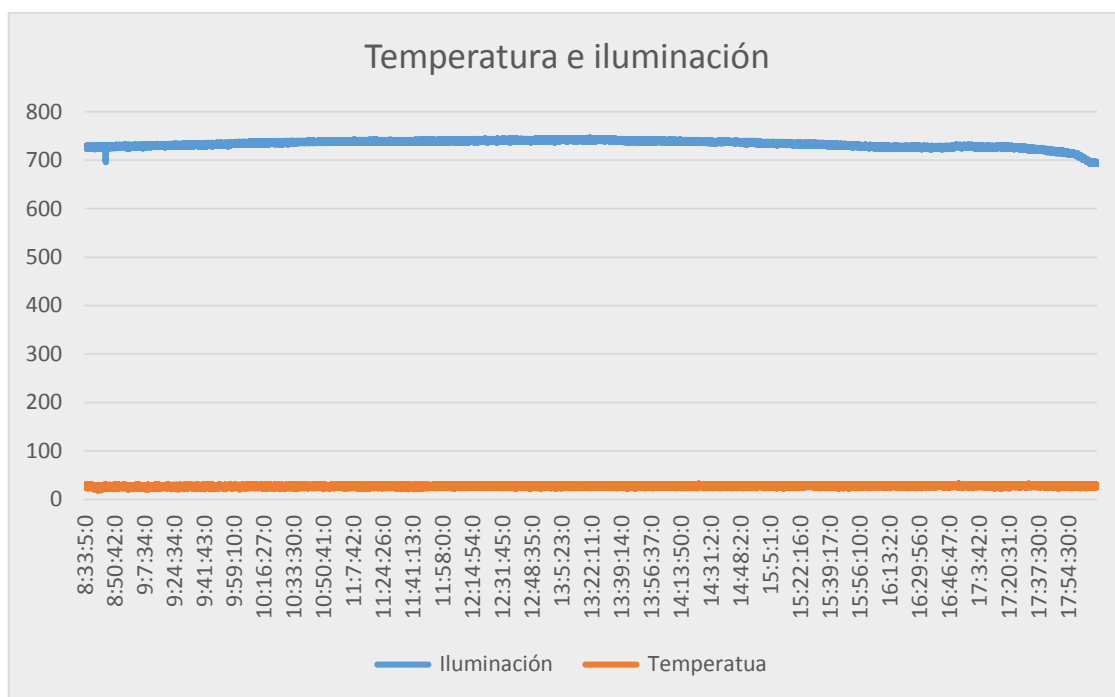


Gráfico 2 Temperatura e iluminación Exterior Cápsula 2

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

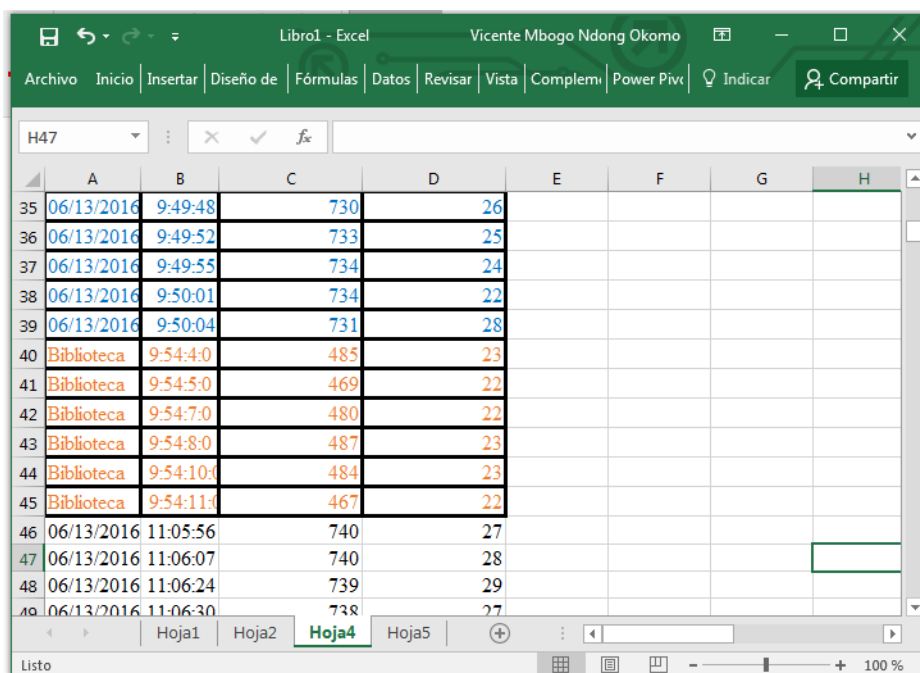


Imagen 208 Receptor Interior y exterior Biblioteca

5.2.1.2 Microclima del pasillo y el exterior

El pasillo es un lugar donde transitan los ocupantes del edificio, no requiere tanta iluminación, en el experimento que llevamos, se obtuvo una temperatura media de 24,69 °C interior y una de 29,51°C en el exterior, una iluminación de 147,58 lux en el interior y la del exterior 716,92 lux, siendo la recomendada 100 lux, en este caso se podría aprovechar la luz natural, para iluminar el pasillo.

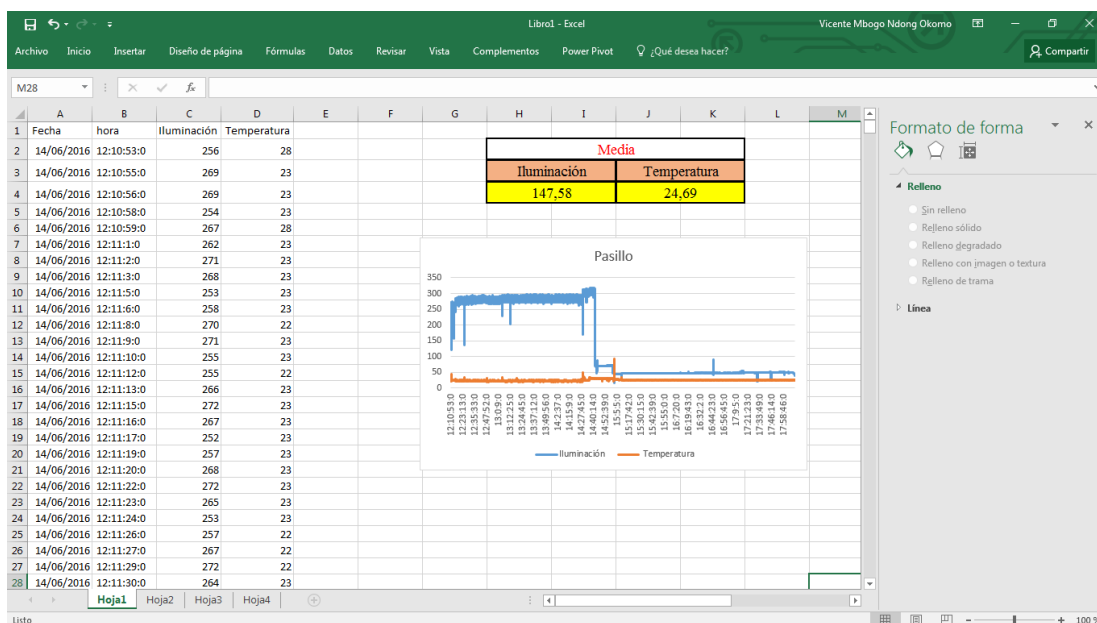


Imagen 209 Pasillo Plana 1 Edificio E'lhuyar

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

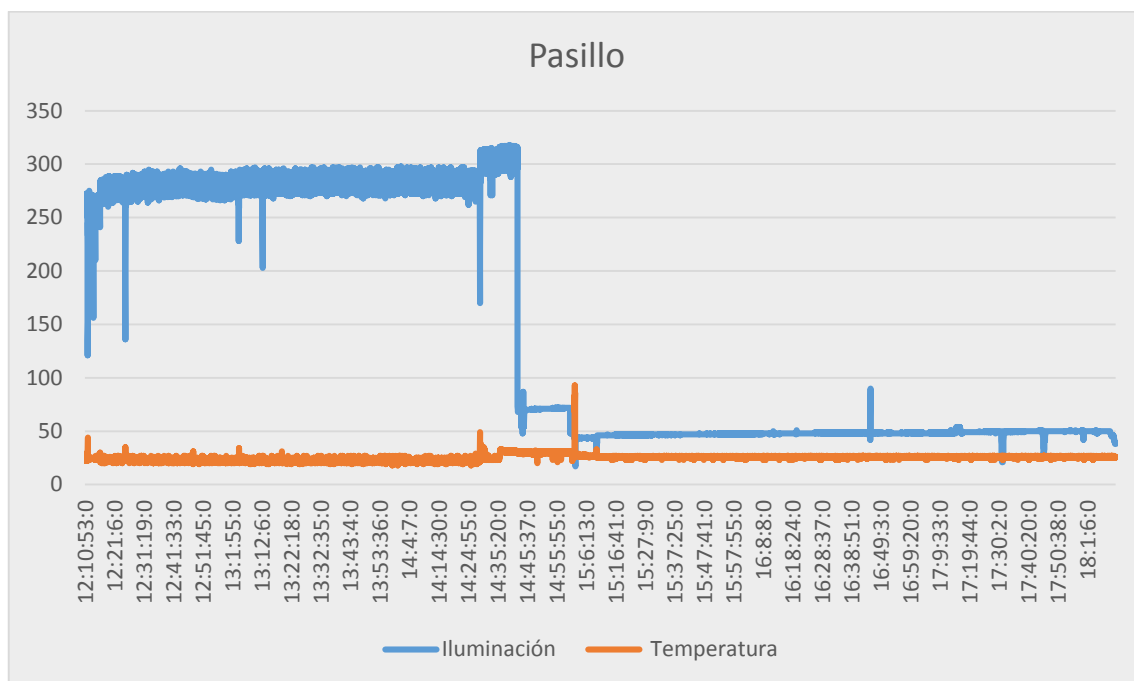


Gráfico 3 Pasillo planta 1 Edificio E'lHuyar

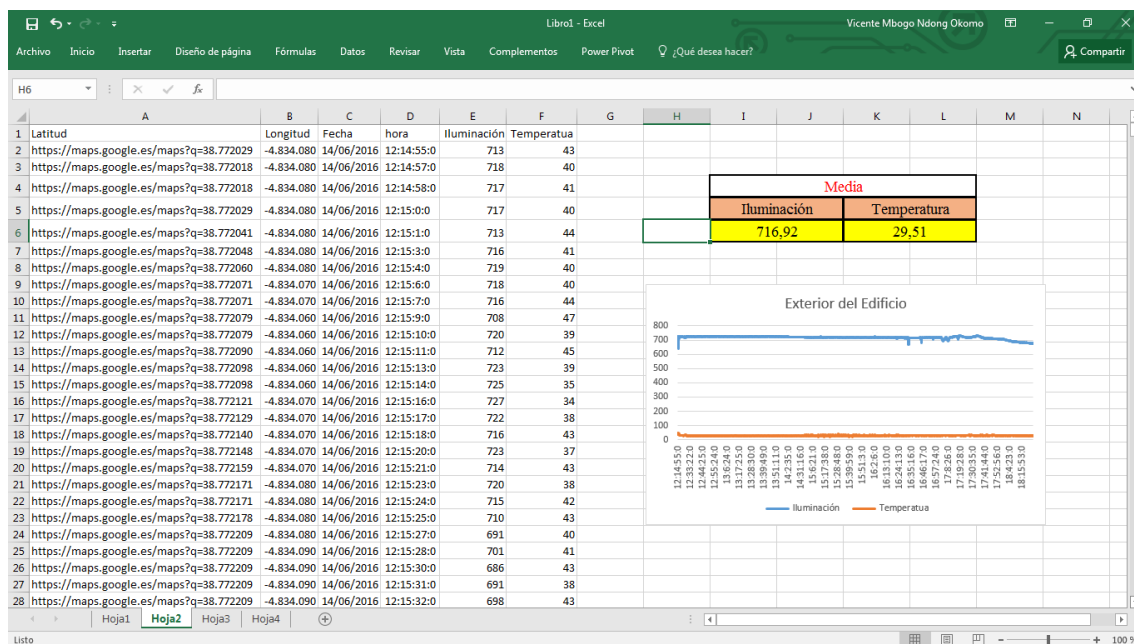


Imagen 210 Exterior Planta 1 Edificio E'lHuyar

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

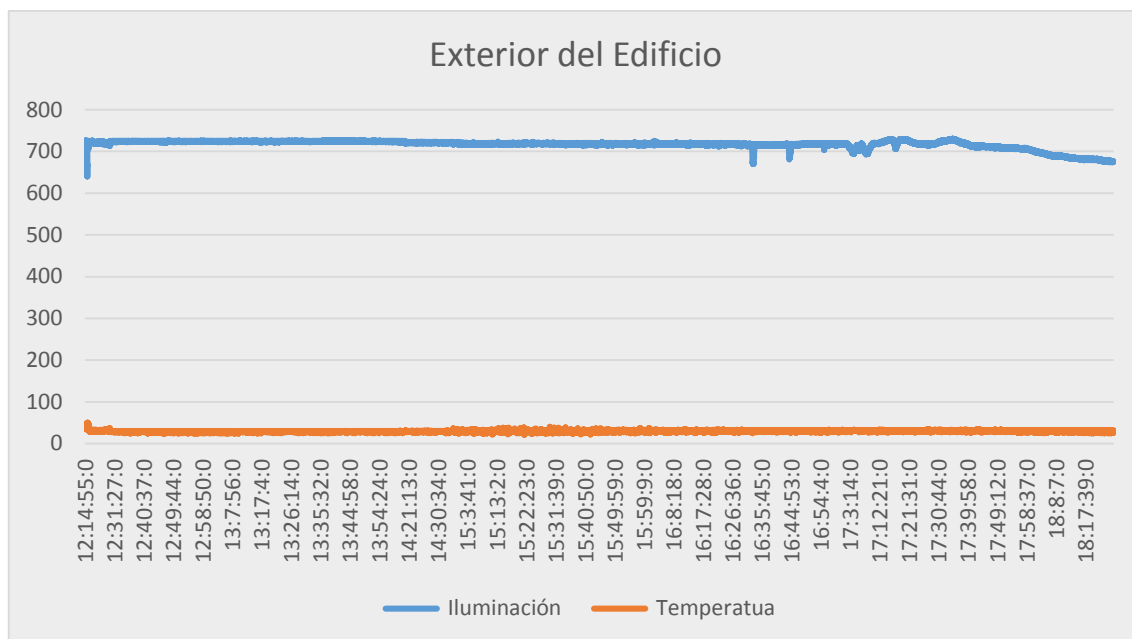


Gráfico 4 Exterior planta 1 Edificio E'lHuyar

Libro1 - Excel

Vicente Mbogo Ndong Okomo

Archivo Inicio Insertar Diseño de página Fórmulas Datos Revisar Vista Complementos Power Pivot Indicar Compartir

H460

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
441	06/14/2016	13:59:31	724	28									
442	06/14/2016	13:59:34	724	28									
443	06/14/2016	13:59:37	725	28									
444	06/14/2016	13:59:40	724	25									
445	06/14/2016	13:59:41	725	28									
446	06/14/2016	13:59:43	723	26									
447	06/14/2016	13:59:44	725	28									
448	06/14/2016	13:59:47	723	29									
449	06/14/2016	13:59:50	725	29									
450	06/14/2016	13:59:53	723	30									
451	06/14/2016	13:59:56	724	26									
452	06/14/2016	13:59:57	723	29									
453	06/14/2016	14:00:00	724	28									
454	06/14/2016	14:00:03	724	29									
455	pasillo	14:19:54	306	24									
456	pasillo	14:19:55	302	24									
457	pasillo	14:19:56	271	23									
458	pasillo	14:20:13	307	23									
459	pasillo	14:20:14	294	23									
460	pasillo	14:20:16	299	23									
461	pasillo	14:20:17	313	23									
462	pasillo	14:20:19	294	23									
463	pasillo	14:20:20	311	23									
464	pasillo	14:20:21	308	23									

Hoja1 Hoja2 **Hoja3** Hoja4 Hoja5

Listo

Imagen 211 Receptor Exterior y Pasillo

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Tareas y clases de local				Iluminancia media (lux)		
				Mínimo	Recomendado	Óptimo
Zonas generales de edificios						
Zonas de circulación, pasillos				50	100	150
Escaleras, escaleras móviles, roperos, lavabos, almacenes y archivos				100	150	200
Centros docentes						
Aulas, laboratorios				300	400	500
Bibliotecas, salas de estudio				300	500	750
Temperatura permitida (Real Decreto)				17 a 27		
				EXPERIMENTO	Iluminación	Temperatura
1				Biblioteca	472,47	24,26
				Exterior	733,57	27,21
2				Pasillo	147,58	24,69
				Exterior	716,92	29,51

Imagen 212 Análisis de los resultados

Con estos experimentos se pretendía comprobar el funcionamiento correcto del sistema implementado y estudiar la eficiencia energética de la Universidad, los resultados fueron satisfactorios. Y se valoró positivamente las medidas que se ha adoptado en la escuela para evitar el desperdicio de energía, cabe mencionar algunas de ellas:

- Existe un responsable de apagar las luces: en aulas y en pasillos. En colaboración con todo el docente.
- Separación de circuitos: la posibilidad de encender por separado las lámparas.
- Interruptores automáticos en los baños.
- Control de calefacción en la biblioteca.

Los resultados obtenidos de los experimentos son totalmente verídicos y fiables, con una gran robustez frente a errores, durante el periodo de tiempo de pruebas no se produjo ningún error ni pérdida de datos. Aunque los resultados podrían haber sido muy distintos en invierno, anochece mucho antes y hace frío, debido a que el proyecto no se ha terminado hasta no se ha podido demostrar.

Aplicaciones en la agricultura e incendios

En agricultura e incendios no se ha podido probar porque por no estar en estos entornos ni se dispone de esos sensores.

Como se ha comentado anteriormente que las cápsulas pueden adaptarse en cualquier escenario mediante sencillas modificaciones. Estos dispositivos pueden ser de gran utilidad para un pequeño agricultor de bajo presupuesto, están destinados a determinar los requerimientos de nitrógeno de las plantas, controlar la dirección y velocidad de los vientos, control de humedad, lluvias, ambientes con temperaturas extremas, etc. Las cápsulas pueden incorporar sensores que miden distintos parámetros, que se desean monitorizar en los campos de cultivos. La información captada por los sensores se envía a la placa Arduino y la procesa. Adicionalmente registran los lugares de medición mediante un receptor GPS integrado y se guarda la información en una tarjeta de memoria SD para su uso posterior, también incorporan comunicación inalámbrica.

Las ventajas de estos aparatos es que los datos recogidos se georreferencian, con lo es factible realizar un mapa con información de la parcela mediante cualquier aplicación de mapas en la web. Con los módulos receptores se recoge la información en cualquier momento en los distintos puntos que se tienen distribuidos los módulos transmisores, sin necesidad de desconectarlos, evitando de este modo la perdida de información que habría cuando no se dispone de una comunicación inalámbrica. Las mediciones realizadas por los sensores se guardan en una tarjeta de memoria, en concreto en formato CSV, con lo que no hace falta apuntar nada y la información se puede volcar en cualquier software estadístico.

Si se considera que los factores meteorológicos condicionan de una forma decisiva el nivel de riesgo de incendio: unas condiciones meteorológicas críticas de altas temperaturas, baja humedad relativa, y episodios de viento fuerte, acrecientan la posibilidad de un incendio forestal y empeoran los daños por propagación. Por ello, es de gran interés el poder prever las condiciones meteorológicas más desfavorables que acrecientan riesgo de que se declare un incendio forestal, de que este alcance grandes proporciones. Los módulos multisensoriales tienen esta ventaja, consisten en unas pequeñas cápsulas independientes capaces de obtener medidas de diferentes características del entorno (como la temperatura, velocidad de viento o la humedad de ambiente), almacenarlas y posteriormente son recogidas por otra estación receptora para su análisis y solución.

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Las cápsulas, operadas a batería, pueden ser equipadas con sensores capaces de medir los parámetros relevantes en el origen de un incendio, disponiendo así de lecturas de humedad ambiental, presión atmosférica, humedad de suelo, humo, CO₂, temperatura, etc. en diversos puntos, tanto en zonas altas de los árboles como en zonas próximas a la superficie. La información es almacenada y transmitida de forma inalámbrica, existe una cápsula responsable de recoger la información y almacenarla para su posterior interpretación.

Este sistema permite cubrir extensas áreas de bosque sin necesidad de infraestructura previa.

En este tercer experimento se pretendía estudiar cómo se utilizaría esta plataforma en otros escenarios, para ello distribuimos las cápsulas en distintos puntos de la escuela y los resultados fueron sorprendentes como se ilustra en las siguientes imágenes:

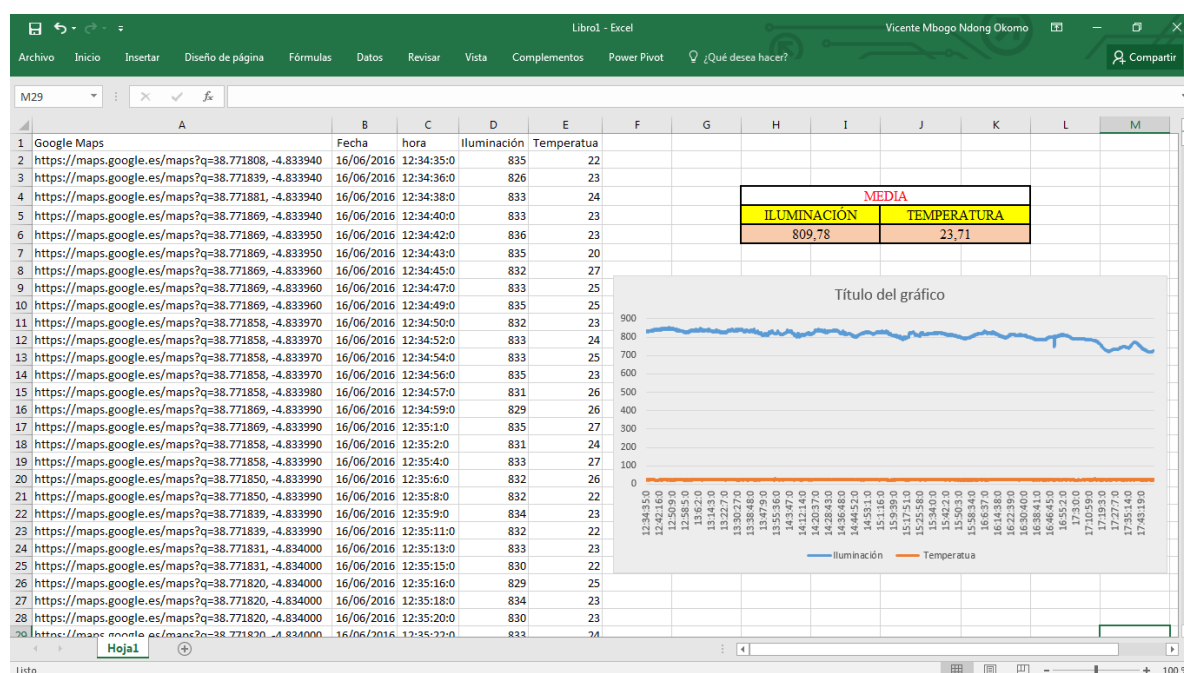


Imagen 213 Cápsula A

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

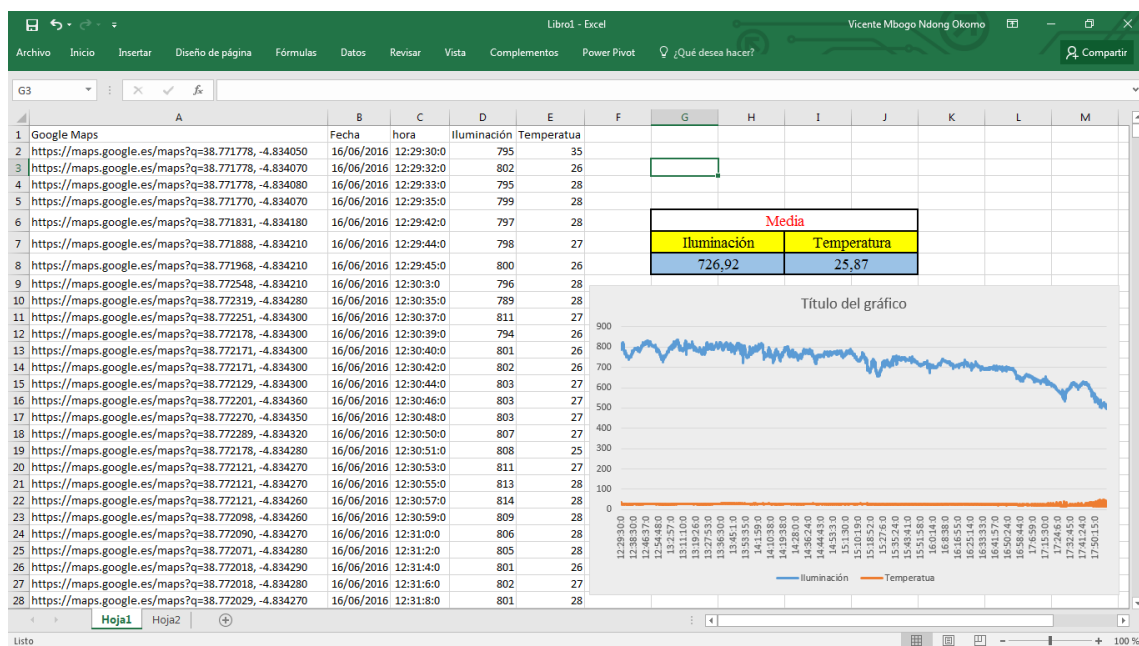


Imagen 214 Cápsula B

Google Maps	Fecha	hora	Iluminación	Temperatura
https://maps.google.es/maps?q=38.772018,-4.834290	16/06/2016	12:31:4:0	801	26
https://maps.google.es/maps?q=38.772018,-4.834280	16/06/2016	12:31:6:0	802	27
https://maps.google.es/maps?q=38.772029,-4.834270	16/06/2016	12:31:8:0	801	28
https://maps.google.es/maps?q=38.772018,-4.834280	16/06/2016	12:31:9:0	807	27
https://maps.google.es/maps?q=38.772079,-4.834280	16/06/2016	12:31:11:0	801	26
https://maps.google.es/maps?q=38.772090,-4.834280	16/06/2016	12:31:13:0	805	27
https://maps.google.es/maps?q=38.771850,-4.833990	16/06/2016	12:35:8:0	832	22
https://maps.google.es/maps?q=38.771839,-4.833990	16/06/2016	12:35:9:0	834	23
https://maps.google.es/maps?q=38.771839,-4.833990	16/06/2016	12:35:11:0	832	22
https://maps.google.es/maps?q=38.771831,-4.834000	16/06/2016	12:35:13:0	833	23
https://maps.google.es/maps?q=38.771831,-4.834000	16/06/2016	12:35:15:0	830	22
https://maps.google.es/maps?q=38.771820,-4.834000	16/06/2016	12:35:16:0	829	25
https://maps.google.es/maps?q=38.771820,-4.834000	16/06/2016	12:35:18:0	834	23

Imagen 215 Cápsula C Receptor

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Filas seleccionadas de la tabla de datos de la cápsula responsable de recoger la información. Copiando y pegando en el navegador obtenemos lo que se ve en los mapas.

<https://maps.google.es/maps?q=38.772018,-4.834280>

16/06/2016 12:31:6:0 802 27

<https://maps.google.es/maps?q=38.771839,-4.834040>

16/06/2016 12:36:29:0 833 23

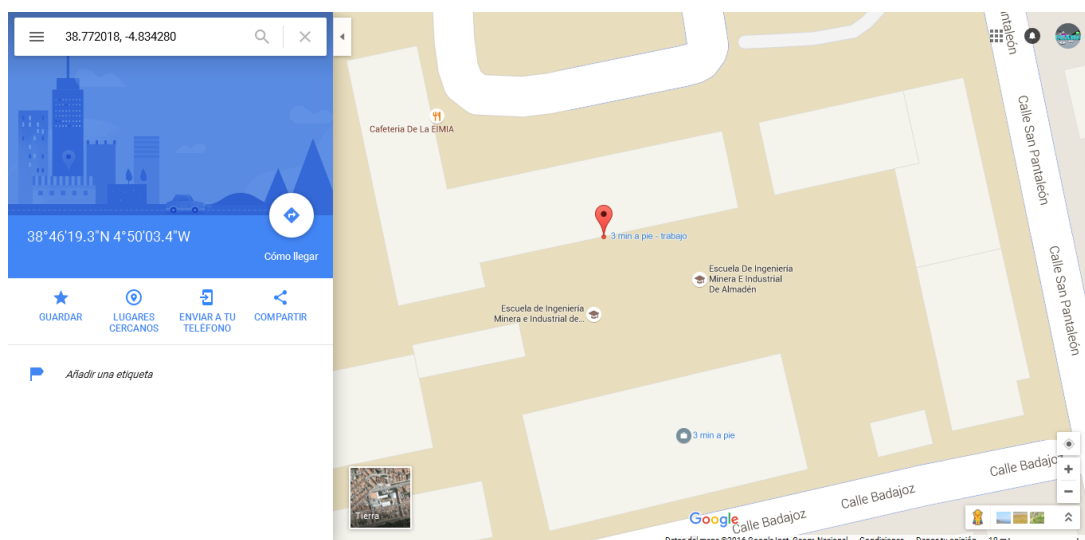


Imagen 216 Cápsula B

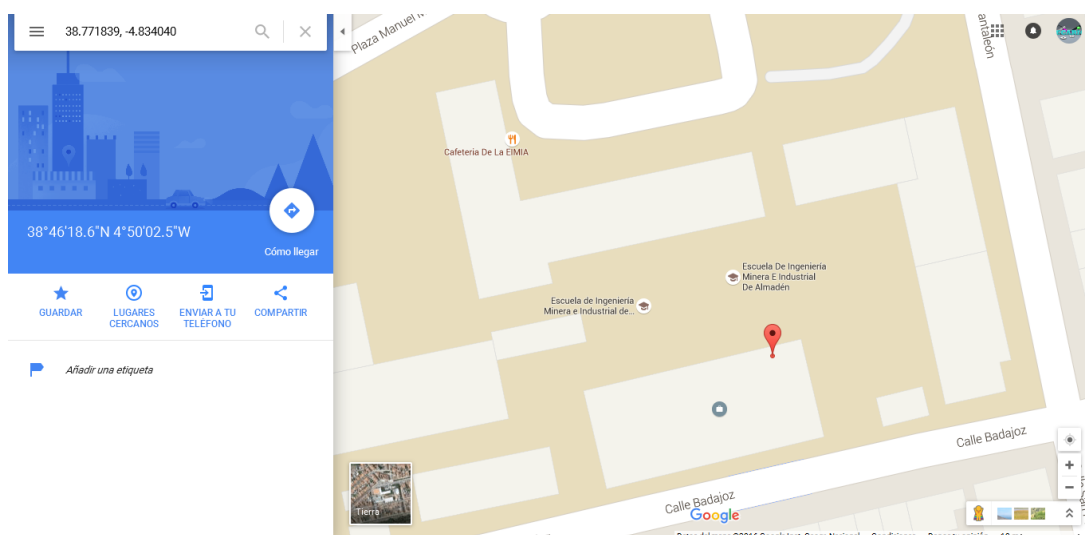


Imagen 217 Cápsula A

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

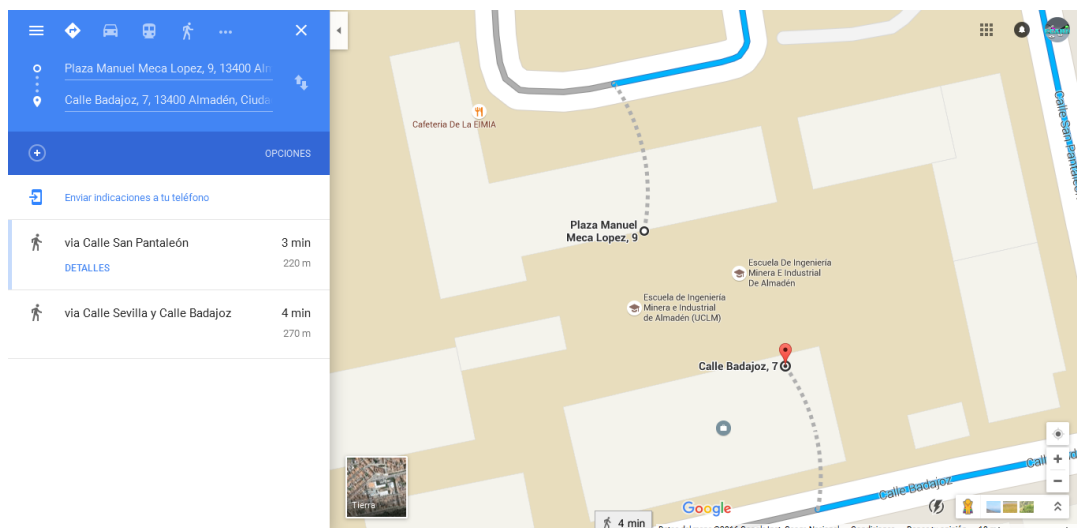


Imagen 218 Localización de la Cápsula A y B

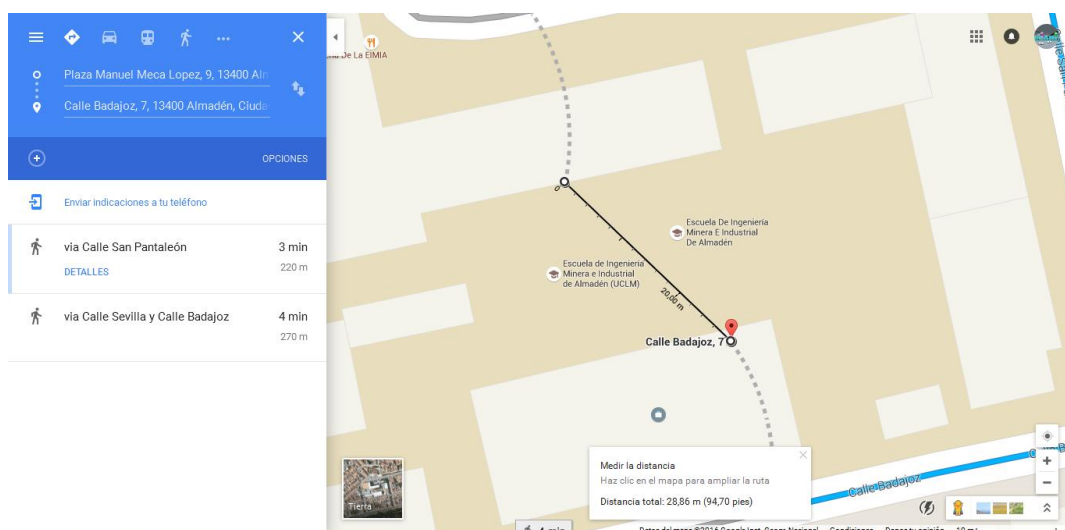


Imagen 219 Distancia Cápsula A y Cápsula B

DISEÑO DE MÓDULOS MULTISENSORIALES DISTRIBUIDOS PARA ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Y también se puede llevar las coordenadas en Google Earth.

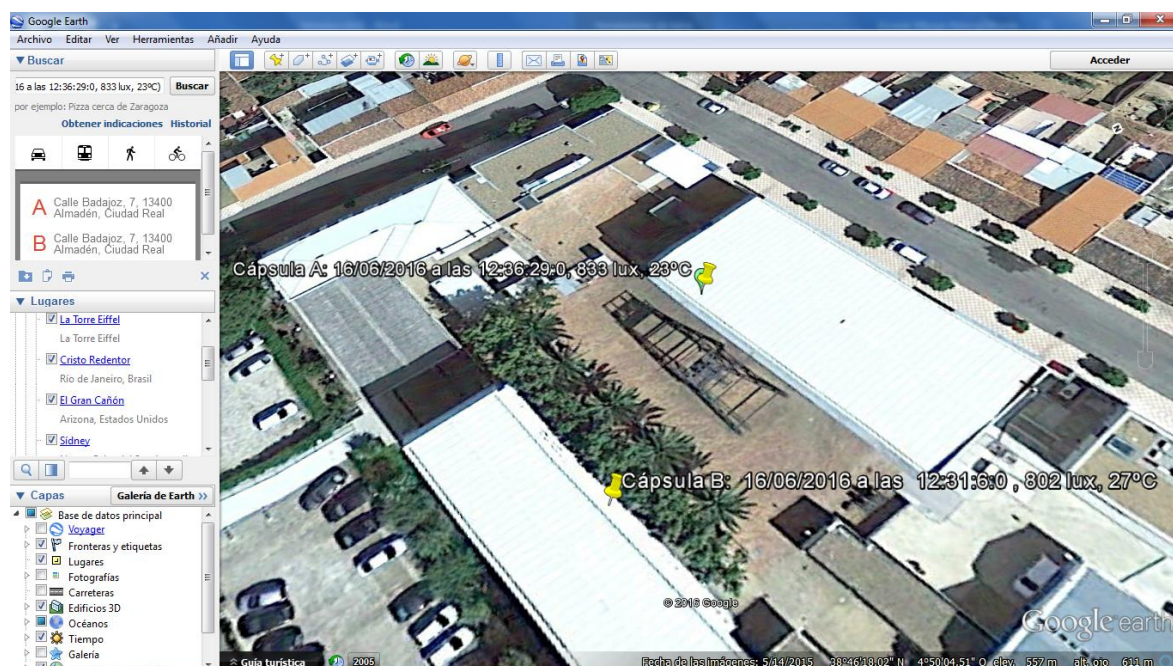


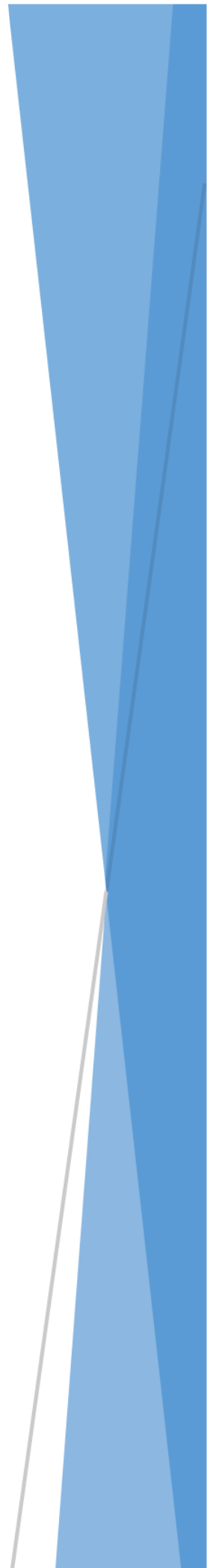
Imagen 221 Cápsula A y B Google Earth



Imagen 220 Cápsula A y B

Los resultados son muy buenos pues son de unos días muy soleados en verano, no hay tanta variación en ningún punto, la diferencia de temperatura y de iluminación entre los puntos se debe a la sombra de los árboles por donde se colocó la Cápsula B.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO



6 CONCLUSIONES

El desarrollo de nuevas tecnologías es realizable gracias a la combinación de otras que ya existen, comprobamos, luego de implementar el sistema propuesto, se procedió a la realización de unas pruebas en un escenario real, distribuyendo los aparatos del sistema en distintos puntos del entorno objeto de estudio, se ha construido un sistema formado por tres cápsulas, siendo dos de ellas las encargadas de recolectar información del entorno, procesarla, almacenar y compartirla con la cápsula receptora, mediante comunicación inalámbrica, con la información recogida se puede llevar a cabo un breve análisis y sacar conclusiones, utilizando programas estadísticos.

Este trabajo representa una respuesta a ciertas necesidades existentes en la actualidad, demostrando que con un poco de ingenio podemos resolver problemas de tipo, gestión de eficiencia energética en los edificios, monitorizar los campos de cultivos. La posibilidad de disponer de unas herramientas que monitoricen de forma distribuida magnitudes sensibles en la formación de focos de fuego permitiría realizar las tareas de prevención, detección temprana y seguimiento de incendios.

En lo que se refiere a los problemas que podemos encontrar en el sistema, cabe resaltar que teniendo en cuenta que la concepción inicial del sistema de posicionamiento global era hacerlo uso militar, hay que señalar que los receptores que podemos encontrar en el mercado son para uso civil, y que éstos quedan sujetos a una degradación de precisión que oscila de los 15 a los 100 metros, el Departamento de Defensa de los EE.UU, responsable de gestionar y proporcionar este servicio, introduce un error en la transmisión de la posición de los receptores uso civil para mantener una ventaja estratégica durante las operaciones militares que lo requieran. Por otra si queremos aumentar la distancia de transmisión y recepción entre módulos, la única solución es cambiar dichos módulos por unos con mejores características, pero se debe hacer con mucha cautela ya que sus capacidades dependen del tipo de modulación que usen.

A pesar de estas desventajas esto no afectó al desarrollo y correcto funcionamiento del sistema, tras la implementación del mismo se llevó a cabo una serie de experimentos estudiando el nivel de confort en distintas estancias de la Escuela y el del ambiente al que está sumergido, después, hacer un análisis de los datos obtenidos, y comparar los niveles de confort del interior y exterior de la escuela, para determinar si es aprovechable la

climatización e iluminación natural, pero teniendo en cuenta los niveles establecidos por el Real Decreto.

Finalmente, se puede decir que se han alcanzado los objetivos que planteaba el proyecto de forma satisfactoria.

6.1 Trabajos futuros

Una de las ventajas de realizar el proyecto basado en Arduino es la gran escalabilidad que posee el sistema, pues permite la incorporación de nuevos elementos realizando pequeñas en código.

Algunos de los proyectos que pueden llevarse a cabo con el sistema desarrollado son los siguientes:

- Para ampliar el código cambiar la placa Arduino UNO con el Mega, la memoria Arduino UNO es insuficiente para códigos extendidos.
- Se podrían añadir nuevos sensores, con el fin de desarrollar redes más complejas, añadir placas solares conseguir la autonomía del sistema, etc.

7 REFERENCIAS

- [1].(s.f.). Obtenido de <http://www.areatecnologia.com/electronica/como-es-un-led.html>
- [2].Anónimo. (s.f.). *Características técnicas del ARDUINO UNO*. Obtenido de <http://www3.gobiernodecanarias.org>
- [3].Area Tecnología. (s.f.). Obtenido de <http://www.areatecnologia.com>
- [4].definicion.de. (s.f.). Obtenido de <http://definicion.de/temperatura/>
- [5].Eroski, F., & Delgado, A. (20 de noviembre de 2007). *¿Qué es el hardware libre?* Obtenido de Eroski consumer: <http://www.consumer.es>
- [6].Facultad de Ciencias de la Ingeniería, U. A. (Noviembre de 2007). *Revistas Electrónicas UACH*. Obtenido de Revistas Electrónicas UACH Web site: <http://mingaonline.uach.cl/>
- [7].Garcí, M. A. (2004). *Instrumentación Electrónica*. International Thomson Editores Spain.
- [8].González, A. G. (5 de junio de 2014). <http://panamahitek.com>.
- [9].GRUPOPAPELMATICA. (s.f.). <http://entornosaludable.com>. Obtenido de /
- [10]. Hidalgo, M. (23 de Marzo de 2016). *platea.pntic*. Obtenido de platea.pntic.mec.es
- [11]. <http://www.prometec.net/detector-llama>. (s.f.).
- [12]. Informática y Computación. (s.f.). <http://informaticaycomputacioni-iv.blogspot.com.es>.
- [13]. Instituto para Diversificación y Ahorro de la Energía. (s.f.). <http://www.idae.es>.
- [14]. Kouro, S. (01 de 06 de 2001). <http://ingeborda.com.ar>. Obtenido de <http://ingeborda.com.ar>
- [15]. MANUAL DE EXCEL. (s.f.). <http://manual-excel.blogspot.com.es>.
- [16]. Martinez, F. (3 de Febrero de 2015). Obtenido de <https://openwebinars.net/>
- [17]. Miranda, J. M. (2002). *Ingeniería de Microondas*. Madrid.
- [18]. MORA, M. O. (2015). *Los Drones y sus aplicaciones a la ingeniería civil*. Madrid.
- [19]. *Naylamp Mechatronics*. (s.f.). Obtenido de <http://www.naylampmechatronics.com/>
- [20]. Nuria. (2014). <http://www.nylsoft.com>.
- [21]. OPEN HARDWARE SAC. (s.f.). <http://openhardware.pe/>.
- [22]. Pallás, R. .. (1988). *Sensores y acondicionadores de señal*.

- [23]. Pedro Calvo Aguilar, F. H. (2014). *Perfiles IDS - SISTEMAS NO TRIPULADOS*. Madrid.
- [24]. Pérez, E. M. (s.f.). *Autómatas programables y sistemas de automatización*.
- [25]. PICAXE. (2008). *Solo Picaxe*. Obtenido de <http://picaxe.electronicasimple.com>.
- [26]. Tapia, D. I. (8 de Marzo de 2016). *Researchgate*. Obtenido de Researchgate.net: <https://www.researchgate.net>
- [27]. TOMASI, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. Prentice Hall.
- [28]. TR3SDLAND. (s.f.). Obtenido de www.tr3sdland.com/
- [29]. Trucos y Cursos de Excel. (s.f.). Obtenido de <http://trucosycursos.es/comparativa-de-las-hojas-de-calculo/>
- [30]. WIT square. (s.f.). <http://www.wit-square.es>.