

Capítulo 1: SELECCIÓN DE COMPONENTES

1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta el estado del arte actual en cuanto a sensores, microcontroladores y transmisión inalámbrica se refiere.

Antes de empezar el diseño del nodo sensor, se ha realizado una búsqueda de los componentes que se van a utilizar y que mejor se adaptan a los requisitos de nuestro sistema.

En primer lugar, se describen la mayoría de los gases contaminantes presentes en la atmósfera, se pasa a exponer los tipos de sensores que actualmente se encuentran en el mercado y que se adaptan a los requisitos de este proyecto.

A continuación, se describen las características de la serie de microcontroladores del fabricante Arduino, en especial el Arduino UNO R3. Seguidamente, se detallan todos los componentes que se van a utilizar en el proyecto.

Por último se exponen las principales características de la red GSM.

2. SUSTANCIAS CONTAMINANTES

Los contaminantes atmosféricos son tan numerosos que resulta difícil agruparlos para su estudio. Siguiendo una agrupación bastante frecuente los incluiremos en los siguientes grupos:

- Óxidos de carbono.
- Óxidos de azufre.
- Óxidos de nitrógeno.
- Compuestos orgánicos volátiles.
- Partículas y aerosoles.
- Oxidantes.
- Sustancias radioactivas.
- Calor.
- Ruido.
- Otros contaminantes.

Algunos de los principales contaminantes atmosféricos son sustancias que se encuentran de forma natural en la atmósfera. Los consideramos contaminantes cuando sus concentraciones son notablemente más elevadas que en la situación normal. Así se observa en la siguiente tabla en la que se comparan los niveles de concentración entre aire limpio y aire contaminado.

Componentes	Aire Limpio	Aire Contaminado
Óxido de Azufre (SO_2)	0.001-0.01 ppm	0.02-2 ppm
Dióxido de Carbono (CO_2)	310-330 ppm	400-700 ppm
Monóxido de Carbono (CO)	<1 ppm	5-200 ppm
Dióxido de Nitrógeno (NO_2)	0.001-0.01 ppm	0.01-0.5 ppm
Hidrocarburos	1 ppm	1-20 ppm
Partículas	10-20 μ g/m ³	70-700 μ g/m ³

Tabla 1. Concentraciones de gases en el aire.

2.1 Óxidos de carbono

Incluyen el dióxido de carbono (CO_2) y el monóxido de carbono (CO). Los dos son contaminantes primarios:

a) Dióxido de carbono (CO_2)

Es un gas sin color, olor ni sabor que se encuentra presente en la atmósfera de forma natural. Desempeña un importante papel en el ciclo del carbono en la naturaleza.

Dada su presencia natural en la atmósfera y su falta de toxicidad, no deberíamos considerarlo una sustancia que contamina, pero se dan dos circunstancias que lo hacen un contaminante de gran importancia en la actualidad, es un gas que produce un importante efecto de atrapamiento del calor, el llamado efecto invernadero y su concentración está aumentando en los últimos decenios por la quema de los combustibles fósiles y de grandes extensiones de bosques

Por estos motivos es uno de los gases que más influye en el importante problema ambiental del calentamiento global del planeta y el consiguiente cambio climático.

En España, aproximadamente un 35% del emitido procede de combustiones diversas (industriales, domésticas, comerciales, etc.), un 25% de las plantas eléctricas, y alrededor de otro 25% procede del transporte.

b) Monóxido de carbono (CO)

Es un gas sin color, olor ni sabor.

Es tóxico porque envenena la sangre impidiendo el transporte de oxígeno. Se combina fuertemente con la hemoglobina de la sangre y reduce drásticamente la capacidad de la sangre de transportar oxígeno. Es responsable de la muerte de muchas personas en minas de carbón, incendios y lugares cerrados (garajes, habitaciones con braseros, etc.).

Alrededor del 90% del que existe en la atmósfera se forma de manera natural, en la oxidación de metano (CH_4) en reacciones fotoquímicas. Se va eliminando por su oxidación a CO_2 .

La actividad humana lo genera en grandes cantidades siendo, después del CO_2 , el contaminante emitido en mayor cantidad a la atmósfera por causas no naturales. Procede, principalmente, de la combustión incompleta de la gasolina y el gasoil en los motores de los vehículos.

2.2 Óxidos de azufre

Incluyen el dióxido de azufre (SO_2) y el trióxido de azufre (SO_3):

a) Dióxido de azufre (SO_2)

Es un gas incoloro y no inflamable, de olor fuerte e irritante. Es un importante contaminante primario.

Su vida media en la atmósfera es corta, de unos 2 a 4 días. Casi la mitad vuelve a depositarse en la superficie húmedo o seco y el resto se convierte en iones sulfato (SO_4^{2-}). Por este motivo, es un importante factor en la lluvia ácida.

En conjunto, más de la mitad del que llega a la atmósfera es emitido por actividades humanas, sobre todo por la combustión de carbón y petróleo y por la metalurgia. Otra fuente muy importante es la oxidación del H_2S . Y, en la naturaleza, es emitido en la actividad volcánica. En algunas áreas industrializadas hasta el 90% del emitido a la atmósfera procede de las actividades humanas, aunque en los últimos años está disminuyendo su emisión en muchos lugares gracias a las medidas adoptadas.

b) Trióxido de azufre (SO_3)

Contaminante secundario que se forma cuando el SO_2 reacciona con el oxígeno en la atmósfera. Posteriormente este gas reacciona con el agua formando ácido sulfúrico con lo que contribuye de forma muy importante a la lluvia ácida y produce daños importantes en la salud, la reproducción de peces y anfibios, la corrosión de metales y la destrucción de monumentos y construcciones de piedra.

2.3 Óxidos de nitrógeno

Incluyen el óxido nítrico (NO), el dióxido de nitrógeno (NO_2) y el óxido nitroso (N_2O):

a) NO_x (Conjunto de NO y NO_2)

El óxido nítrico y el dióxido de nitrógeno se suelen considerar en conjunto con la denominación de NO_x . Son contaminantes primarios de mucha trascendencia en los problemas de contaminación.

El emitido en más cantidad es el NO , pero sufre una rápida oxidación a NO_2 , siendo este el que predomina en la atmósfera. El NO_x tiene una vida corta y se oxida rápidamente a NO_3^- en forma de aerosol o a HNO_3 (ácido nítrico). Tiene una gran trascendencia en la formación del smog fotoquímico, del nitrato de peroxiacetilo (PAN) e influye en las reacciones de formación y destrucción del ozono, tanto troposférico como estratosférico, así como en el fenómeno de la lluvia ácida. En concentraciones altas produce daños a la salud y a las plantas y corroe tejidos y materiales diversos.

Las actividades humanas que los producen son, principalmente, las combustiones realizadas a altas temperaturas. Más de la mitad de los gases de este grupo emitidos en España proceden del transporte.

b) Óxido nitroso (N_2O)

En la troposfera es inerte y su vida media es de unos 170 años. Va desapareciendo en la estratosfera en reacciones fotoquímicas que pueden tener influencia en la destrucción de la capa de ozono. También tiene efecto invernadero.

Procede fundamentalmente de emisiones naturales (procesos microbiológicos en el suelo y en los océanos) y menos de actividades agrícolas y ganaderas (alrededor del 10% del total).

c) Otros

Algunos otros gases como el amoníaco (NH_3) son contaminantes primarios, pero normalmente sus bajos niveles de emisión hacen que no alcancen concentraciones dañinas. El amoníaco que se emite a la atmósfera en España se origina casi exclusivamente en el sector agrícola y ganadero.

2.4 Compuestos orgánicos volátiles

Este grupo incluye diferentes compuestos como el metano CH_4 , hidrocarburos, clorofluorocarburos (CFC) y otros:

a) Metano (CH₄)

Es el más abundante y más importante de los hidrocarburos atmosféricos.

Es un contaminante primario que se forma de manera natural en diversas reacciones anaeróbicas del metabolismo. El ganado, las reacciones de putrefacción y la digestión de las termitas forman metano en grandes cantidades.

También se desprende del gas natural, del que es un componente mayoritario y en algunas combustiones. Asimismo se forman grandes cantidades de metano en los procesos de origen humano hasta constituir cerca del 50% del emitido a la atmósfera.

Desaparece de la atmósfera a consecuencia, principalmente, de reaccionar con los radicales OH formando, entre otros compuestos, ozono. Su vida media en la troposfera es de entre 5 y 10 años.

Se considera que no produce daños en la salud ni en los seres vivos, pero influye de forma significativa en el efecto invernadero y también en las reacciones estratosféricas.

En España la gran mayoría del metano emitido a la atmósfera procede de cuatro fuentes, en proporciones muy similares: la agricultura y ganadería, el tratamiento de residuos, el tratamiento y distribución de combustibles fósiles y las emisiones naturales que tienen lugar, sobre todo, en las zonas húmedas.

b) Otros hidrocarburos

En la atmósfera están presentes muchos otros hidrocarburos, principalmente procedentes de fenómenos naturales, pero también originados por actividades humanas, sobre todo las relacionadas con la extracción, el refinado y el uso del petróleo y sus derivados. Sus efectos sobre la salud son variables. Algunos no parece que causen ningún daño, pero otros, en los lugares en los que están en concentraciones especialmente altas, afectan al sistema respiratorio y podrían causar cáncer. Intervienen de forma importante en las reacciones que originan el "smog" fotoquímico.

En España las emisiones de este tipo de compuestos proceden de procesos naturales que tienen lugar en los bosques (el 30%, aproximadamente), y del transporte por carretera (25%).

c) Clorofluorocarburos

Son especialmente importantes por su papel en la destrucción del ozono en las capas altas de la atmósfera.

2.5 Partículas y aerosoles

En la atmósfera permanecen suspendidas sustancias muy distintas como partículas de polvo, polen, hollín (carbón), metales (plomo, cadmio), asbesto, sales, pequeñas gotas de ácido sulfúrico, dioxinas, pesticidas, etc. Se suele usar la palabra aerosol para referirse a los materiales muy pequeños, sólidos o líquidos. Partículas se suele llamar a los sólidos que forman parte del aerosol, mientras que se suele llamar polvo a la materia sólida de tamaño un poco mayor (de 20 micras o más). El polvo suele ser un problema de interés local, mientras que los aerosoles pueden ser transportados muy largas distancias.

Según su tamaño pueden permanecer suspendidas en la atmósfera desde uno o dos días, las de 10 micrómetros o más, hasta varios días o semanas, las más pequeñas. Algunas de estas partículas son especialmente tóxicas para los humanos y, en la práctica, los principales riesgos para la salud humana por la contaminación del aire provienen de este tipo de polución, especialmente abundante en las ciudades.

a) *Aerosoles primarios*

Los aerosoles emitidos a la atmósfera directamente desde la superficie del planeta proceden principalmente, de los volcanes, la superficie oceánica, los incendios forestales, polvo del suelo, origen biológico (polen, hongos y bacterias) y actividades humanas.

b) *Aerosoles secundarios*

Los aerosoles secundarios se forman en la atmósfera por diversas reacciones químicas que afectan a gases, otros aerosoles, humedad, etc. Suelen crecer rápidamente a partir de un núcleo inicial.

Entre los aerosoles secundarios más abundantes están los iones sulfato alrededor de la mitad de los cuales tienen su origen en emisiones producidas por la actividad humana. Otro componente importante de la fracción de aerosoles secundarios son los iones nitrato.

c) *Impacto sobre el clima*

Los aerosoles pueden influir sobre el clima de una manera doble. Pueden producir calentamiento al absorber radiación o pueden provocar enfriamiento al reflejar parte de la radiación que incide en la atmósfera. Por este motivo, no está totalmente clara la influencia de los aerosoles en las distintas circunstancias atmosféricas. Probablemente contribuyen al calentamiento en las áreas urbanas y siempre contribuyen al enfriamiento cuando están en la alta atmósfera porque reflejan la radiación disminuyendo la que llega a la superficie.

2.6 Oxidantes

El ozono es la sustancia principal en este grupo, aunque también otros compuestos actúan como oxidantes en la atmósfera:

a) Ozono (O_3)

El ozono, O_3 , es una molécula formada por átomos de oxígeno. Se diferencia del oxígeno molecular normal en que este último es O_2 .

El ozono es un gas de color azulado que tiene un fuerte olor muy característico que se suele notar después de las descargas eléctricas de las tormentas. De hecho, una de las maneras más eficaces de formar ozono a partir de oxígeno, es sometiendo a este último a potentes descargas eléctricas.

Es una sustancia que cumple dos papeles totalmente distintos según se encuentre en la estratosfera o en la troposfera.

b) Ozono estratosférico

El que está en la estratosfera (de 10 a 50 km.) es imprescindible para que la vida se mantenga en la superficie del planeta porque absorbe las letales radiaciones ultravioletas que nos llegan del sol.

c) Ozono troposférico

El ozono que se encuentra en la troposfera, junto a la superficie de la Tierra, es un importante contaminante secundario. El que se encuentra en la zona más cercana a la superficie se forma por reacciones inducidas por la luz solar en las que participan, principalmente, los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos presentes en el aire. Es el componente más dañino del smog fotoquímico y causa daños importantes a la salud, cuando está en concentraciones altas, y frena el crecimiento de las plantas y los árboles.

En la parte alta de la troposfera suele entrar ozono procedente de la estratosfera, aunque su cantidad y su importancia son menores que el de la parte media y baja de la troposfera.

En España, como en otros países mediterráneos, durante el verano se dan condiciones meteorológicas favorables para la formación de ozono: altas temperaturas, cielos despejados, elevada insolación y vientos bajos, especialmente en la costa mediterránea y sur de la Península.

2.7 Sustancias radioactivas

Isótopos radiactivos como el radón 222, yodo 131, cesio 137 y cesio 134, estroncio 90, plutonio 239, etc. son emitidos a la atmósfera como gases o partículas en suspensión. Normalmente se encuentran en concentraciones bajas que no suponen peligro, salvo que en algunas zonas se concentren de forma especial.

El problema con estas sustancias está en los graves daños que pueden provocar. En concentraciones relativamente altas (siempre muy bajas en valor absoluto) pueden, provocar cáncer, afectar a la reproducción en las personas humanas y el resto de los seres vivos dañando a las futuras generaciones, etc.

Su presencia en la atmósfera puede ser debida a fenómenos naturales. Por ejemplo, algunas rocas, especialmente los granitos y otras rocas magmáticas, desprenden isótopos radiactivos. Por este motivo en algunas zonas hay una radiactividad natural mucho más alta que en otras.

3. TIPOS DE SENSORES

3.1 Definición de sensor

Un *sensor* es un dispositivo capaz de medir magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, etc. Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como en un fototransistor), etc.

Un sensor se diferencia de un transductor en que el sensor está siempre en contacto con la variable de instrumentación con lo que puede decirse también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo. Un sensor también puede decirse que es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra.

Considerando los distintos tipos de sensores, algunas de las áreas de aplicación pueden ser: industria automotriz, industria aeroespacial, medicina, industria de manufactura, robótica, etc.

Existen diferentes tipos de sensores para la medición de las concentraciones de los gases contaminantes expuestos en el apartado anterior, son los sensores NDIR (Non Dispersive InfraRed), los sensores electroquímicos y los sensores de estado sólido. A continuación se citan las principales características de cada uno de ellos.

3.2. Sensor NDIR

Dentro de éste, hay tres tipos bien conocidos y de amplio uso: los de electrolitos sólido, los catalíticos y los de óxidos semiconductores.

Los primeros de ellos emplean electrolitos sólidos, materiales que permiten la conducción de iones pero no la de electrones. El papel esencial del electrolito sólido es separar dos regiones de diferente actividad en el analito y permitir una alta movilidad de un ión de ese analito entre las dos regiones. La medida de potencial, intensidad o carga se usa como señal analítica y para ello, es necesario que el electrolito presente una alta conductividad iónica. Los sensores más habituales dentro de los de electrolito sólido son los potenciométricos.

3.3. Sensor de estado sólido

Dentro de los sensores de estado sólido hay tres tipos bien conocidos y de amplio uso: los de electrolito sólido, los catalíticos y los de óxidos semiconductores.

Los primeros de ellos emplean electrolitos sólidos, materiales que permiten la conducción de iones pero no la de electrones, cumpliendo un papel similar a la de los electrolitos en disolución permitiendo el funcionamiento de las células electroquímicas. El papel esencial del electrolito sólido es separar dos regiones de diferente actividad en el analito y permitir una alta movilidad de un ión de ese analito entre las dos regiones. La medida de potencial, intensidad o carga se usa como señal analítica y por ello, es necesario que el electrolito presente una alta conductividad iónica. Los sensores más habituales dentro de los electrolito sólido son los potenciométricos, de los que existen diversos tipos.

Los sensores catalíticos se basan en el denominado pellistor que esencialmente es un microcalorímetro catalítico, consistente en una superficie catalítica situada sobre un sensor de temperatura, junto con un sistema de calentamiento, que frecuentemente es el mismo sensor de temperatura, un arrollamiento de platino, que mantiene el catalizador a una temperatura lo suficientemente alta (~500 °C).

Por ello, el pellistor suele ser un simple alambre de platino recubierto de una pasta catalítica de un material inerte, así aluminica, y un catalizador que acelera la oxidación. De esta forma, se asegura una rápida combustión de cualquier gas inflamable que se encuentre en las proximidades. La medida de las variaciones de resistencia como consecuencia del aumento de temperatura producido por la combustión permite la monitorización de cambios en la concentración.

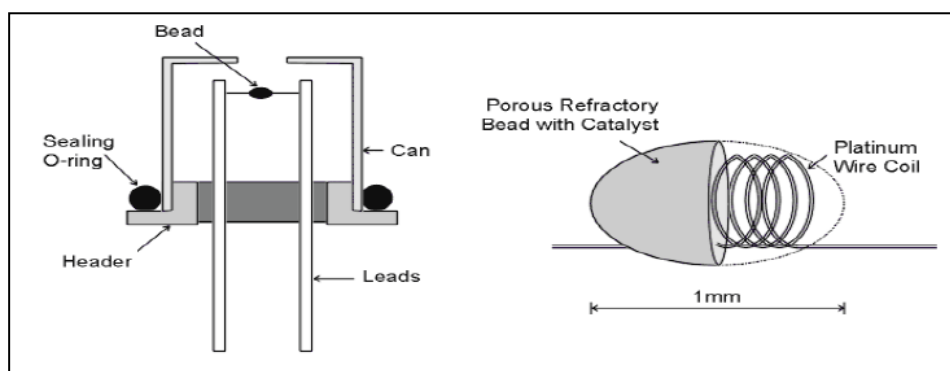


Figura 2. Diagrama esquemático de un pellistor y su montaje.

El tercer grupo de sensores de gases de estado sólido son los basados en óxidos metálicos semiconductores, se basan en la absorción de un gas en la superficie de un semiconductor de óxido metálico que origina un gran cambio en su resistencia eléctrica. Existen pocos óxidos usados comercialmente en esta tecnología debido a los requerimientos combinados de resistividad, sensibilidad y efecto de la humedad, entre ellos se encuentran ZnO_2 , TiO_2 , WO_2 y SnO_2 .

3.4. Sensor electroquímico

Los sensores electroquímicos de gases pueden ser de dos tipos: sensores basados en células de combustible y sensores de tipo galvánico. Los primeros son células de combustión miniaturizadas, pues consumen como combustible un gas, que es analito, y como comburente oxígeno. En este caso, consumen muy pequeñas cantidades de gas cuya absorción está controlada por una barrera de difusión. Consisten en un cátodo, un ánodo y un electrolito adecuadamente seleccionados para el gas de interés, el cual se difunde a la célula donde ocurre la reacción química que genera un valor de intensidad de corriente usado como parámetro analítico. Las células usadas tienen la difusión limitada, de manera que la velocidad a la que entra el gas es exclusivamente dependiente de la concentración de gas

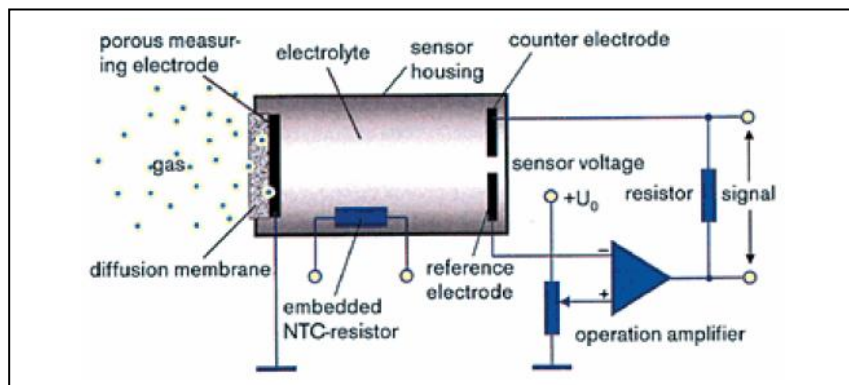


Figura 3. Esquema de funcionamiento de un sensor de gas electroquímico.

Los sensores galvánicos consumen los electrodos o el electrolito presente, pudiendo ser usados para diferentes gases como oxígeno, gases ácidos amoníaco o cianuro de hidrógeno, por ello, la vida de estos sensores está gobernado por la cantidad de gas que utiliza, lo que hace que, en general, sea corta. Los sensores electroquímicos pueden ser más selectivos que los anteriormente citados, aunque presentan problemas relacionados con el alto valor de la corriente residual, deriva y lentitud en la respuesta.

3.5. Dióxido de carbono (CO₂)

Hemos visto en apartados anteriores los principales contaminantes atmosféricos que se encuentran de forma natural en la atmósfera, para este proyecto nos hemos decantado por la realización de un sensor de CO₂, aparte de por las consideraciones técnicas para la realización del mismo, por la importancia del impacto que tienen las emisiones de CO₂ en la atmósfera.

El dióxido de carbono es uno de los gases minoritarios en la atmósfera (0,03%) aunque juega un papel de gran importancia en los procesos vitales de las plantas y animales, tales como la fotosíntesis y la respiración. Debido principalmente a las actividades industriales humanas, la cantidad de CO₂ liberada a la atmósfera ha estado aumentando considerablemente durante los últimos 150 años. Como resultado, ha excedido la cantidad absorbible por la biomasa, los océanos y otros sumideros, por lo que ha habido un aumento en la concentración en la atmósfera de unas 280 mg/L en 1850 a 364 en 1998. Esto ha supuesto un considerable aumento del proceso conocido como efecto invernadero.

Por otra parte, resulta de gran importancia en muchos procesos bioquímicos y microbiológicos, como pueden ser los procesos de fermentación donde su control es crítico para obtener altos rendimientos y mínima formación de subproductos.

Por todo ello, los sensores de dióxido de carbono son de gran importancia tanto en procesos fisiológicos como en industriales, así en procesos de combustión para el control de emisiones de vehículos o para la protección humana contra incendios, en investigaciones biológicas o médicas, el dióxido de carbono es uno de los parámetros claves para el conocimiento de la homeostasis de seres vivos y para determinar y para determinar el estado fisiológico de pacientes críticos, en la determinación de la calidad ambiental del aire y la ventilación de espacios cerrados y en numerosos procesos industriales de control.

La determinación habitual de CO₂, especialmente en disolución, en la industria, medicina y aplicaciones ambientales se ha llevado a cabo tradicionalmente mediante el electrodo de Severinghaus, pero tiene una serie de inconvenientes como interferencias por gases ácidos y básicos, tiempos de respuesta alto y efectos de presión osmótica causada por las variables características de la salinidad de las muestras.

Para los sensores de CO₂ no se habla de recomendaciones ya que no se ha encontrado una normativa que establezca valores de rango, exactitud o resolución. Por tanto, los criterios de selección vienen determinados por el rango de medición, tal y como aparece en la Tabla 2.

Porcentaje de CO ₂ (%)*	Efectos sobre una persona
0,038	Valor medio global
0,07	Aire de la ciudad en espacio abierto
0,08	Creciente sensibilidad a los olores
0,14	Aire de la ciudad en casa
0,4	Valor máximo en el aula de estudio
0,5	Valor TLV (Valor máximo para un trabajador)
2	Valor tolerable a corto plazo
2,5	Estado de embriaguez incipiente en buceadores
3	Problemas de respiración incipientes
4 – 5,2	Aire de expiración
5	Aparición de mareos y pérdida del conocimiento
6 – 8	Apariciones de parálisis
8 – 10	Dosis mortal

Tabla 2. Efectos del CO₂ sobre una persona.

* 1 % = 10000 ppm (partes por millón)

La concentración de CO₂ en el aire a nivel global ha ido aumentando con el paso de los años hasta situarse en la actualidad en una media de aproximadamente 380 ppm.

3.6. Tipos de sensores de CO₂

Existen tres tipos de sensores para la medición de las concentraciones de CO₂, son los sensores NDIR (Non Dispersive InfraRed), los sensores electroquímicos y los sensores de estado sólido. A continuación se exponen las principales características de cada uno de ellos:

a) Sensor NDIR

Esta técnica aprovecha la propiedad de que muchos gases absorben la radiación en una zona de luz infrarroja determinada, que se encuentra entre 2 y 14 micrómetros. Estas absorciones muestran características únicas para cada uno de los gases, permitiendo que se puedan deducir sus concentraciones.

Dentro de la cavidad del sensor, en donde se encuentra el gas, está la fuente de luz infrarroja y el detector infrarrojo (figura 4). La luz que pasa hacia los detectores lo hace a través de un filtro cuyas características depende del gas a ser medido. De esta manera, según cuanta luz se recoja en los detectores se podrá medir la concentración de gas.

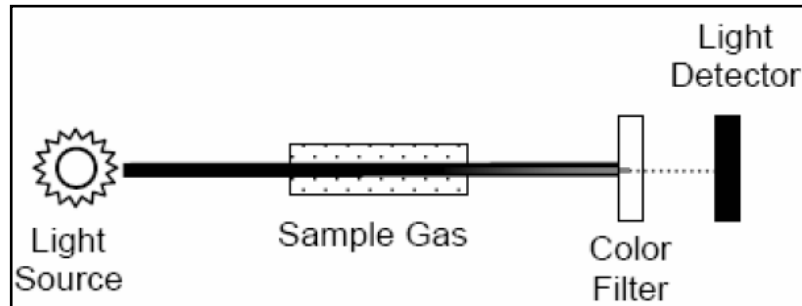


Figura 4. Método no dispersivo IR.

Para el caso del CO₂ la longitud de onda de absorción es 4,26 micrómetros, es decir, que en la fabricación del sensor NDIR se utiliza un filtro óptico que sólo deja pasar esta longitud de onda hacia el detector de presencia de CO₂.

Los dispositivos comercialmente disponibles tienen dos detectores, el detector de presencia del gas a analizar y otro que se utiliza como referencia y que tiene otro filtrado diferente.

La figura 5 muestra un esquema de cómo están constituidos estos sensores. Se debe alimentar la lámpara infrarroja (Source) con una señal determinada que especifica el fabricante. En un principio se debe realizar una rutina de calibración con unos niveles de temperatura y CO₂ determinados y guardar estos datos en una memoria. El proceso de medida del gas consiste en monitorear las tensiones de las salidas (Sensing detector y Reference detector) y realizar unos cálculos utilizando también los datos de calibración previamente guardados.

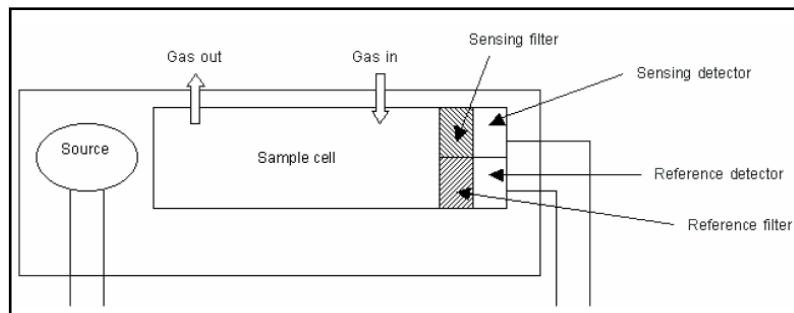


Figura 5. Esquema del sensor NDIR de dos canales.

Las ventajas que presentan los sensores NDIR son su reducido tiempo de calentamiento y su bajo consumo. Por el contrario, las desventajas son que el procesado de las señales, la rutina de calibración y el cálculo de la medida son procesos relativamente complicados. Además, su precio es relativamente elevado comparado con los sensores electroquímicos que veremos a continuación.

b) Sensor electroquímico

Un sensor electroquímico consiste en un electrodo sensor (cátodo) y un contra electrodo (ánodo) separados por una delgada capa de electrolito. El gas que entra en contacto con el sensor reacciona sobre la superficie del electrodo sensor generando una reacción de oxidación o reducción. Los materiales del electrodo, específicamente desarrollados para el gas de interés, catalizan estas reacciones. Una tensión proporcional a la concentración de gas es generada, la que puede ser medida para determinar dicha concentración.

La tecnología más utilizada en los sensores electroquímicos disponibles en el mercado para la medida de CO₂ es la del tipo de electrolito. La figura 6 muestra la disposición de los diferentes elementos que conforman un sensor electroquímico de electrolito sólido. El elemento sensor consiste en un electrolito sólido de sodio (Na⁺) ubicado entre dos electrodos. El cátodo (sensing electrode) consiste en carbonato de litio y oro, mientras que el ánodo (counter electrode) es de oro. El elemento sensor está dispuesto sobre una resistencia de calentamiento impresa (figura de la derecha) de sustrato de óxido cerámico (RuO₂).

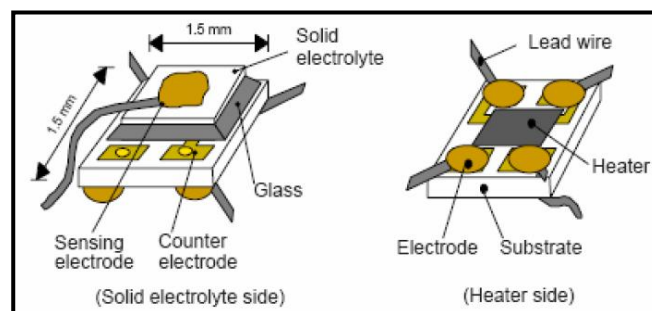


Figura 6. Estructura del sensor electroquímico.

Para que el sensor funcione correctamente se requiere de una tensión que especifica el fabricante aplicada a la resistencia de calentamiento (Heater) con el fin de mantener el elemento sensor a una temperatura óptima de funcionamiento.

Entre los pines Counter electrode y Sensing electrode se genera una tensión de salida que depende logarítmicamente de la concentración de CO₂. Las ventajas que presenta este sensor son su bajo consumo, su tamaño muy reducido y que no requiere de un circuito complicado ni de cálculos complejos. Su precio es relativamente bajo comparado con otros tipos de sensores de CO₂.

c) Sensor de estado sólido

Consiste en uno o más óxidos de metal de los metales de transición. Estos óxidos de metal se preparan y procesan para formar un sensor de película delgada. Se introduce un calentador dentro del sensor para mantenerlo a una temperatura óptima para la detección de gas. Ante la presencia de un gas, el óxido de metal hace que el gas se disocie en iones cargados con el resultado de una transferencia de electrones. Un par de electrodos parcialmente embebidos en el óxido de metal mide el cambio de conductividad del sensor. Este cambio es proporcional a la concentración de gas que haya en el ambiente.



Figura 7. Sensor de estado sólido.

3.7. Elección del sensor de CO₂

A la hora de elegir el tipo sensor de CO₂ que vamos a utilizar en nuestro proyecto, se han tenido muy presente algunas características como el consumo. Al ser una aplicación autónoma necesitamos tener muy presente el consumo de nuestro sensor y conviene que este consumo sea el más pequeño posible para que no tengamos problemas de calentamiento en el sensor ni de alimentación en la placa de acondicionamiento.

Por tanto la razón principal por la cual hemos escogido un sensor electroquímico y no un NDIR es el bajo consumo, aunque el sensor de estado sólido no requiere alimentación las demás características no lo hacen del todo viable. Por el contrario los sensores electroquímicos tienen una vida más corta que los NDIR y los de estado sólido.

En la siguiente tabla, se muestra la comparativa de los cuatro modelos comerciales de sensores, de cada una de las tecnologías descritas anteriormente, que se han considerado más idóneos, y que cumplen las especificaciones técnicas demandadas.

	SENSORES DE DIÓXIDO DE CARBONO			
	FIGARO		ALPHASENSE	
	TGS 4160 (electroquímico)	TGS 4161 (electroquímico)	D1 (e. sólido)	IRC-A (NDIR)
Tensión de alim.	5.0 ± 0.2 V (DC)	5.0 ± 0.2 V (DC)	no requiere	5.0 V (DC)
Corriente de alim.	250 mA	50 mA	no requiere	60 mA
Potencia	1.25 W	250 mW	no requiere	300 mW
Señal de salida			-15 a 15 mV	60 – 100 mA
EMF a 350 ppm	220 ~ 490 mV	220 ~ 490 mV		
ΔEMF=EMF(350 ppm) – EMF (3.500ppm)	44 ~ 72 mV	44 ~ 72 mV		
Tipo de salida	Logarítmica	Logarítmica	Logarítmica	Lineal
Rango de salida	350 a 50.000 ppm	350 a 10.000 ppm	200 a 95.000 ppm	0 a 5000 ppm
Condiciones de trabajo	-10 a 50 °C 5 a 95 %RH	-10 a 50 °C 5 a 95 %RH	10 a 35 °C 15 a 95 %RH	-20 a 50 °C 0 a 95 %RH

Tabla 3. Comparativa de sensores de CO₂.

Una vez decido que el tipo de sensor que se va a utilizar para nuestra aplicación debe de ser electroquímico, pasamos a decidir qué modelo es el elegido. Se puede observar en la tabla, que las características de los dos sensores electroquímicos son similares aunque con alguna diferencia. Una de ellas y la más importante es el compromiso entre el rango de concentración de CO₂ que queremos detectar y el consumo de cada sensor.

Como se puede apreciar el TGS 4161 detecta un rango hasta los 5000 ppm (0,5%), por tanto creemos que es un rango adecuado para nuestra aplicación. Por otro lado vemos que el consumo del TGS 4161 es cinco veces menor que el consumo del TGS 4160. Sí que es cierto que el sensor TGS 4160 presentan un rango de trabajo cinco veces mayor que el TGS 4161. En esta aplicación, ha prevalecido el criterio del bajo consumo por encima de la detección de un rango más amplio y nos hemos decidido por el TGS 4161.

d) *Sensor seleccionado*

El sensor elegido para la detección de CO₂, que será incorporado en el nodo sensor es el TGS 4161 del fabricante Figaro.

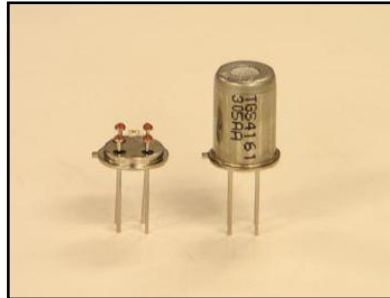


Figura 8. Sensor de CO₂, TGS 4161.

Las principales características del TGS4161 son las siguientes:

- Alta selectividad de CO₂ respecto a otros gases.
- Baja dependencia con la humedad.
- Tamaño reducido.
- Bajo consumo.
- Alta durabilidad.
- Tiempo de respuesta en cambios de CO₂ 1,5 minutos aproximadamente.

Para que el sensor TGS 4161 funcione correctamente requiere un voltaje de calentamiento ($5 \pm 0,2$ V) entre los pins 1 y 4, tal y como se muestra en la siguiente figura:

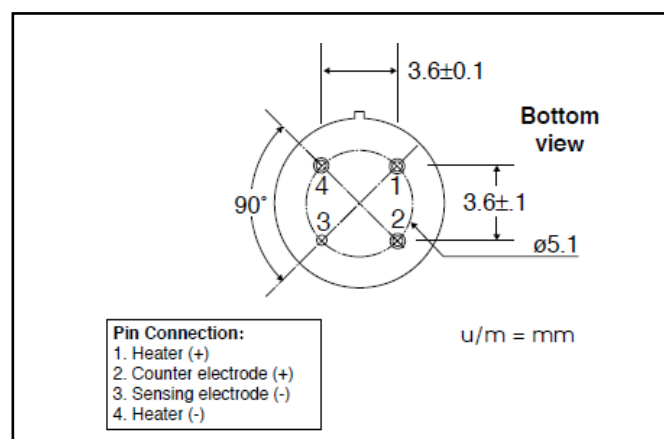


Figura 9. Disposición de los pines del sensor TGS4161.

Mediante una reacción electroquímica el sensor produce una fuerza electromotriz entre los pins 2 y 3. La tensión entre los terminales 2 y 3 exhibe un comportamiento lineal con el logaritmo de la concentración de dióxido de carbono. El fabricante proporciona la siguiente ecuación, que indica la diferencia de fuerzas electromotrices (ΔEMF), se define como:

$$\Delta EMF = EMF1 - EMF2$$

Donde:

EMF1 = EMF a 350 ppm.

EMF2 = EMF a la concentración medida.

La figura 10 muestra esta dependencia lineal así como la alta selectividad al CO₂ con respecto a otros gases.

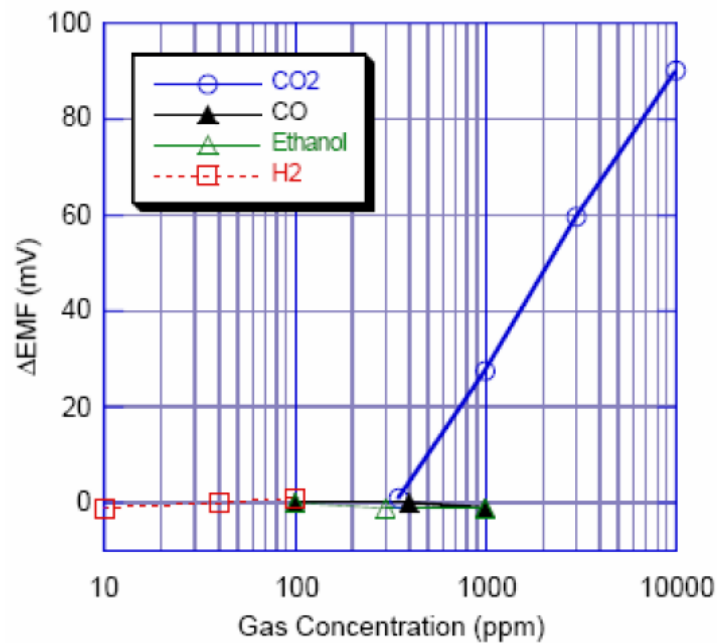


Figura 10. Curva característica del TGS4161.

El sensor muestra una alta dependencia de la EMF absoluta con la temperatura. Por el contrario, ΔEMF se mantiene relativamente constante frente a los cambios de temperatura. La tensión de calentamiento del sensor también es muy determinante en la EMF absoluta. En el diseño del nodo sensor se deberá tener en cuenta que esta tensión sea estable para no introducir errores en la medida.

Debido a que el sensor tiene una impedancia de salida muy elevada el fabricante recomienda en su hoja de especificaciones utilizar un amplificador operacional (como seguidor de tensión) con alta impedancia de entrada (mayor de 100 GΩ) y una corriente de polarización muy pequeña (menor que 1 pA).

4. ELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR

A continuación se exponen los criterios que debe cumplir el microcontrolador (μC):

- Bajo precio.
- Bajo consumo. El microcontrolador será alimentado con baterías y tiene que tener una autonomía suficiente.
- El microcontrolador debe de incorporar un convertidor analógico-digital para poder llevar a cabo las medidas de CO_2 .
- Tiene que permitir incorporar la gestión de un puerto serie. USART para trabajar como mínimo a 9.600 baud/s.

- Un mínimo de X+5 I/O (pines de entrada / salida), una entrada analógica para controlar la salida del circuito de acondicionamiento de la señal, 2 entradas/salidas analógicas para controlar el reloj externo del micro, 2 entradas/salidas para gestionar las señales del puerto serie para controlar el modem GSM.

El microcontrolador elegido es el Arduino, dicho micro se basa en una plataforma denominada open hardware que reúne en una pequeña placa de circuito impreso (PCB) los componentes necesarios para conectar con el mundo exterior.

Actualmente hay muchos modelos de sistemas Arduino que van cambiando de microcontrolador, siendo los primeros el Atmega8 y el Atmega168. Al ser Open-Hardware, tanto su diseño como su distribución son libres. Es decir, puede utilizarse sin inconvenientes para desarrollar cualquier tipo de proyecto sin tener que adquirir ningún tipo de licencia. Si a este gran sumario le agregamos las características de código abierto que brinda el sistema, estamos sin duda ante un producto digno de ser analizado.

Arduino es una familia que ha crecido mucho con el tiempo y ahora tenemos multitud de dispositivos entre los que elegir. Desde las placas mini y nano (normalmente para dejar la placa instalada), pasando por el UNO (la ideal para prototipos, tanto por el precio como por la capacidad), el Mega (si necesitamos más memoria o entradas/salidas) hasta la LilyPad (pensada para proyectos que se cosan en la ropa, por ejemplo: intermitentes para los ciclistas).

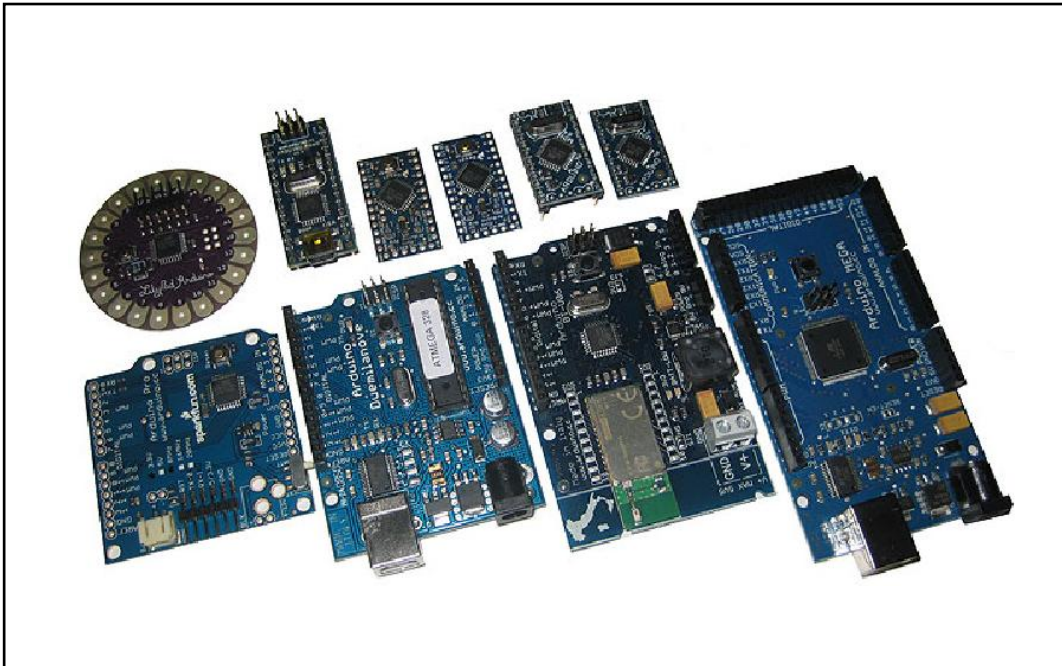


Figura 11. Tipos de placas Arduino.

Todas ellas tienen características en comunes:

- El microcontrolador es un ATmega, de la serie AVR, fabricado por Atmel. Puede ser el 128, 328, 1280, 2560, dependiendo de la capacidad de memoria.
- Tienen un cristal oscilador de 8 o 16 Mhz.
- Tienen un número de entradas y salidas que nos sirven para conectar sensores, actuadores y periféricos.
- Se programan muy fácilmente desde el ordenador, usando normalmente un USB, tantas veces como queramos.
- Tienen una memoria interna que nos servirá para guardar el programa que carguemos.
- Se puede establecer una comunicación con otros dispositivos por medio del puerto serie, SPI o I2C.
- Proporcionan una o varias líneas de alimentación de 5 o 3.3 voltios para controlar leds, motores, servos, sensores.

A continuación se presenta una tabla comparativa de algunos de los modelos que existen en el mercado:

Prestaciones /Arduino	Leonardo	UNO	Ethernet	Mega 2560	PRO	Nano
Microcontrolador	ATmega 32u4	ATmega 328V	ATmega 328	ATmega 256	ATmega 328V	ATmega 168
Tensión de funcionamiento	5 V	5 V	5 V	5 V	5 V	5 V
Tensión de entrada	7 – 12 V	7-12 V	7-12 V	7-12 V	7-12 V	7-12 V
Pines digitales	20	14	14	54	14	14
Pines analógicos	12	6	6	16	6	8
Corriente DC por pin/O	40 mA	40 mA	40 mA	40 mA	40 mA	40 mA
Memoria Flash	32 KB	32 KB	32 KB	256 KB	32 KB	16 KB
SRAM	2.5 KB	2 KB	2 KB	8KB	2 KB	1 KB
EEPROM	1 KB	1KB	1 KB	4 KB	1 KB	512 bytes
Clock Speed	16 Mhz	16 Mhz	16 Mhz	16 Mhz	16 Mhz	16 Mhz
Puerto	Micro USB	USB	RJ45	USB	FTDI	USB Mini-B

Tabla 4. Comparativa de placas Arduino.

Se ha escogido el microcontrolador Arduino UNO R3 en base a los criterios anteriormente comentados, es una placa formada por un microcontrolador Atmel AVR y un IDE, o entorno de desarrollo integrado, basado en el lenguaje de programación Processing/Wiring, considerando que este micro es fácil de programar, tiene la posibilidad de ser alimentado a través de la conexión USB o con una fuente de alimentación externa, además puede proporcionar la tensión necesaria para alimentar a distintos dispositivos de nuestro sistema.



Figura 12. Parte delantera de la placa ARDUINO UNO R3.

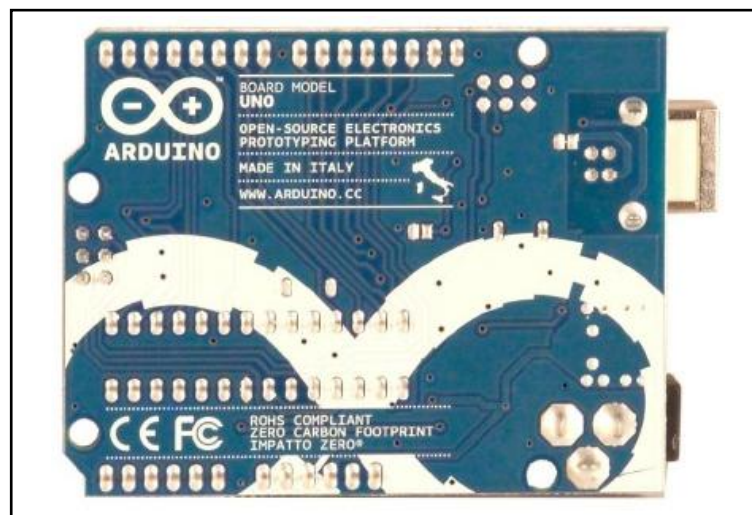


Figura 13. Parte trasera de la placa ARDUINO UNO R3.

4.1. Características de Arduino UNO R3

La placa Arduino UNO R3 difiere de todas las anteriores puesto que no utiliza el chip de controlador de FTDI USB a puerto serie. En cambio, cuenta con el ATmega8U2 programado con un convertidor de USB a puerto serie.

Las características más importantes de este microcontrolador son las siguientes:

- Microcontrolador: ATmega328
- Voltaje operativo de 5 V
- Voltaje de entrada (límites) de 6-20 V
- Convertidor analógico-digital de 10 bits.

- 16Kbytes de memoria flash de los cuales 2Kbytes utilizado por el gestor de arranque
- 512bytes de memoria EPROM para almacenar datos
- 1Kbytes de SRAM interna para realizar operaciones
- Puerto USART programable para comunicarse con el PC u otro dispositivo
- 14 I/O digitales (6 como salidas PWD) y 6 I/O analógicas
- Oscilador de cristal de 16Mhz
- Corriente continua de 50mA

Los elementos de Arduino UNO R3 son:

1.- Microcontrolador ATmega328

Es un microcontrolador de la compañía Atmel que cuenta con 32KB de memoria flash, 2KB de memoria RAM y 1KB de memoria EEPROM. El microcontrolador puede ser utilizado como reemplazo del microcontrolador de las Freeduino o las Arduino Duemilanove o Diecimila o también puede utilizarse para realizar el montaje de una Arduino desde protoboard.

Características:

- + Voltaje de Operación: 5V
- + Memoria Flash: 32 KB de los cuales 512 bytes son utilizados por el bootloader
- + SRAM 2 KB
- + EEPROM 1 KB
- + Velocidad del Reloj 16 MHz
- + Bootloader preinstalado

2.- Boton Reset

Suministrar un valor LOW (0V) para reiniciar el microcontrolador. Típicamente usado para añadir un botón de reset a los shields que no dejan acceso a este botón en la placa.

3.- ICSP

Conector para la programación ICSP (In Circuit Serial Programming, o Programación Serial en circuito). El ICSP es el sistema utilizado en los dispositivos PIC para programarlos sin necesidad de tener que retirar el chip del circuito del que forma parte.

4.- ~PWM

Pines 3, 5, 6, 9, 10 y 11 provee de 8 bits de salida PWM con la función analogWrite(). La modulación por ancho de pulsos (también conocida como PWM, siglas en inglés de pulse-width-modulation) de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica, ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

5.- Serie: 0 (RX) y 1 (TX)

Se utiliza para recibir (RX) y transmisión (TX) datos serie TTL. Estos pines están conectados a los pines correspondientes de la ATmega8U2 USB-to-TTL de chips de serie.

6.- Interrupciones externas

Pines 2 y 3 Estos pines pueden ser configurados para activar una interrupción en un valor bajo, un flanco ascendente o descendente, o un cambio en el valor.

7.- SPI

Los pines 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK), Estos pines sirven de apoyo a la comunicación SPI con la biblioteca de SPI. El Bus SPI (del inglés Serial Peripheral Interface) es un estándar de comunicaciones, usado principalmente para la transferencia de información entre circuitos integrados en equipos electrónicos. El bus de interfaz de periféricos serie o bus SPI es un estándar para controlar casi cualquier dispositivo electrónico digital que acepte un flujo de bits serie regulado por un reloj.

8.- GND

Pines de tierra. Abreviación de Ground que traducido al español es Tierra y en el contexto de la electrónica significa el común del circuito adonde se supone que existe 0 voltios.

9.- AREF

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

10.- USB

El Arduino Uno tiene una serie de facilidades para comunicarse con una computadora, Usando los canales de comunicación de esta serie a través de USB y aparece como un puerto COM virtual en el ordenador. Utiliza el estándar de los controladores USB COM, y no necesita ningún controlador externo. Sin embargo, en Windows es necesario un archivo .inf. El RX y TX LED de la placa parpadean cuando se transmiten datos a través del USB al chip serie y viceversa.

11.- Conector de alimentación

Plug hembra de 2.1mm para la conexión de alimentación en la placa.

12.- Reset

Suministrar un valor LOW (0V) para reiniciar el microcontrolador. Típicamente usado para añadir un botón de reset a los shields que no dejan acceso a este botón en la placa.

13.- 3.3 V

Una fuente de voltaje a 3.3 voltios generada en el chip FTDI integrado en la placa. La corriente máxima soportada 50mA.

14.- 5V

La fuente de voltaje estabilizado usado para alimentar el microcontrolador y otros componentes de la placa. Esta puede provenir de VIN a través de un regulador integrado en la placa, o proporcionada directamente por el USB o otra fuente estabilizada de 5V.

15.- GND

Pines de toma de tierra.

16.- VIN

La entrada de voltaje a la placa Arduino cuando se está usando una fuente externa de alimentación (en opuesto a los 5 voltios de la conexión USB). Se puede proporcionar voltaje a través de este pin, o, si se está alimentado a través de la conexión de 2.1mm, acceder a ella a través de este pin.

17.- Analog In

El Uno tiene 6 entradas analógicas, y cada una de ellas proporciona una resolución de 10bits (1024 valores). Por defecto se mide de tierra a 5 voltios, aunque es posible cambiar la cota superior de este rango usando el pin AREF y la función `analogReference()`.

18.- Cristal.

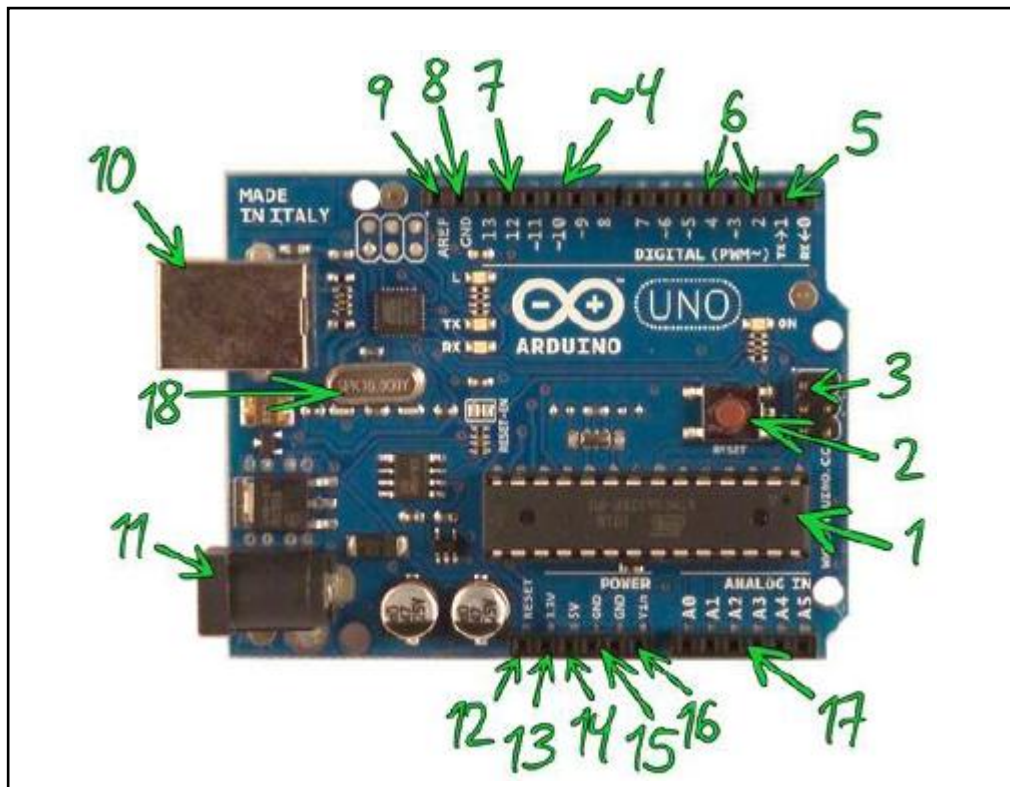


Figura 14. Identificación de elementos Arduino UNO R3.

5. MÓDEM GSM

El módem GSM es la parte que comunicará nuestro sistema con el mundo exterior. En la elección del módem, pese a ser una de las partes más importante de nuestro proyecto, no se han tenido en cuenta muchos parámetros, ya que todos los módems GSM cumplen los mínimos requisitos necesarios.

El módem GSM elegido es del fabricante Cinterion (siemens), modelo TC65T, dotado con interfaz RS-232, conector de antena, soporte para tarjeta SIM, LED indicador de estado y alimentación mediante un adaptador 220V AC-12V DC. Se ha elegido este modelo porque ya se disponía de él, además de conocer su funcionamiento y cumple con los requisitos necesarios para el desarrollo del proyecto.

En la figura 15, se puede observar al módem Cinterion TC65T, el cual es un equipo GSM/GPRS Quad-band de 850/900/1800/1900 Mhz.



Figura 15. Módem Cinterion TC65T.

Las características generales de este equipo son:

- Quad band: 850/900/1800/1900 Mhz.
- Tecnología GSM.
- Acceso a través de comandos AT Hayes GSM 07.05 y GSM 07.07.
- Tarjeta SIM.
- Rangos de voltaje de alimentación: +8V a +30V DC.
- Modo Power Save (modo de ahorro de energía).
- Dimensiones: 130mm x 90mm x 38mm.
- Peso < 190g.
- Rango de temperatura ambiental: -30°C a 65°C.

Entre las especificaciones para SMS se pueden destacar:

- Punto a punto MT (Mobile Terminated) y MO (Mobile Originated).
- SMS cell broadcast. (Entrega simultánea de mensajes a múltiples usuarios)
- Modo texto y modo PDU.

Además se deberá conectar una antena GSM a la salida del módem. En caso de no hacerlo, no se garantizaría conectarse a la red con la suficiente calidad.

6. Periféricos

6.1. Reloj DS 1307

Actualmente, cuando realizamos un proyecto que requiere cierto nivel de flexibilidad, pensar en utilizar un microcontrolador siempre es una buena idea, pero teniendo en cuenta que si el proyecto lo requiere es interesante la inserción de un RTC, es decir, un reloj en tiempo real. Sin embargo, también es cierto que en estos proyectos, estamos limitados a cierto número de E/S y es entonces cuando se hace necesario el uso del I²C bus, el cual nos dará un gran servicio, simplemente con el uso de dos hilos o patillas del proyecto.

El DS1307 es un reloj/calendario de baja potencia, completo con 56 bytes de SRAM no-volátil, provee información de segundos, minutos, horas, día, fecha, mes y año. La fecha al final del mes durante los meses con menos de 31 días, se ajusta automáticamente e incluye las correcciones para el año bisiesto. El reloj funciona en cualquiera de los formatos de hora 24 o 12 horas con indicador AM/PM. El DS1307 tiene un circuito integrado en el sensor de energía que detecta los fallos de alimentación y cambia automáticamente a la fuente de respaldo de seguridad.

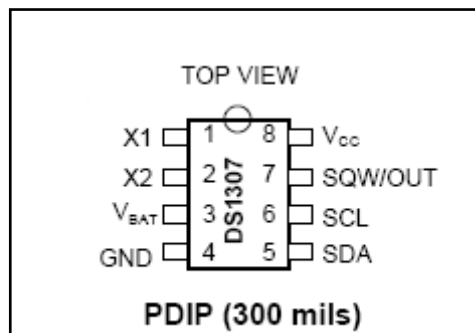


Figura 16. DS 1307.

El acceso a los datos, se obtiene mediante la aplicación de una condición de inicio (start) y la prestación de un código de identificación del dispositivo (0x68), seguido de una dirección de registro. Los registros posteriores se pueden acceder de forma secuencial. El DS1307 viene en un paquete de 8-pines DIP, además de otros formatos. El DS1307 cuenta en formato BCD.

El DS1307 utiliza un cristal externo de 32.768kHz. El circuito oscilador no necesita resistencias o condensadores externos para funcionar.

Usando Arduino UNO R3 con el Atmega328 y un DS1307 (real time clock), se ha puesto en funcionamiento el DS1307 por medio de dos cables (I²C) o pines digitales D4 y D5 de Arduino (pines SDA y SCL). Nuestro reloj dispone una batería del tipo botón de 3.2V la cual mantendrá el oscilador interno cuando desconectemos la tensión de alimentación.

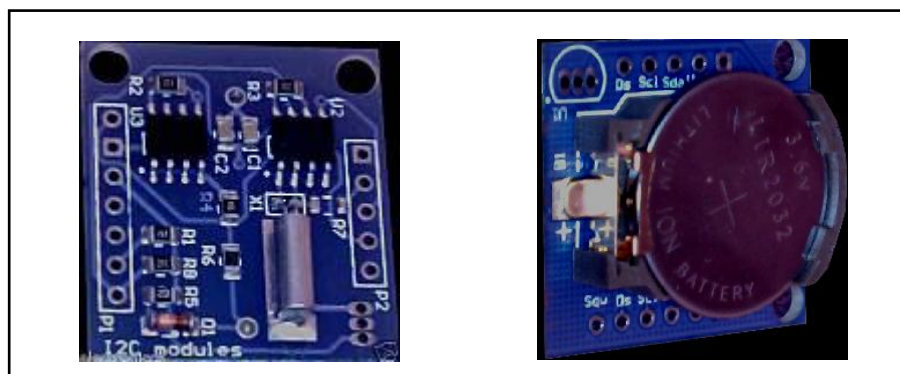


Figura 17. Frontal y Bajo del Reloj.

6.2. Convertidor RS232-TTL

El módem GSM elegido tiene integrada una interfaz para puerto serie RS-232, por lo que se implementará mediante la UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) del Arduino, una comunicación serie con el módem.

Sabemos que los niveles de tensión RS232 son de +/- 12V, mientras que los de nuestro microcontrolador son señales TTL (0-5 V), así que obligatoriamente necesitamos un conversor de niveles de tensión que suelen implementarse con un max232, tal y como se presenta en la siguiente figura:

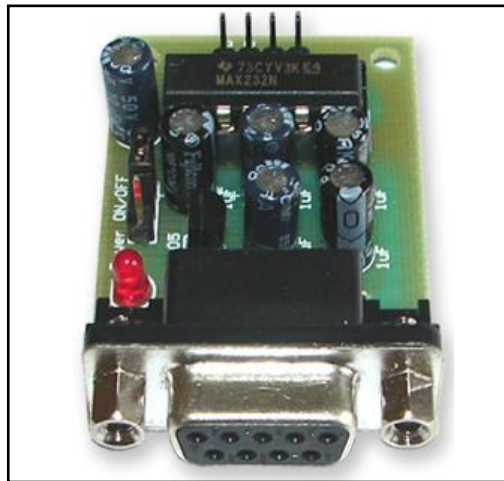


Figura 18. Convertidor TTL-RS232.

Los parámetros elegidos para esta comunicación serie serán los siguientes:

- 19200 bps.
- 8 bits de datos.
- Ningún bit de paridad.
- 1 bit de stop.

La conexión entre el microcontrolador Arduino y el conversor TTL-RS232 será como indica la siguiente figura:

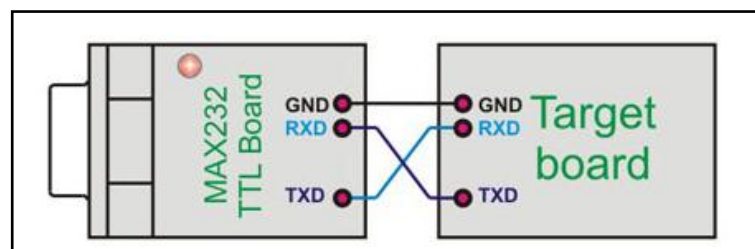


Figura 19. Conexión Arduino-Convertidor.

6.3. Memoria externa

Los datos recogidos por nuestro sistema a lo largo del día necesitan ser almacenados, el microcontrolador Arduino no dispone de memoria suficiente para el almacenamiento de ficheros, teniendo entonces la necesidad de incluir en nuestro proyecto un sistema de almacenamiento de la información.

Para ello vamos a utilizar una tarjeta SD (Secure Digital) que es un formato de tarjeta de memoria que se utiliza para dispositivos portátiles tales como PDA, cámaras digitales, microcontroladores, teléfonos móviles o videoconsolas, entre muchos otros.

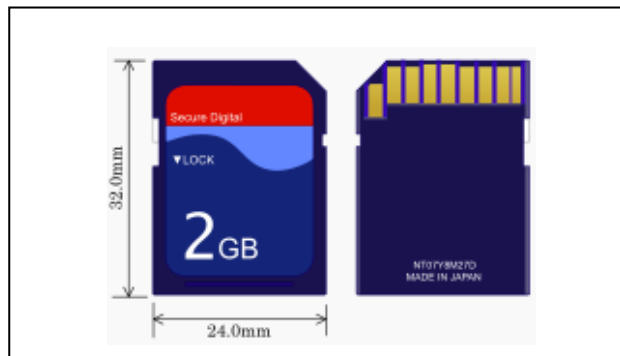


Figura 20. Tarjeta SD.

Estas tarjetas tienen unas dimensiones de 32 mm x 24 mm x 2,1 mm. Existen dos tipos: unas que funcionan a velocidades normales, y otras de alta velocidad que tienen tasas de transferencia de datos más altas. Todas las tarjetas de memoria SD necesitan soportar el antiguo modo SPI/MMC que soporta la interfaz de serie de cuatro cables ligeramente más lenta (reloj, entrada serial, salida serial y selección de chip) que es compatible con los puertos SPI en muchos microcontroladores.

Existen 3 modos de transferencia soportados por SD:

- Modo SPI: entrada separada serial y salida serial.
- Modo un-bit SD: separa comandos, canales de datos y un formato propietario de transferencia.
- Modo cuatro-bit SD: utiliza terminales extra más algunos terminales reasignados para soportar transferencias paralelas de cuatro bits.

Las tarjetas de baja velocidad soportan tasas de transferencia de 0 a 400 Kbps y modo de transferencia un-bit SD, mientras que las tarjetas de alta velocidad soportan tasas de transferencia de 0 a 100 Mbps en el modo de cuatro-bit, y de 0 a 25 Mbps en el modo un-bit SD.

Para poder interactuar con el sistema de almacenamiento elegido, necesitamos un módulo lector de tarjetas SD compatible con Arduino, con las siguientes características:

- Voltaje de entrada: 3.3V o 5V.
- SPI fija hacia fuera: MOSI, SCK, MISO y CS, para la conexión adicional.
- A través de la programación se puede leer y escribir a la tarjeta SD usando Arduino.

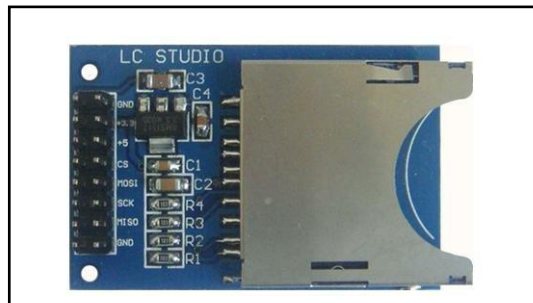


Figura 21. Lector de tarjeta SD.

7. Comunicaciones Móviles GSM

Los sistemas de telecomunicaciones se pueden clasificar según el medio de propagación:

- Comunicaciones Terrestres

Son aquellas que se establecen debido a la existencia de algún tipo de línea física de transmisión entre el emisor y el receptor como medio de propagación, estos pueden ser cables de cobre, cable coaxial, guías de ondas, fibra óptica, par trenzado, etc.

Uno de los sistemas terrestres más comunes y conocidos es la Red Telefónica Conmutada (RTC), que utiliza como medio de transmisión el par trenzado de cobre.

Otros de los sistemas terrestres más utilizados es la red de fibra óptica, esto debido a las largas distancias que se pueden cubrir sin necesidad de un repetidor ya que las pérdidas en la fibra óptica son muy bajas en comparación con otros medios de transmisión.

- Comunicaciones Radioeléctricas

Son aquellas que utilizan como medio de propagación la atmósfera terrestre, transmitiendo las señales en ondas electromagnéticas, ondas de radio, microondas, etc. Dependiendo esto de la frecuencia a la cual se transmite.

- Comunicaciones Satelitales

Son aquellas comunicaciones radiales que se realizan entre estaciones espaciales, entre estaciones terrenas con espaciales o entre estaciones terrenas usando una estación espacial como repetidora para la retransmisión de la información. Las estaciones espaciales se encuentran a distintas alturas fuera de la atmósfera dependiendo de la órbita en la que se encuentren.

Para la implementación de este proyecto se podría haber elegido cualquiera de los sistemas de telecomunicación expuestos anteriormente, decantándonos por utilizar el Sistema de Comunicaciones Radioeléctricas, más concretamente el Sistema Global para las comunicaciones Móviles (red GSM). Actualmente en España existe un índice de penetración de la telefonía móvil de un 100%, además, el 98% del territorio poblado español cuenta con cobertura GSM. Teniendo en cuenta el bajo coste, el fácil manejo y el gran número de usuarios telefónicos móviles, se hace idóneo para proyectos de control y/o supervisión a distancia.

7.1. Red GSM

El sistema GSM es el sistema de comunicación móviles digital de 2ª generación basado en células de radio. Apareció para dar respuestas a los problemas de los sistemas analógicos. Fue diseñado para la transmisión de voz por lo que se basa en la conmutación de circuitos, aspecto en el que se diferencia del sistema GPRS. Al realizar la transmisión mediante conmutación de circuitos los recursos quedan ocupados durante toda la comunicación y la tarificación es por tiempo.

Un cliente GSM puede conectarse a través de cualquier dispositivo compatible con GSM y enviar y recibir mensajes por correo electrónico, faxes, navegar por Internet, acceder con seguridad a la red informática de una compañía (red local/Intranet), así como utilizar otras funciones digitales de transmisión de datos, incluyendo el servicio de mensajes cortos (SMS) o mensajes de texto.

7.2. Arquitectura de una red GSM

Todas las redes GSM se pueden dividir en cuatro partes fundamentales y bien diferenciadas:

a) Estación Móvil o Mobile Station (MS)

Consta a su vez de dos elementos básicos que debemos de conocer, por un lado el terminal o equipo móvil y por otro lado la tarjeta SIM. La principal diferencia que existe entre unos terminales u otros radica fundamentalmente en la potencia que tienen, que va desde los 20 W (generalmente instalados en vehículos móviles) hasta los 2 W de los teléfonos comunes.

Una de las características principales del estándar GSM es el módulo de identidad del suscriptor, conocida comúnmente como tarjeta SIM. La tarjeta SIM es una tarjeta inteligente desmontable que contiene la información de suscripción del usuario, parámetros de red y directorio telefónico. Esto permite al usuario mantener su información después de cambiar su teléfono. Paralelamente, el usuario también puede cambiar de operador de telefonía, manteniendo el mismo equipo simplemente cambiando la tarjeta SIM. Algunos operadores introducen un bloqueo para que el teléfono utilice un solo tipo de tarjeta SIM, o sólo una tarjeta SIM emitida por la compañía donde se compro el teléfono, esta práctica se conoce como bloqueo de SIM, y es ilegal en algunos países.

b) El Subsistema de Conmutación y Red o Network and Switching Subsystem(NSS)

También llamado núcleo de red (core network), es la capa lógica de enrutamiento de llamadas que se realizan entre los diferentes usuarios de la red y almacenamiento de datos. Desarrolla las siguientes funciones:

- Enrutar las transmisiones al BSC en que se encuentra el usuario llamado (central de conmutación móvil o MSC).
- Dar interconexión con las redes de otros operadores.
- Dar conexión con el subsistema de identificación de abonado y las bases de datos del operador, que dan permisos al usuario para poder usar los servicios de la red según su tipo de abono y estado de pagos (registros de ubicación base y visitante, HLR y VLR).

c) La Estación Base o Base Station Subsystem (BSS) (División en celdas)

Sirve para conectar a las estaciones móviles con los NSS, además de ser los encargados de la transmisión y recepción. Como los MS también constan de dos elementos diferenciados: La Base Transceiver Station (BTS) o Base Station y la Base Station Controller (BSC). La BTS consta de transceivers y antenas usadas en cada célula de la red y que suelen estar situadas en el centro de la célula, generalmente su potencia de transmisión determinan el tamaño de la célula.

d) Los Subsistemas de soporte y Operación o Operation and Support Subsystem (OSS)

Los OSS se conectan a diferentes NSS y BSC para controlar y monitorizar toda la red GSM. La tendencia actual en estos sistemas es que, dado que el número de BSS se está incrementando se pretende delegar funciones que actualmente se encarga de hacerlas el subsistema OSS en los BTS de modo que se reduzcan los costes de mantenimiento del sistema.

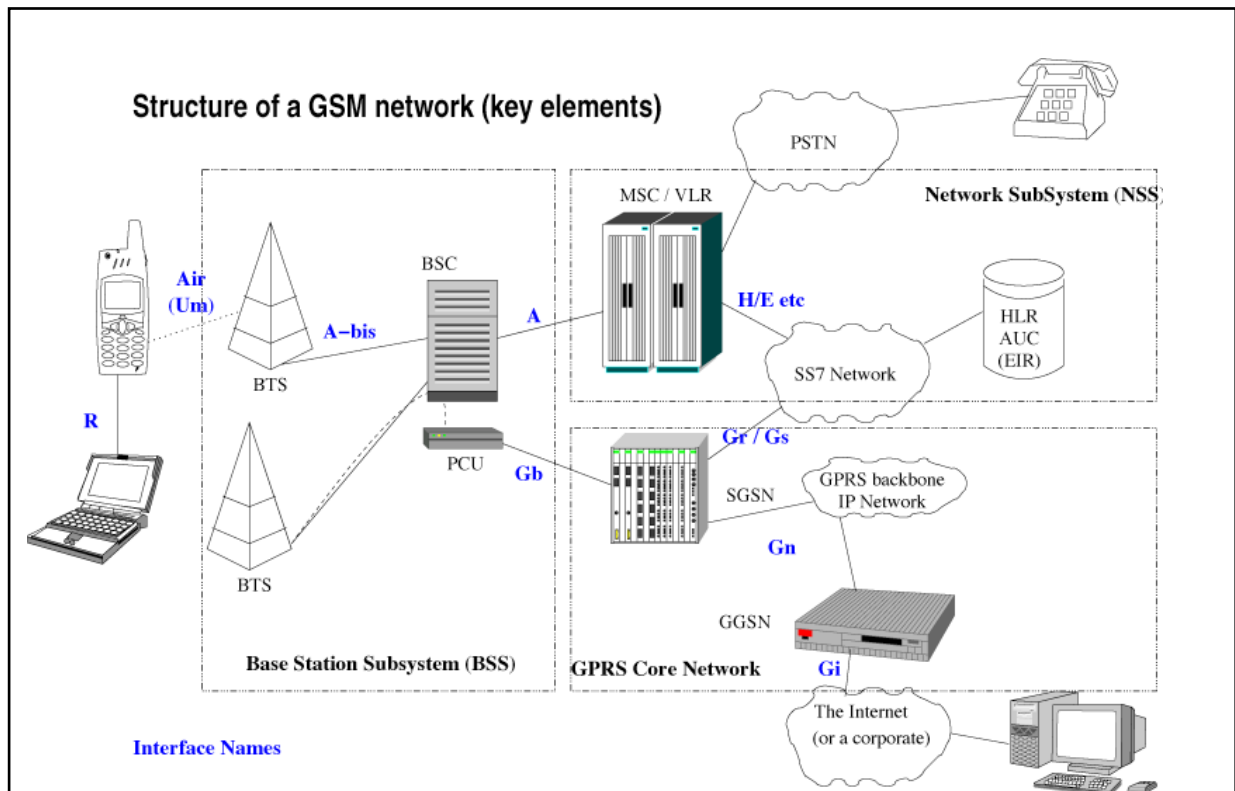


Figura 22. Estructura de la red GSM.