

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electrónica



Red de sensores para la detección de Humo a campo abierto

Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en
Electrónica con el grado académico de Licenciatura

Esteban Quesada Vargas

200500409

Cartago, Abril 2012

Escuela de Ingeniería Electrónica
Proyecto de Graduación
Tribunal Evaluador

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del tribunal evaluador


Ing. Juan Scott Chavez Noguera (M.Sc.)
Profesor lector
Ing. Faustino Montes de Oca Murillo (Lic.)
Profesor lector
Ing. Néstor Hernández Hostaller (M.Sc.)
Profesor Asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica.

Cartago, 18 de abril de 2012

ÍNDICE DE CONTENIDO

Capítulo 1 :Entorno del proyecto.....	9
Capítulo 2 :Definición del Problema.....	11
2.1 Generalidades.....	11
2.2 Síntesis del problema.....	11
Capítulo 3 :Meta y objetivos.....	12
3.1 Meta.....	12
3.2 Objetivo General	12
3.3 Objetivos Específicos.....	12
Capítulo 4 :Procedimiento Metodológico.....	14
4.1 Reconocimiento y definición del problema.....	14
4.2 Obtención y análisis de información	14
4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución	15
4.4 Implementación de la solución	16
4.5 Reevaluación y rediseño.....	18
Capítulo 5 :Descripción detallada de la solución.....	19
5.1 Análisis de soluciones y selección final.....	19
5.2 Descripción del Hardware.....	19
5.2.1 Figaro TGS 800.....	19
5.2.2 Waspote V1.1.....	22
5.3 Descripción del software.....	24
5.3.1 Programación Xbee 802.15.4.....	24
5.3.2 Programación waspote V1.1.....	25
Capítulo 6 :Análisis de resultados.....	29
6.1 Caracterización del sensor.....	29
6.2 Detección y propagación.....	32
Capítulo 7 :Conclusiones y recomendaciones.....	42

<i>7.1 Conclusiones</i>	42
<i>7.2 Recomendaciones</i>	42
Bibliografía	44
Apéndices	46
<i>Apéndice 1 Glosario</i>	46
<i>Apéndice 2 Manual de usuario</i>	48
Anexos	50
<i>Anexo 1 Figaro TGS 800</i>	50
<i>Anexo 2 Waspnote V1.1</i>	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama interno TGS 800.....	20
Figura 2: Curvas características TGS 800.....	20
Figura 3: Circuito de conexión TGS 800.....	21
Figura 4: Vista superior Waspote V1.1.....	22
Figura 5: Vista inferior Waspote V1.1.....	23
Figura 6: Módulo Xbee protocolo 802.15.4.....	24
Figura 7: Mediciones en aire del sensor TGS 800.....	30
Figura 8: Diagrama de bloques del sistema detector de humo.....	32
Figura 9: Diagrama de prueba realizada en campo abierto.....	33
Figura 10: Fuente de humo vista desde el sur.....	34
Figura 11: Propagación de humo.....	35
Figura 12: Vista de la propagación de humo, tomada desde el noreste.....	36
Figura 13: Ubicación de la planta	37
Figura 14: Mediciones para el sensor 1.....	38
Figura 15: Propagación del humo al inicio de la prueba, con mediciones entre 1 y 40 ppm...39	
Figura 16: Propagación de humo para las mediciones entre 10 y más de 100 ppm.....40	
Figura 17: Propagación de humo para concentraciones entre 40 y más de 100 ppm.....41	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de hardware Waspote V1.1.....	23
Tabla 2: Características eléctricas Waspote V1.1.....	24
Tabla 3: Parámetros para la programación de los módulos Xbee.....	25
Tabla 4: Tensión en la resistencia de carga del sensor TGS800.....	29
Tabla 5: Análisis estadístico del sensor TGS 800en estado estable.....	31
Tabla 6: Tensión de salida y resistencia interna para distintas concentraciones de humo.....	32

Declaratoria de autenticidad

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago 18 de abril del 2012



Esteban Quesada Vargas

4-194-083

Resumen

Los incendios forestales son un problema que causa grandes daños al medio ambiente, pone en riesgo vidas de seres humanos y genera pérdidas económicas.

Dadas las grandes extensiones de terreno, en la mayoría de casos se advierte del problema cuando esta fuera de control y se puede catalogar como incendio, por esto es indispensable la detección temprana que permita actuar y evitar una emergencia.

Por esta razón la escuela de Ingeniería Electrónica mantiene un programa de investigación, para determinar la viabilidad de la detección a campo abierto, mediante el uso de distintas técnicas. Por tanto se desea evaluar si la detección por medio de humo es un método efectivo para la detección temprana, que permita su implementación a gran escala.

Palabras claves: Transductor, humo, combustión, red, nodo, electrodo, concentración.

Capítulo 1 : Entorno del proyecto

Los incendios forestales afectan de manera negativa al medio ambiente por la deforestación, la erosión, la pérdida de la biodiversidad, la generación de CO₂ y otros gases contaminantes que contribuyen al efecto invernadero; afectando de forma significativa el paisaje y el hábitat de la fauna silvestre. Lo anterior debido a que un bosque dura décadas en recuperarse o en algunas ocasiones el daño es irreversible.

El problema en nuestro país según Barboza (2008):

En nuestro país los incendios forestales son uno de los factores que durante décadas ha causado la destrucción del bosque tropical seco. El balance de los últimos 12 años indica que en el trópico seco del país, en promedio, unas 33.000 hectáreas han sido afectadas anualmente por el fuego, y de esa área, cerca de 4.500 hectáreas por año han sufrido fuego dentro de las Áreas Silvestres Protegidas.

A pesar de los grandes esfuerzos para prevenir y controlar los incendios, no se cuenta con información sistematizada, sobre consecuencias ecológicas de los mismos en esta región. Sin obviar el problema de que se hace referencia principalmente a la superficie y vegetación que visiblemente ha sido afectada por el fuego, subestimándose así las consecuencias, pues este trasciende lo visible y frecuentemente los daños son mucho más severos de lo que el ojo común percibe.

Por lo tanto, la prevención del fuego es de vital importancia para disminuir la incidencia de incendios forestales, sin embargo, no siempre es posible evitarlos, como por ejemplo los más recientes ocurridos en Chirripó y Santa Rosa.

Debido a lo anterior, se vuelve trascendental la detección temprana, ya que esta permite detener la propagación y actuar antes que llegue a estar fuera de control y se convierta en una emergencia; evitando arriesgar vidas humanas y minimizando las

consecuencias económicas, ambientales y sociales.

Con base en lo anterior, es aquí donde cobra importancia el desarrollo del proyecto de Ingeniería Electrónica que permite la detección temprana de incendios a campo abierto. La escuela de Ingeniería Electrónica ha desarrollado investigaciones y proyectos para bosques, entre ellos la detección de tala y caza ilegales mediante el análisis de sonidos producidos por disparos y motosierras. Además, detección del fuego vía infrarroja, utilizando cámaras de vídeo, proyectos de alimentación de energía para una red de sensores, entre otros.

Todos estos proyectos poseen cosas en común, y algunos avances pueden ser reutilizados, sin embargo ninguno de estos se he enfocado en detección de humo a campo abierto, que permita poder determinar eficazmente la presencia de fuego, en fase inicial.

Los bosques de nuestro país presentan condiciones de humedad relativa promedio de un 75%, con una oscilación del 10% y temperaturas que oscilan entre los 10° y 34° celsius, dependiendo de la altitud. Estas características son fundamentales para el desarrollo del proyecto, ya que las variaciones de temperatura y humedad afectan el funcionamiento de los dispositivos electrónicos; por ejemplo, el ruido térmico afecta la transmisión inalámbrica, causando errores en envío de información. También, para la propagación de la señal se utiliza el modelo en espacio libre, en la cual deben tomarse en cuenta la potencia del transmisor, la ganancia y área efectiva de la antena, las pérdidas de inserción y espacio libre.

Dadas las características geográficas de nuestro país es importante recordar que existe un gran porcentaje del territorio que es irregular, esto es de vital importancia en la comunicación, dado que las montañas, árboles y otros elementos entre el emisor y receptor dispersan la señal, provocando que un nodo quede incomunicado, por esto se deben determinar los puntos estratégicos, mediante el análisis y observación de un experto.

Capítulo 2 : Definición del Problema

2.1 *Generalidades*

Los incendios forestales son un problema mundial que genera pérdidas humanas, económicas, agrícolas y áreas de conservación natural. Existen muchas formas de prevención contra los incendios, sin embargo es imposible evitar que se den, por lo que se precisa de un sistema que permita alertar la presencia de un fuego incipiente, que a largo plazo pueda convertirse en una emergencia.

El problema consiste en que los sistemas desarrollados para la detección temprana no son totalmente efectivos, por lo que la Escuela de Ingeniería Electrónica, mantiene un proyecto de investigación para tal efecto, el cual mediante el análisis, estudio, investigación y experimentación de dispositivos, tecnologías y metodologías, logrará desarrollar un sistema efectivo, que permita la actuación inmediata sobre un fuego en fase inicial, evitando de esta manera que se convierta en un incendio forestal con sus respectivas consecuencias anteriormente mencionadas.

2.2 *Síntesis del problema*

La Escuela de Ingeniería Electrónica bajo el proyecto de investigación en bosques, no ha desarrollado un sistema efectivo que permita la detección temprana de incendios forestales.

Capítulo 3 : Meta y objetivos

3.1 *Meta*

Desarrollar una red de nodos que permita la detección de humo en campo abierto, procedente de la fase inicial de un incendio forestal.

3.2 *Objetivo General*

Obtener mediante un proceso de investigación y experimentación, conocimiento que permita realizar un avance cualitativo, en el proyecto para la detección temprana de incendios forestales, mediante el análisis del comportamiento, propagación y detección de humo a baja altura.

3.3 *Objetivos Específicos*

3.3.1 Encontrar los puntos estratégicos en los que se pueda presentar la mayor concentración de humo, mediante la observación y análisis de la propagación del mismo, procedente de una fuente de origen orgánico.

3.3.2 Obtener y caracterizar la respuesta de un sensor para la detección de humo a campo abierto.

3.3.3 Desarrollar un dispositivo que permita medir la concentración de humo en campo abierto, para determinar si por medio este, se puede detectar la presencia de un incendio en fase temprana.

3.3.4 Generar la documentación que permita a los usuarios, utilizar el prototipo para la detección de humo a campo abierto.

Capítulo 4 : Procedimiento Metodológico

4.1 *Reconocimiento y definición del problema*

Los incendios forestales son una amenaza para la conservación del medio ambiente. La detección de los mismos, se puede realizar por distintos métodos. Para efectos del proyecto, el interés se centra en la detección del humo, dado que en la combustión de madera, el humo es un producto abundante, generalmente visible, y que además, se propaga en el aire.

Comercialmente se pueden encontrar dispositivos capaces de detectar humo, sin embargo, su utilidad es únicamente en interiores de casas o edificios. Por tanto es necesario encontrar transductores adecuados para exteriores y verificar su funcionamiento en un entorno similar a un bosque, tomando en cuenta un conjunto de factores como la dirección e intensidad del viento, la geografía, entre otros.

4.2 *Obtención y análisis de información*

Por la naturaleza y novedad del proyecto, no se ha encontrado información de carácter bibliográfico sobre el problema de investigación del mismo; solo fue posible encontrar documentación sobre los distintos dispositivos de hardware utilizados en él (nodos, transductores). Por lo tanto, la obtención de información se basa principalmente en la experimentación, que se ha desarrollado a lo largo del proyecto.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución

Para la detección de humo existen diversas técnicas, entre ellas se puede mencionar la dispersión de la luz. Esta consiste en una fuente de luz generalmente láser, una superficie reflectora y un receptor; al haber en suspensión partículas de humo la luz se dispersa y llega con menor intensidad al receptor.

Este sistema es utilizado en alarmas para interiores, donde la concentración de humo es lo suficientemente alta como para disminuir la intensidad de luz en el receptor, sin embargo, para efectos del proyecto en bosques no es una alternativa apropiada, debido a la poca sensibilidad. Además, puede ser susceptible a falsas alarmas por presencia de polvo y luz natural. Esta alternativa fue desarrollada en un proyecto del curso Laboratorio de Comunicaciones Eléctricas, de la Escuela de Ingeniería Electrónica, mediante un Led y una foto resistencia, por lo que las conclusiones descritas anteriormente, son el resultado de la implementación del mismo.

Otra técnica es la ionización, que consiste en colocar dos electrodos cerca de una fuente de partículas alfa, generalmente producidas con el isótopo americio 231; las partículas alfa permiten el flujo de corriente eléctrica entre ambos electrodos mediante la ionización del aire. Al haber presencia de humo las partículas alfa son absorbidas, por tanto el flujo de corriente eléctrica entre los dos electrodos disminuye. Este método tiene la ventaja de un bajo consumo de energía, lo que permite a su vez, bajo mantenimiento, sin embargo, los transductores no son fáciles de conseguir en el mercado, porque en la mayoría de ocasiones, vienen incorporados en un sistema de alarma contra incendios, y no se pueden conseguir individualmente.

Finalmente, la técnica descrita en este proyecto para la detección de humo, es por medio de transductores de dióxido de estaño (SnO_2), que trabajan como una

resistencia que varía en función de la concentración del gas; lo que permite, a través de un nodo capaz de realizar la conversión analógico digital, procesar la información y enviarla a una central. Y de este modo, realizar la detección temprana de humo a campo abierto.

Para poder procesar la información del transductor se requiere de un nodo con la capacidad de realizar una conversión analógica digital, transmitir información a un enrutador o gateway, que posea bajo consumo de energía, control del sistema de alimentación, control y programación desde un sistema remoto. Además se requiere de un receptor que permita mostrar los resultados en un computador para proceder a las acciones pertinentes, en el caso de una alarma o mantenimiento del nodo. Todas las características necesarias para el funcionamiento del proyecto las posee el kit waspmote marca libelium, que fueron obtenidos por la Escuela de Ingeniería Electrónica para tal efecto, por tanto no se evaluaron otras alternativas.

4.4 Implementación de la solución

La Escuela de Ingeniería Electrónica bajo los distintos programas de investigación, proyectos de laboratorio y donaciones ha adquirido componentes de hardware, como es el caso de los nodos Waspote V1.1 los sensores MQ2, MQ6 y TGS 800, mismos que son indispensables para la detección de humo en bosques.

Los MQ2 y MQ6 están disponibles en la Escuela de Ingeniería Electrónica, sin embargo su uso no fue implementado en ningún proyecto, por lo que no se tenía mayor información, que el de la hoja de datos del fabricante. Por tanto, fue necesario un estudio minucioso de hojas de datos, mismas que presentan información escasa y poco detallada.

Para determinar el comportamiento del humo se procedió a realizar múltiples

pruebas en distintos escenarios, para encontrar mediante la observación, los factores que van a influir en forma directa en la propagación. Esto permitió mediante el análisis de la información establecer las zonas donde la incidencia y concentración de humo son mayores, es decir las más efectivas para colocar los nodos.

Al encontrar las zonas de mayor influencia del humo, se procedió a caracterizar la respuesta del sensor para obtener la relación entre la tensión de salida y la concentración en partículas por millón correspondiente, este proceso es descrito en la sección 8.1.

Al tener la relación tensión-concentración, se pudo programar el nodo waspmote con la ayuda de las hojas de datos que provee el fabricante, mediante el conocimiento de los comandos que permiten; leer los puertos analógico, digital, enviar por medio de la UART al transmisor inalámbrico, leer la carga de la batería, obtener la temperatura, e hibernar el nodo para conservar energía.

El Waspote se programó primero con rutinas sencillas para verificar funciones como las descritas anteriormente, de este modo se fueron integrando todas las funciones necesarias para el correcto y óptimo funcionamiento del dispositivo.

Una vez realizados los pasos anteriores finalmente se conectó el transductor con el Waspote V1.1, y se realizaron pruebas a campo abierto para la detección de humo procedente de un fuego en fase inicial.

4.5 *Reevaluación y rediseño*

La sensibilidad del sensor MQ2 permite la detección de concentraciones de los gases entre 200 y 10000 ppm, al realizar pruebas se pudo establecer una alarma únicamente cuando el sensor se encontraba cerca de la fuente de humo. Como primer paso para la verificación del funcionamiento del circuito, programación y configuración se obtuvo un buen resultado. Sin embargo para efectos de la detección de humo en bosques se requiere una respuesta a una concentración menor, por eso fue necesario el cambio a los transductores Figaro TGS 800. Sin embargo los sensores de SnO_2 para la implementación de un sistema remoto, ya sea detección de humo u otros gases, presentan el inconveniente de consumir entre 600 y 800 mW, lo que requiere una fuente de alimentación por paneles solares y o baterías muy costosa.

Así mismo, para la implementación del proyecto a gran escala se debe evaluar la sustitución del Wasp mote por dispositivos de menor costo, que hagan que el proyecto sea económicamente viable.

Capítulo 5 : Descripción detallada de la solución

5.1 *Análisis de soluciones y selección final*

Cada una de las alternativas de la solución posee ventajas y desventajas, por parte de la detección óptica, se tiene la ventaja de ser un método de bajo costo y fácil implementación sin embargo, no presenta una respuesta a concentraciones bajas como las que se requieren para la detección temprana.

La otra solución es por medio de un transductor cuyo funcionamiento se basa en la ionización del aire, este método es el ideal para la detección remota por sus características eléctricas y sensibilidad, sin embargo, no ha sido posible adquirirlos de forma individual, por lo que se deja como alternativa para una futura implementación.

Dado que la Escuela de Ingeniería Electrónica había adquirido los sensores MQ2, MQ6 y TGS 800 y los módulos Waspote V1.1, se decidió que eran la mejor alternativa como solución al problema, por aspectos de tiempo y de carácter económico, dado que inicialmente lo que se desea es comprobar que se puede detectar un incendio en fase temprana por medio del humo generado en la combustión de la madera.

5.2 *Descripción del Hardware*

5.2.1 *Figaro TGS 800*

Son los transductores utilizados para determinar la concentración de humo en el aire, estos consisten en un tubo de cerámica con una capa de SnO₂, como se puede observar en la Figura 1. En cada lado del tubo de cerámica se conectan los electrodos, y en el interior pasa una resistencia de calentamiento, la cual provee la temperatura adecuada para la detección de los distintos

gases.

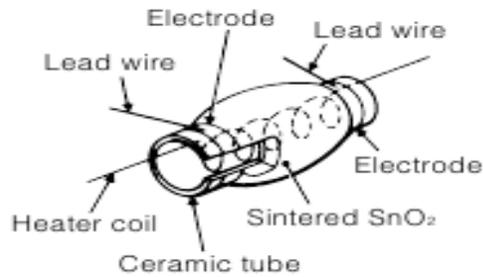


Figura 1: Diagrama interno TGS 800.

La sensibilidad está definida por la relación entre la concentración del gas y la resistencia interna del sensor, la cual es una función logarítmica como se puede observar en la Figura 2. La resistencia R_s es normalizada de acuerdo a condiciones específicas R_o de cada modelo. En el eje X se observa la concentración del gas y en el eje Y la relación R_s/R_o .

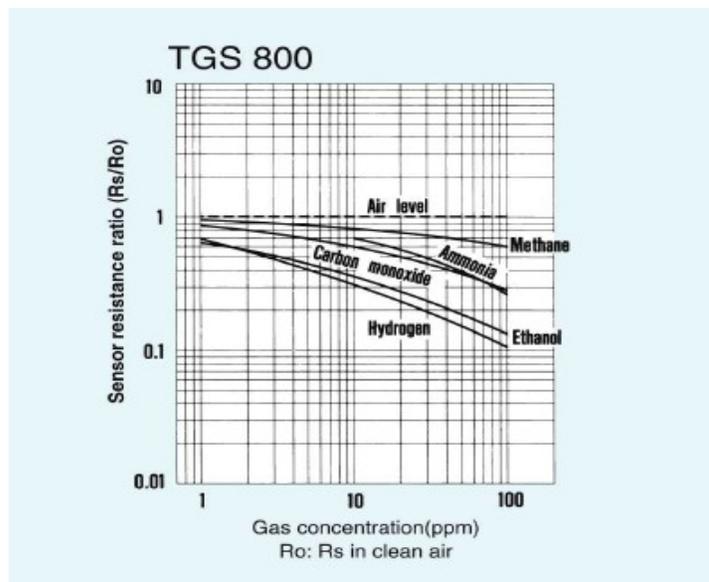


Figura 2: Curvas características TGS 800.

Como se observa en la Figura 2 para el TGS 800, la resistencia R_o es la resistencia medida entre los electrodos en una prueba en aire, también se observan la respuesta del sensor en metano, hidrógeno, etanol, monóxido de carbono y amoniaco.

El circuito utilizado para las mediciones es el propuesto en la hoja de datos del fabricante, donde V_c es la tensión de alimentación, V_h es la tensión del calentador, R_L es la resistencia de carga en la cual se mide la tensión de salida, como se observa en la Figura 3.

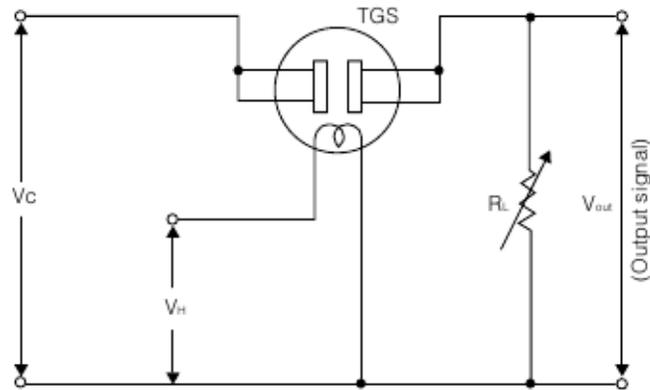


Figura 3: Circuito de conexión TGS 800

Por tanto al cambiar el valor de la resistencia R_s , la tensión de salida V_{out} va a cambiar, la relación entre ambas esta dada por la Ecuación 5.2.1.

$$R_s = \left(\frac{V_c - V_{out}}{V_{out}} \right) * R_L$$

Ecuación 5.2.1

Con la Ecuación 5.2.1 es posible determinar la concentración del gas presente, ya que al conocer el valor de R_s , R_o y con la ayuda de la Figura 2 se puede obtener la concentración en partículas por millón [ppm] del gas.

El TGS 800 es un sensor para medir la calidad del aire, por tanto las aplicaciones van más allá de los gases presentados en la Figura 2, ya que reacciona también ante muchos otros compuestos diluidos en el aire, como hidrocarburos, dióxido de carbono, LPG, propano, butano, entre otros.

5.2.2 Wasmote V1.1

Los nodos utilizados para la recepción e interpretación de la señal analógica proveniente del sensor TGS800 y la transmisión inalámbrica fueron los waspmote V1.1 los cuales constan de una arquitectura modular, es decir se integran los módulos que se necesitan en determinada aplicación con la capacidad de ampliarlos o cambiarlos según las necesidades.

Como se puede observar en la Figura 4 el waspmote V1.1 posee entradas y salidas para sensores analógicas y digitales, un microprocesador, puerto para conexión con un dispositivo GPRS, sensor de aceleración integrado, puertos I2C UART y Xbee, conexión para la batería ion de litio, un puerto USB para la conexión con una computadora, Leds indicadores, conexión para panel solar, y un botón de reset.

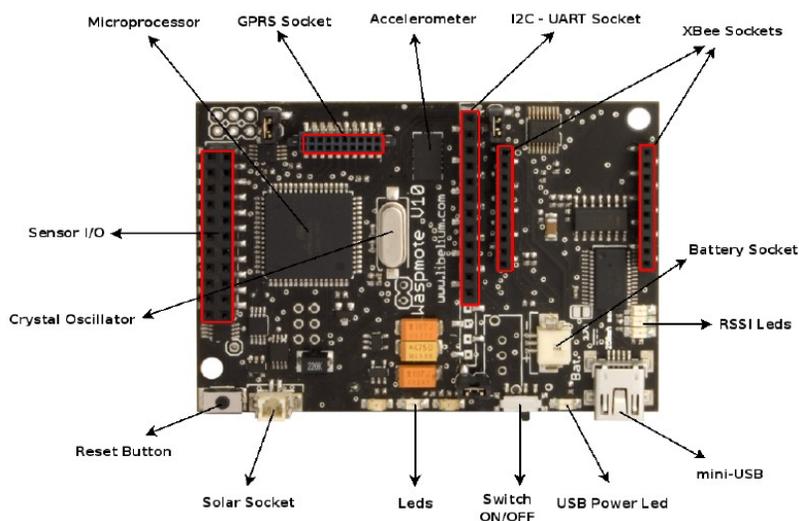


Figura 4: Vista superior Wasmote V1.1

A su vez, como se observa en la Figura 5 posee una batería auxiliar, conexión para dispositivo GPS, SD Card y un módulo RTC (Real time clock), que es un reloj a tiempo real que permite realizar acciones como programar alarmas, dormir e hibernar el nodo entre otras.

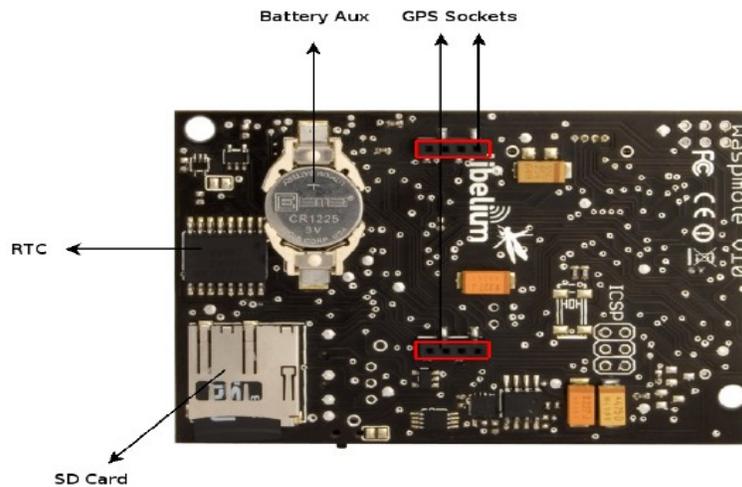


Figura 5: Vista inferior Waspote V1.1

Las especificaciones de hardware de la placa base se muestran en la Tabla 1.

Microcontrolador	ATmega1281
Frecuencia	8MHz
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
FLASH	128KB
SD Card	2 GB

Tabla 1: Características de hardware Waspote V1.1.

Las principales características eléctricas se muestran en la Tabla 2.

Tensión batería mínima	3.3 V
Tensión batería máxima	4.2 V
Tensión carga USB	5 V
Tensión placa solar	6-12 V
Corriente carga USB	100mA (max)
Corriente placa solar	280mA (max)
Tensión en los puertos	-0.5- 3.8 V

Tabla 2: Características eléctricas Wasmote V1.1

5.3 Descripción del software

5.3.1 Programación Xbee 802.15.4

Los waspmote V1.1 para la comunicación entre nodos, y el *gateway* utilizan un módulo Xbee 802.15.4, que se muestra en la Figura 6, la cual se conecta a través de la UART_0 como se puede observar en la Figura 4.



Figura 6: Módulo Xbee protocolo 802.15.4

Los módulos Xbee operan a una velocidad de 38400bps, usando la banda libre ISMB, el utilizado en el proyecto es el que trabaja con el protocolo 802.15.4 a una frecuencia de 2.4GHz, el rango de transmisión es en promedio 500m.

Para el enlace de comunicación entre los módulos Xbee deben programarse un conjunto de parámetros de la red, por medio de un software llamado X-CTU, los cuales se muestran en la Tabla 3.

Parámetro	Valor	Rango
Channel	0B	0B- 1A
PAN ID	2828	0- FFFF
MAC Mode	802.15.3 ACKS	NA
Cordinator Enable	Cordinator	Cordinator – End device
Scan Channels	1FFE	0 - FFFF
AES Encryption	Enable	Enable - Disable
Power level	4	0 -4
Interface Data Rate	38400	6400- 128000
Parity	No parity	Parity - no parity
API Enable	Disable	Enable - Disable

Tabla 3: Parámetros para la programación de los módulos Xbee

Estos parámetros permiten establecer características como el canal de transmisión, la velocidad, el protocolo de transmisión de información, las banderas, definir dispositivos terminales, coordinadores, entre otros; permitiendo configurar una red según las necesidades del caso.

5.3.2 Programación waspmote V1.1

La programación de los nodos se realizó por medio del entorno de trabajo Waspmote IDE que provee el fabricante. Esta interfaz es un ejecutable que permite la compilación del código, verificación de errores y descarga en el nodo. Además, posee una consola que permite observar la actividad en el puerto COM seleccionado.

La programación fue realizada en lenguaje C mediante módulos. El primer módulo llamado void setup(), es donde se establecen la configuración del nodo como se puede observar en el código.

```
void setup()
{
  PWR.iffHibernate(); //Parametro para hibernar el nodo
  RTC.ON(); //Activa el RTC (real time clock)
  xbee802.init(XBEE_802_15_4,FREQ2_4G,NORMAL); //Protocolo del Xbee
  xbee802.ON(); //Activacion del Xbee
  RTC.setTime("11:12:01:05:11:37:00"); //ajuste de fecha y hora en el momento de la programación
  PWR.setLowBatteryThreshold(3.0); // minimo de bateria
  //USB.begin();
}
```

El segundo módulo denominado void loop() es la sección del código que se ejecuta continuamente, aquí se pueden realizar todas las funciones del waspmote, como la lectura de los puertos analógico, digitales, envío de información a través del Xbee, USB, también el establecimiento de alarmas, hibernar dormir entre otras.

Así mismo, se pueden realizar las llamadas a otros módulos, encargados de tareas más específicas o que se ejecuten únicamente bajo ciertas condiciones, como es el caso de humo() como se puede observar en la sección del código correspondiente.

```
void loop()
{
  //USB.println(RTC.getTime());
  //xbee802.send("0013A20040691655",aux);
  Humo();
  //delay(4000);
  //hibernar el nodo
}
```

```

//PWR.hibernate("00:00:01:00",RTC_OFFSET,RTC_ALM1_MODE2);
//delay(6000);
}

```

Finalmente el modulo humo() es el encargado de realizar la lectura del puerto analógico y determinar si dicha lectura corresponde a aire limpio, o una concentración de humo dentro de los rangos preestablecidos de partículas por millón. Esto se logra con un conjunto de if else comparando la lectura con los valores obtenidos en la Tabla 6.

```

void Humo()
{
int(lectura) = analogRead(ANALOG1);
//xbee802.send("0013A20040691655",aux); //MAC ADDRESS DEL RECEPTOR GATEWAY
//delay(1500);
if(lectura>200)
{
if(lectura<380)
{
printf(aux,"Nodo 2 Lectura: 10pppm A 40ppm %c%c \n",\r,\n');
xbee802.send("0013A20040691655",aux);
}
else
{
if(lectura<425)
{
printf(aux,"Nodo 2 lectura: 40pppm a 70ppm %c%c \n",\r,\n');
xbee802.send("0013A20040691655",aux);
}
else
{

```

```

if(lectura<465)
{
    sprintf(aux,"Nodo 2 lectura: 70pppm a 100ppm %c%c \n","\r","\n");
    xbee802.send("0013A20040691655",aux);
}
else
{
    sprintf(aux,"Nodo 2 lectura: Mas de 100ppm %c%c \n","\r","\n");
    xbee802.send("0013A20040691655",aux);
}
}

sprintf(aux,"Temperatura:%dBateria:%d%c%fdfefefsdfsdfsdfsfasdfasdf
%c",RTC.getTemperature(),PWR.getBatteryLevel(),%'\r","\n');

xbee802.send("0013A20040691655",aux);

PWR.hibernate("00:00:00:05",RTC_OFFSET,RTC_ALM1_MODE2);
}
else
{
    //sprintf(aux,"NO HAY HUMO, sensor TGS800 %c%c \n","\r","\n");
    //xbee802.send("0013A20040691655",aux);

    PWR.hibernate("00:00:00:05",RTC_OFFSET,RTC_ALM1_MODE2);
}
}

```

Capítulo 6 : Análisis de resultados

6.1 Caracterización del sensor

Para la realización de mediciones con el sensor TGS 800, primero se debió caracterizar la respuesta en un gas conocido, como es el aire, permitiendo conocer la relación R_s/R_o , que es necesaria para obtener la concentración de humo para cualquier tensión de salida del sensor.

TGS800 1	TGS800 2	TGS800 1	TGS800 2
0,687	0,797	0,746	0,97
0,703	0,822	0,752	0,98
0,723	0,866	0,722	0,922
0,766	0,939	0,743	0,94
0,763	0,95	0,75	0,953
0,81	1,03	0,758	0,991
0,761	1,001	0,763	1,003
0,686	0,977	0,795	1,062
0,714	0,982	0,77	0,991
0,682	1,04	0,76	0,983
0,797	1,05	0,782	1,012
0,785	1,025	0,764	0,988
0,697	0,986	0,779	0,993
0,744	0,988	0,777	0,984
0,773	0,994	0,732	0,966
0,771	0,998	0,795	0,993
0,753	0,967	0,779	0,951
0,767	0,978	0,777	0,967
0,775	1,012		

Tabla 4: Tensión en la resistencia de carga del sensor TGS800.

En la Tabla 4, se muestran un conjunto de mediciones en la resistencia de carga para dos sensores en estado estable, durante 4 días consecutivos a una temperatura promedio de 25,9 grados y una humedad relativa del 70% .

Como se puede observar el valor de tensión de salida de ambos sensores es relativamente estable en el transcurso de los días de medición, para una mejor

observación en estado estable los datos de la Tabla 4 se muestran mediante una gráfica en la Figura 7.

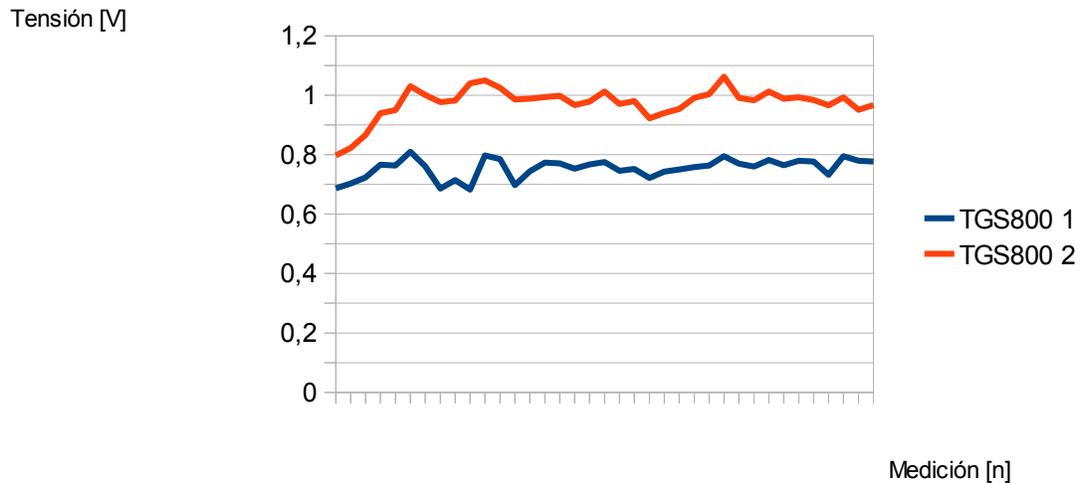


Figura 7: Mediciones en aire del sensor TGS 800

Como se describe en la sección de hardware, el sensor TGS 800 posee una resistencia de calentamiento para proveer la temperatura adecuada para el correcto funcionamiento. Además, se indica que para realizar mediciones se debe precalentar durante 48 horas. Este efecto se observa en la Figura 7, mediante una tensión baja al inicio con una pendiente positiva durante 5 mediciones. En este estado no es conveniente realizar mediciones porque introduce un error.

En el resto de la gráfica se ve como la concentración del aire varía en el transcurso del día hasta la noche, para después volver a repetir el mismo patrón. Dicho comportamiento responde al cambio en la concentración de CO₂, producto de la fotosíntesis; contaminantes en el aire, producto de vehículos de combustión interna, industria, y cambios de temperatura. Para poder determinar el valor de la resistencia interna del sensor se procedió a realizar un análisis estadístico de la población obteniendo los resultados de la Tabla 5.

Sensor	Media	Promedio	Varianza [V]	Desviación
TGS800 1	0,753367006	0,7540810811	0,001052561	0,0324431964
TGS800 2	0,9728107066	0,9743513514	0,0028132549	0,0530401257

Tabla 5: Análisis estadístico del sensor TGS 800 en estado estable.

Las desviaciones estándar correspondientes a los sensores TGS800 1 y TGS800 2 son de un 3.34% y 5.30% respectivamente; resultados que permiten utilizar el promedio de los datos para calcular la resistencia interna del sensor en el aire. Para realizar los cálculos se utilizó la Ecuación 5.2.1, con una tensión de alimentación de 5.15V y 5.02V, la resistencia de carga con un valor de 10.05K Ω y 10.04k Ω para TGS800 1 y TGS 800 2 respectivamente. Con estos valores la resistencia interna del sensor en el aire da como resultado 58593k Ω para el TGS800 1 y 41690k Ω para el TGS800 2.

Como se observa en la Figura 2, para calcular la concentración de un gas en el ambiente debe conocerse la relación R_s/R_o como se describe en la sección 7.2.1, donde R_o es la resistencia interna del sensor en un gas conocido. Por tanto, con los resultados obtenidos fue posible obtener las tensiones de salida (VRI) para concentraciones de 1, 10, 40, 70 y 100 partículas por millón como se muestra en la Tabla 6.

Concentración [ppm]	Rs/Ro	TGS800 1		TGS800 2	
		Rs [Ω]	Vrl [V]	Rs [Ω]	Vrl [V]
1	0,860	50390,754	0,856	35853,632	1,098
10	0,600	35156,340	1,145	25014,162	1,438
40	0,405	23730,530	1,532	16884,559	1,872
70	0,320	18750,048	1,797	13340,886	2,156
100	0,270	15820,353	2,001	11256,373	2,367

Tabla 6: Tensión de salida y resistencia interna para distintas concentraciones de humo.

Las tensiones Vrl mostradas en la Tabla 6, permiten establecer los rangos de detección mostrados en la sección 6. Debe tomarse en cuenta que para interpretarse los valores se normalizan a una tensión de 3.3V y una conversión analógica digital que toma valores entre 0 y 1024 siendo 0 una entrada de 0V y 1024 una tensión de 3.3V.

6.2 *Detección y propagación*

Una vez que se caracterizó la respuesta del sensor, se procedió a conectar el sensor al waspmote por medio del convertidor analógico digital, y probar el funcionamiento del sistema como un todo, tal como se muestra en el diagrama de bloques de la Figura 8.

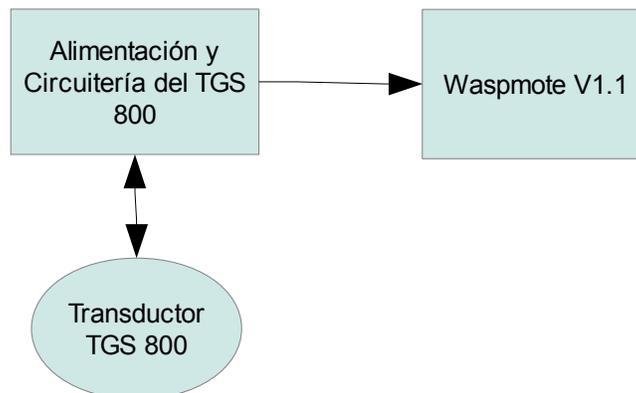


Figura 8: Diagrama de bloques del sistema detector de humo.

Con el sistema de la Figura 8 se procedió a la realización de una prueba a campo abierto, para observar el comportamiento del humo y respuesta del sistema en zona boscosa. Creando el humo mediante la combustión de maderas como cedro, laurel, aguacatillo, guácimo y ubicando la planta en un árbol a una altura de 6,1 metros sobre el suelo como se muestra en la Figura 9.

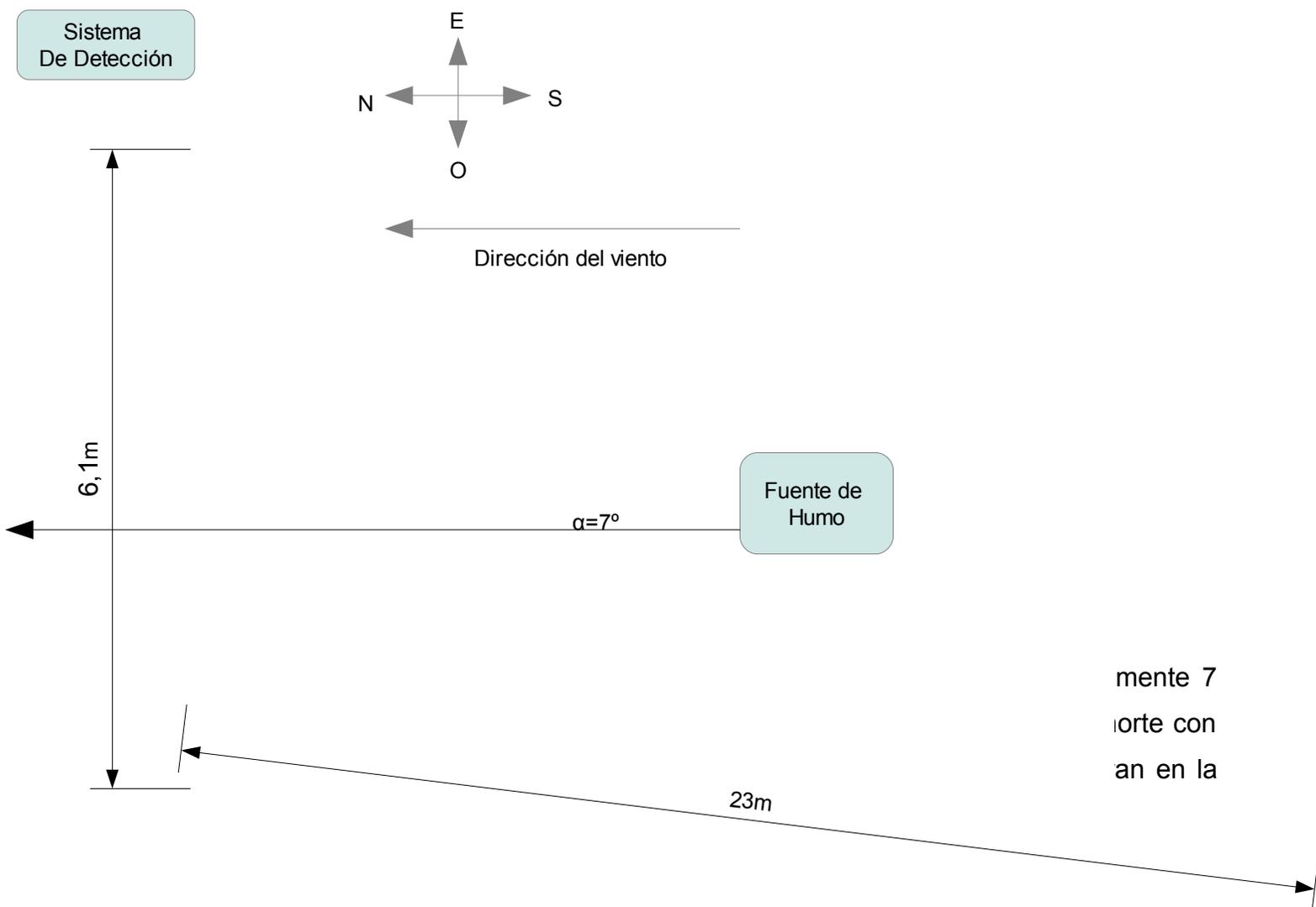


Figura 9: Diagrama de prueba realizada en campo abierto.



Figura 10: Fuente de humo vista desde el sur.

Como se puede observar en la figura Figura 9, la planta se situó al norte de la fuente de humo, es decir, en la dirección hacia donde soplab el viento. La ubicación se seleccionó después de observar durante varios minutos la propagación de humo. Como se puede observar en la Figura 10, la columna principal de humo se dispersa hacia arriba siguiendo la dirección del viento; este efecto se puede notar y analizar con mayor claridad en la Figura 11.



Figura 11: Propagación de humo

Como se puede observar el humo se va diluyendo y expandiendo conforme se aleja de la fuente, lo que a su vez permite, su detección en todo el área donde es visible para el ojo humano, dado que se cuenta con sensores lo suficientemente sensibles como para detectar una partícula por millón.

La vista superior mostrada en la Figura 12 permite observar la propagación desde el noreste, como la densidad del humo es menor a la del aire, bajo cualquier circunstancia la columna de humo se va a elevar; en mayor o menor grado dependiendo de la temperatura de la fuente y la intensidad del viento.



Figura 12: Vista de la propagación de humo, tomada desde el noreste.

Estas características permiten establecer que entre mayor sea la altura a la que se encuentre el nodo, mayor será su rango de acción, es decir, que para realizar la detección temprana en un área determinada, se tengan que instalar menos dispositivos.

Después de realizar el análisis del comportamiento del humo, se colocó la planta como se muestra en el diagrama de la Figura 9, la imagen real se muestra en la Figura 13. Como se mencionó anteriormente la planta se ubicó en la parte superior de un árbol, en una de las zonas de mayor incidencia de humo.



Figura 13: Ubicación de la planta

Por lo tanto, se procedió a realizar un total de 94 mediciones, que en conjunto con la observación de la propagación de humo, permitieran alcanzar los objetivos deseados.

Para interpretar los resultados de las mediciones es importante recordar que el sistema se configuró para detectar la concentración en partículas por millón en 5 rangos preestablecidos, de 1 a 10, 10 a 40, 40 a 70, 70 a 100 y más de 100 partículas por millón.

Los resultados se tabularon y graficaron en la Figura 14, para su análisis comparativo con las fotografías tomadas.

Concentración
[ppm]

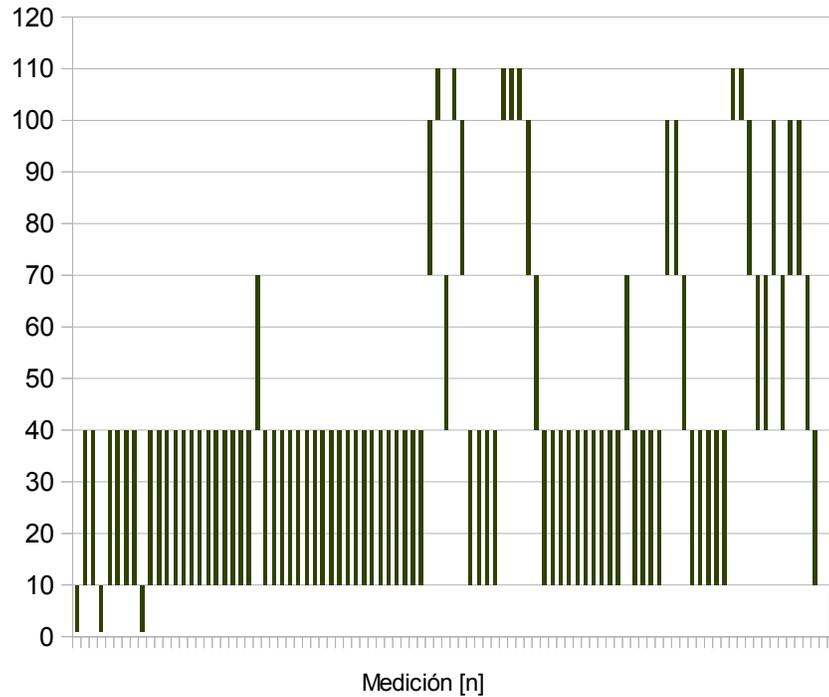


Figura 14: Mediciones para el sensor 1

Se obtuvieron resultados en todos los rangos preestablecidos, las variaciones que presenta la Figura 14 responden al hecho que la dirección e intensidad del viento no son constantes ni uniformes, afectando directamente la propagación del humo y la excitación del fuego.

Para justificar lo anteriormente expuesto se muestran tres imágenes correspondientes a las figuras 15 16 y 17. Estas imágenes fueron tomadas durante el transcurso de las mediciones de la Figura 14.



Figura 15: Propagación del humo al inicio de la prueba, con mediciones entre 1 y 40 ppm

Al inicio de las mediciones como se muestra en la Figura 15, la intensidad y dirección del viento provocaban que se detectara una concentración entre 1 y 40 ppm (Figura 14).

Tiempo después hubo un aumento en la intensidad que hizo que la columna de humo se elevara menos, como se muestra en la Figura 16, y se pudiera así, detectar una mayor concentración. Este efecto se observa en las mediciones de la Figura 14, en la primera zona donde se registran mediciones en los rangos de 40 a 70, 70 a 100 y más de 100 ppm.



Figura 16: Propagación de humo para las mediciones entre 10 y más de 100 ppm

Un aumento en la intensidad también provoca que el fuego se excite, por tanto la cantidad de humo varía significativamente. En las últimas mediciones de la Figura 14 se registró en promedio la mayor concentración; este resultado fue provocado por una disminución en la intensidad del viento, lo que provocó una mayor emisión de humo y una menor dilución en el aire. Este efecto se observa claramente en la Figura 17, respecto de la Figura 16.



Figura 17: Propagación de humo para concentraciones entre 40 y más de 100 ppm.

Por lo tanto, al comparar las mediciones obtenidas correspondientes a las figuras 15, 16 y 17 se observa como los cambios en la dirección e intensidad del viento provocan que la emisión, densidad y propagación del humo, permitan su detección mediante una red de nodos.

Capítulo 7 : Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

Mediante el uso de sensores TGS 800 y nodos waspmote V1.1 se comprobó que es posible determinar la presencia de un incendio en fase temprana.

La distribución de los nodos dependerá de las características particulares del lugar donde se quieran instalar.

La propagación de humo a baja altura se ve influenciada principalmente por la dirección e intensidad del viento, y el relieve en donde se produzca el evento.

La detección de humo en el bosque es un método efectivo para alertar la presencia de un fuego en fase incipiente.

Los sensores TGS 800 presentan un comportamiento estable con una desviación estándar poblacional máxima de 5.3%, lo que permite la detección de concentraciones desde 1 a 100 ppm.

7.2 Recomendaciones

Para efectos de la implementación del proyecto en bosques, dadas las características eléctricas del TGS 800, debe reemplazarse por un sensor que consuma menos potencia, como es la placa de sensores que provee el fabricante *Libelium*, o sensores cuyo funcionamiento se base en la ionización

del gas como es el caso del HIS-07 marca *Hanwei*, con un consumo de 27pA.

Si se desea realizar una comunicación entre los nodos con una distancia mayor a 500 metros se deben cambiar los módulos Xbee, por otros que transmitan a mayor distancia o bien reemplazar la red Waspote.

Para realizar una prueba o instalar una red de nodos para la detección de humo, primero deben estudiarse las características geográficas como el tipo de terreno, desnivel, corrientes de convección, entre otras. Para poder determinar las zonas claves para la detección.

Las mediciones con el sensor TGS 800 se deben realizar únicamente en estado estable, por lo que se debe precalentar el sensor al menos durante 48 horas previas.

Bibliografía

- (1) Barboza, Gerardo (junio 2003). Impacto ecológico de los incendios en nuestro bosque seco. *Ambientico*, N 177. Recuperado de <http://www.una.ac.cr/ambi/Ambien-Tico/117/index.htm>
- (2) Figaro Engineering Inc (s.f). *Figaro Gas Sensors*. Recuperado de <http://www.figarosensor.com/products/unvail.html>. El: 14/09/2011.
- (3) Figaro Engineering Inc (s.f). *General Information For Tgs Sensors* . Recuperado de <http://www.figarosensor.com/products/common%281104%29.pdf>. El: 14/09/2011.
- (4) Henan Hanwei Electronics Co. Ltd (1998). *MQ2 sensor*. Recuperado de <http://english.hwsensor.com/ewebeditor/uploadfile/en/MQ-2.pdf>. El: 07/08/11.
- (5) Henan Hanwei Electronics Co. Ltd (1998). *HIS sensor*. Recuperado de <http://english.hwsensor.com/ewebeditor/uploadfile/20110124094933398.pdf>. El: 07/08/11.
- (6) Libelium Comunicaciones Distribuidas SL (2011). *Waspote Guía Técnica*. Recuperado de http://www.libelium.com/documentation/waspote/waspote-technical_guide_esp.pdf . El: 11/10/2011.
- (7) Libelium Comunicaciones Distribuidas SL (2011). *Waspote power programing guide*. Recuperado de http://www.libelium.com/documentation/waspote/waspote-power-programming_guide.pdf . El: 11/10/2011.
- (8) Libelium Comunicaciones Distribuidas SL (2011). *RCT programing guide*. Recuperado

de http://www.libelium.com/documentation/waspmote/waspmote-rtc-programming_guide.pdf . El: 11/10/2011.

(9) Libelium Comunicaciones Distribuidas SL (2011). *Over the air programing*. Recuperado de http://www.libelium.com/documentation/waspmote/over_the_air_programming.pdf. El: 11/10/2011.

(10) Libelium Comunicaciones Distribuidas SL (2011). *Waspmote datasheet*. Recuperado de http://www.libelium.com/documentation/waspmote/waspmote-datasheet_esp.pdf. El: 11/10/2011.

(11) Libelium Comunicaciones Distribuidas SL (2011). *API programming guide*. Recuperado de <http://www.libelium.com/development/waspmote>. El: 11/10/2011.

(12) Libelium Comunicaciones Distribuidas SL (2011). *Gases sensor board*. Recuperado de http://www.libelium.com/documentation/waspmote/gases-sensor-board_esp.pdf. El: 11/10/2011.

Apéndices

Apéndice 1 **Glosario**

Concentración: Magnitud que expresa la cantidad de una sustancia por unidad de volumen.

Combustión: Reacción química entre el oxígeno y un material oxidable, acompañada de desprendimiento de energía y que habitualmente se manifiesta por incandescencia o llama.

Circuito: Conjunto de conductores que recorre una corriente eléctrica, y en el cual hay generalmente intercalados aparatos productores o consumidores de esta corriente.

Detección: Acción y efecto de detectar.

Densidad: Magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.

Electrodo: Extremo de un conductor en contacto con un medio, al que lleva o del que recibe una corriente eléctrica.

Humo: Mezcla visible de gases producida por la combustión de una sustancia, generalmente compuesta de carbono, y que arrastra partículas en suspensión.

Intensidad: Grado de fuerza con que se manifiesta un agente natural, una magnitud física, una cualidad, una expresión, etc.

Nodo: Cada uno de los puntos que permanecen fijos en un cuerpo vibrante. En una cuerda vibrante son siempre nodos los extremos, y puede haber varios nodos intermedios.

Red: Conjunto de ordenadores o de equipos informáticos conectados entre sí que pueden intercambiar información.

Resistencia eléctrica: Dificultad que opone un circuito al paso de una corriente.

Sensibilidad: Capacidad de respuesta a muy pequeñas excitaciones, estímulos o causas.

Transductor: Dispositivo que transforma el efecto de una causa física, como la presión, la temperatura, la dilatación, la humedad, etc., en otro tipo de señal, normalmente eléctrica.

Apéndice 2 *Manual de usuario*

- 1 Primero se debe descargar y descomprimir el IDE de la pagina de libelium.
- 2 Abrir un nuevo proyecto y copiar el código fuente.
- 3 Si se desea detectar otro gas, se deben cambiar los parámetros de detección en el código fuente, para realizar esto se deben tomar los datos de la resistencia interna de la sección 6.1, y con ayuda de la gráfica de la Figura 2 y la Ecuación 5.2.1 rellenar la Tabla 6 con los nuevos valores, estos valores deben normalizarse a una tensión de 3.3 voltios y convertirse a digital con una resolución de 1024 bits.
- 4 Conectar el waspmote por medio del puerto USB y seleccionar el número de puerto COM en la interfaz IDE al que se encuentra conectado el waspmote.
- 5 Preferiblemente de debe dejar cargar la batería del waspmote hasta que la luz roja se apague.
- 6 Se deben programar los nodos waspmote que se requieran, se debe recordar que para programar los waspmote se debe quitar la antena Xbee y encender el dispositivo.
- 7 Una vez programado se debe apagar y quitar el puente que corresponde a la función hibernar.
- 8 Se debe configurar la red según la necesidad, definir cuáles son los nodos terminales cuáles los coordinadores, los canales y el protocolo de red. Este proceso se realiza con el software X-CTU, conectando cada antena al gateway y estableciendo todos los parámetros deseados. Se debe recordar que cada antena tiene una dirección IP, por lo que no se deben confundir las del gateway con los nodos coordinadores y los terminales.
- 9 Los transductores TGS 800 o MQ2 se deben conectar a una fuente de alimentación de 5 voltios como se muestra en la Figura 3 de la página 21.
- 10 Se deben dejar conectados al menos 6 horas, aunque el fabricante recomienda un periodo de precalentamiento de 48 horas.

- 11 Dado que los waspmote trabajan con una batería de litio cuya tensión nominal es de 3.7 voltios, deben ponerse 2 resistencias en serie de 5k, conectando en el divisor de tensión la salida que va hacia el puerto analógico 1, de manera que la máxima tensión en la entrada del puerto sea de 2.5 voltios.
- 12 Conectar la referencia del circuito con la tierra del waspmote.
- 13 Conectar el gateway a la computadora al puerto USB.
- 14 Si se utiliza el IDE que provee el fabricante se debe abrir un terminal y seleccionar el puerto COM al que está conectado el gateway. Sino se debe utilizar otro programa terminal, para poder observar y guardar los datos obtenidos.
- 15 Colocar el nodo (waspote + transductor) en el lugar o lugares donde se desea realizar la medición.
- 16 Si se detecta humo metano butano LPG o cualquiera de los gases que especifica la hoja de datos, el nodo cada 5 segundos o en el intervalo seleccionado mostrará la concentración correspondiente.
- 17 Al finalizar las pruebas se debe desconectar primero el transductor del puerto analógico para luego apagar el waspmote.

Anexo 1 Figaro TGS 800



FIGARO GAS SENSORS

**1-Series
8-Series**

The 1-Series and 8-Series of Figaro Gas Sensors are bulk type metal oxide semiconductor sensors. Field proven metal oxide materials and Figaro's original bulk shape sintered sensor elements ensure high sensitivity, long sensor life and reliability. A wide variety of sensor models are offered to choose from for specific needs of gas detection.



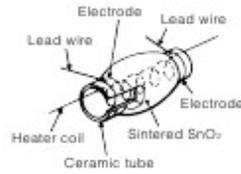
Product List

Application	Target gas	1-Series	8-Series		
			R-type	C-type	M-type
Combustible gas detection	General hydrocarbons		TGS813	TGS816	
	Methane Natural gas		TGS842		
	Hydrogen			TGS821	
Solvent vapor detection	Alcohol Organic solvents		TGS822	TGS823	
Halocarbon gas detection	R-22			TGS830 TGS831	
	R-134a			TGS832	
Toxic gas detection	Carbon monoxide	TGS203			
	Ammonia			TGS826	
	Hydrogen sulfide			TGS825	
Odor detection	Ammonia/amine			TGS826	
Cooking control	Water vapor				TGS883
	Fumes from food (alcohol, odor)				TGS880 TGS882
Air quality control	General air contaminants		TGS800		
Automobile ventilation control	Gasoline exhaust		TGS822		

8-series

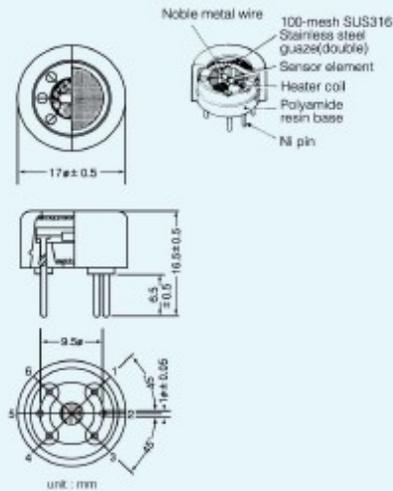
Element structure

8-series sensors have a heater in an alumina ceramic tube on which two gold electrodes are printed, and the semiconductor material is mounted on the tube.

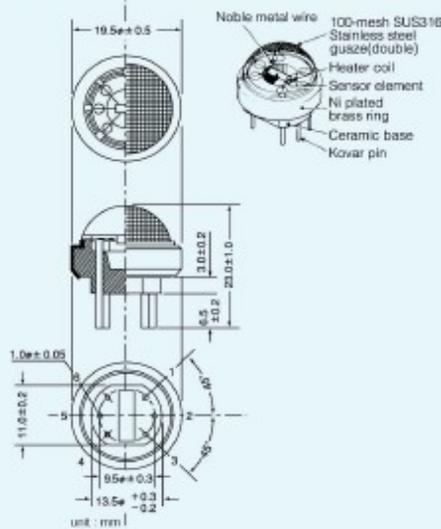


Structure

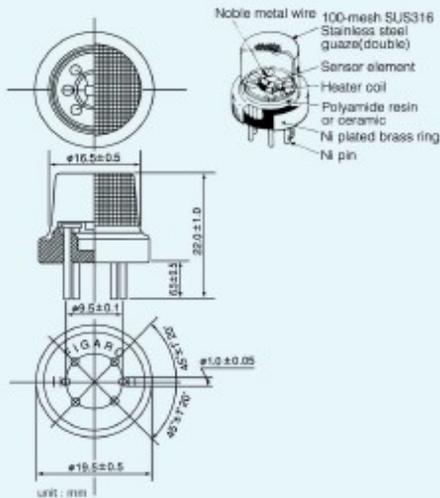
R type : resin base + resin cover



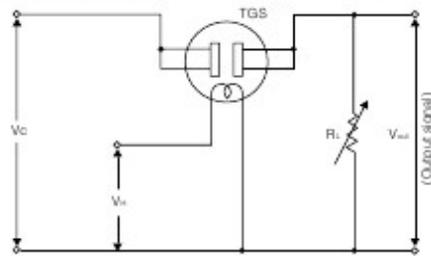
C type : ceramic base + metal cover



M type : resin base / ceramic base + metal cover



Basic measuring circuit



Circuit conditions

- Circuit voltage(Vc) : 24v max. AC or DC
- Heater voltage(Vh) : 5.0V AC or DC
- Load resistance(RL) : variable (Ps<15mW)

Depending on the change in the sensor resistance (Rs), output voltage across the load resistor changes (Vout). The relationship between Rs and Vout is expressed by the following equation.

$$R_s = \frac{V_c - V_{out}}{V_{out}} \times R_L$$

2. Electrical characteristics

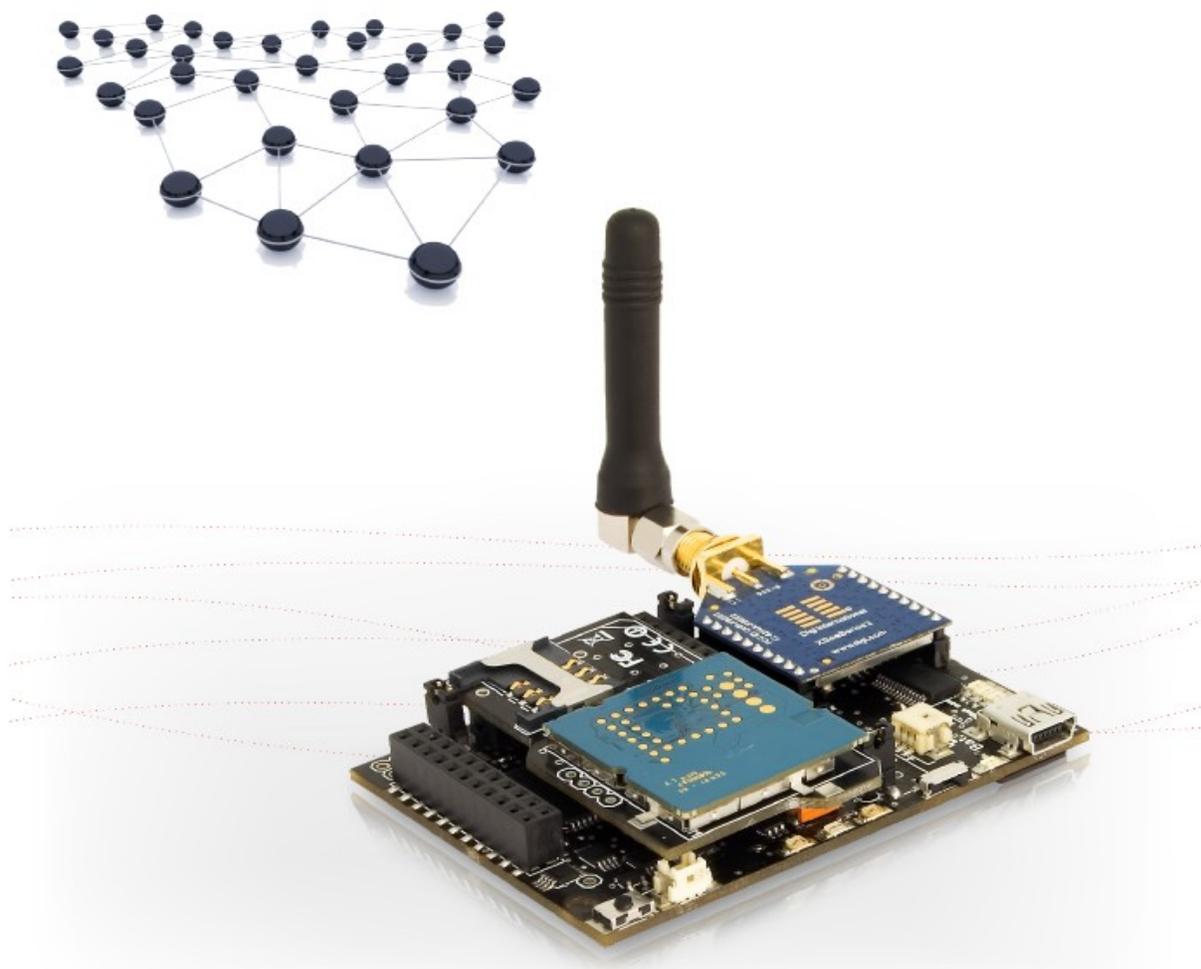
Standard test conditions : 20 °C ±2 °C, 65% ±5% R.H.

Model	Heater resistance at room temp	Heater current	Heater power consumption	Sensor resistance	Resistance ratio of sensor	Standard test gas
	R_h	I_h	P_h	R_s	β γ	
TGS 813 / 816	30 Ω	167mA	835mW	5k Ω ~ 15k Ω in 1,000ppm	β (CH ₄ 1,000 ~ 3,000) = 0.55 ~ 0.65	Methane
TGS 842	30 Ω	167mA	835mW	5k Ω ~ 20k Ω in 1,000ppm	β (CH ₄ 1,000 ~ 3,000) = 0.55 ~ 0.65	Methane
TGS 821	38 Ω	132mA	660mW	1k Ω ~ 10k Ω in 100ppm	β (H ₂ 100 ~ 1,000) = 0.6 ~ 0.25	Hydrogen
TGS 822 / 823	38 Ω	132mA	660mW	1k Ω ~ 10k Ω in 300ppm	β (EtOH 50 ~ 300) = 0.3 ~ 0.5	Ethanol
TGS 830	30 Ω	167mA	835mW	1k Ω ~ 5k Ω in 1,000ppm	β (R-22 1,000 ~ 3,000) = 0.2 ~ 0.4	R-22
TGS 831	30 Ω	167mA	835mW	1k Ω ~ 10k Ω in 1,000ppm	β (R-22 300 ~ 1,000) = 0.25 ~ 0.55	R-22
TGS 832	30 Ω	167mA	835mW	4k Ω ~ 40k Ω in 100ppm	β (R-134a 100 ~ 300) = 0.5 ~ 0.65	R-134a
TGS 203	1.9 Ω	369/133mA	295/33mW $\times 2$	1k Ω ~ 15k Ω in 100ppm	β (CO 100 ~ 300) = 0.19 ~ 0.45	Carbon monoxide
TGS 825	38 Ω	132mA	660mW	3k Ω ~ 30k Ω in 50ppm	β (H ₂ S 10 ~ 50) = 0.3 ~ 0.6	Hydrogen sulfide
TGS 826	30 Ω	167mA	835mW	20k Ω ~ 100k Ω in 50ppm	β (NH ₃ 50 ~ 150) = 0.4 ~ 0.7	Ammonia
TGS 880	30 Ω	167mA	835mW	20k Ω ~ 70k Ω in Air	β (EtOH 50 ~ 300) = 0.4 ~ 0.6	Air and ethanol
TGS 882	38 Ω	132mA	660mW	10k Ω ~ 100k Ω in Air	γ (EtOH 300) = 0.03 ~ 0.09	Air and ethanol
TGS 883	25 Ω	200mA	1,000mW	10k Ω ~ 100k Ω in Air	γ (EtOH 300) = 1.00 ~ 0.71	Air and ethanol
TGS 800	38 Ω	132mA	660mW	10k Ω ~ 130k Ω in Air	γ (H ₂ 10) = 0.2 ~ 0.6	Air and hydrogen

$$\beta(\text{Gas name } C_1 - C_2) = \frac{R_s(C_2)}{R_s(C_1)} \quad C_1, C_2: \text{Gas concentration(ppm)} \quad C_1 < C_2$$

$$\gamma(\text{Gas name } C) = \frac{R_s(C)}{R_s(\text{Air})} \quad C: \text{Test gas concentration(ppm)}$$

Wasmote Datasheet



Wasp mote

Características Generales:

Microcontrolador:	ATmega1281
Frecuencia:	8MHz
SRAM:	8KB
EEPROM:	4KB
FLASH:	128KB
SD Card:	2GB
Peso:	20gr
Dimensiones:	73.5 x 51 x 13 mm
Rango de Temperatura:	[-20°C, +65°C]
Reloj:	RTC (32KHz)



Consumo:

ON:	9mA
Sleep:	62µA
Deep Sleep:	62µA
Hibernate:	0.7µA

Funcionamiento sin recarga: 1año *

* Tiempo obtenido usando el modo Hibernate como modo de ahorro energético

Entradas/Salidas:

7 Analógicas (I), 8 Digitales (I/O), 1 PWM, 2 UART, 1 I2C, 1USB

Características Eléctricas:

Tensión de batería:	3.3 V - 4.2V
Carga USB:	5 V - 100mA
Carga placa solar:	6 - 12 V - 280mA
Tensión batería auxiliar:	3V

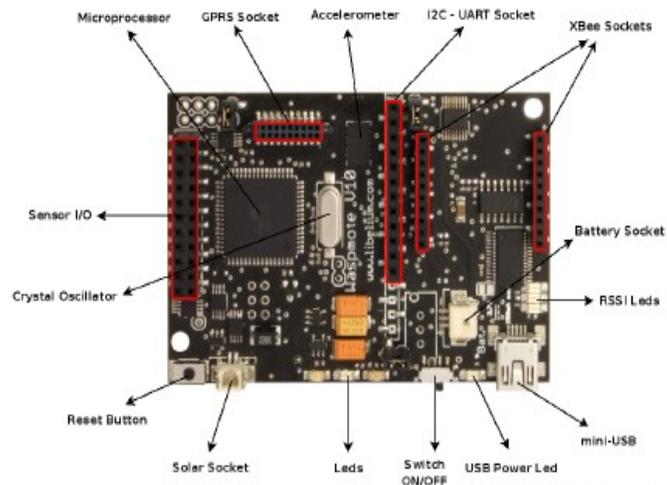


Figura 1: Cara Superior Wasp mote

Sensores integrados en la placa:

Temperatura (+/-): -40°C , +85°C. Precisión: 0.25°C
Acelerómetro: ±2g (1024 LSb/g) / ±6g (340LSb/g)
 40Hz/160Hz/640Hz/2560Hz

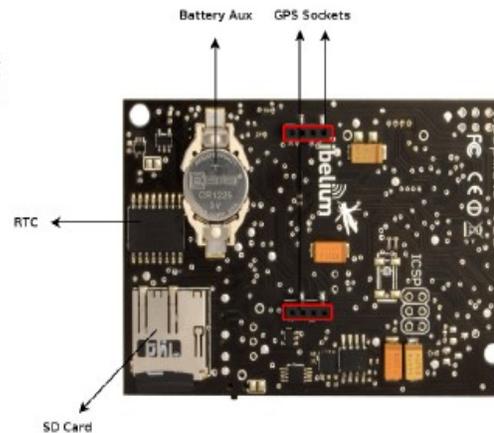


Figura 2: Cara Inferior Wasp mote

802.15.4/ZigBee

Modelo	Protocolo	Frecuencia	txPower	Sensibilidad	Rango *
XBee-802.15.4	802.15.4	2.4GHz	1mW	-92dB	500m
XBee-802.15.4-Pro	802.15.4	2.4GHz	100mW	-100dBm	7000m
XBee-ZB	ZigBee-Pro	2.4GHz	2mW	-96dBm	500m
XBee-ZB-Pro	ZigBee-Pro	2.4GHz	50mW	-102dBm	7000m
XBee-868	RF	868MHz	315mW	-112dBm	12km
XBee-900	RF	900MHz	50mW	-100dBm	10km
XBee-XSC	RF	900MHz	100mW	-106dBm	12km

* Línea vista y antena dipolo 5dBi



Figura 3: XBee

Antenas: 2.4GHz: 2dBi / 5dBi
868/900MHz: 0dBi / 4.5dBi

Conector: RPSMA

Cifrado: AES 128b

Control Señal: RSSI

Estándares: XBee-802.15.4 - 802.15.4 Compliant / XBee-ZB - ZigBee-Pro v2007 Compliant

Topologías: p2p, árbol, mesh

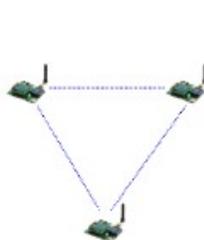


Figura 4: p2p

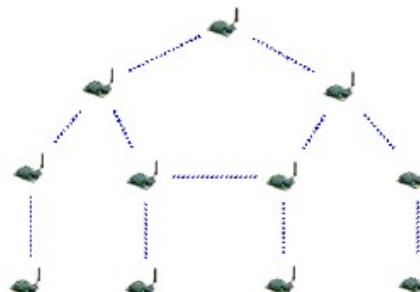


Figura 5: árbol

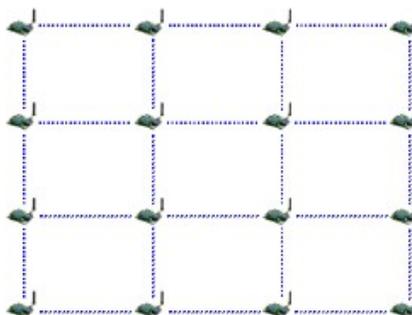


Figura 6: mesh

