

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
POSICIONAMIENTO TERRESTRE UTILIZANDO PROTOCOLO ZIGBEE
PARA PROVEER DE UN SISTEMA DE SEGURIDAD EN EL BARRIO
SANTA LUCIA CENTRO DEL CANTÓN TISALEO**

Rafael Perez Miranda

DEFINICIÓN ZIGBEE

- Zigbee es un protocolo de comunicaciones inalámbrico basado en el estándar de comunicaciones para redes inalámbricas IEEE_802.15.4. Creado por Zigbee Alliance.
- Las comunicaciones Zigbee se realizan en la banda libre de 2.4GHz.
- La velocidad de transmisión de datos de una red Zigbee es de hasta 256kbps.

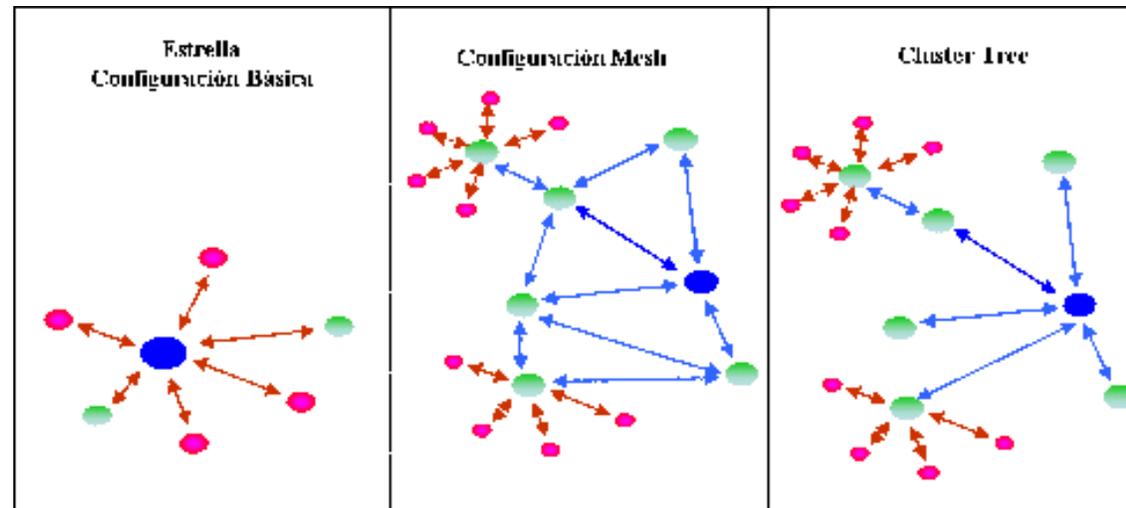
CARACTERÍSTICAS ZIGBEE

- ZigBee opera en las bandas libres ISM (Industrial, Scientific & Medical) de 2.4 GHz, 868 MHz (Europa) y 915 MHz (Estados Unidos).
- Tiene una velocidad de transmisión de 250 Kbps y un rango de cobertura de 10 a 75 metros.
- Cada red ZigBee tiene un identificador de red único, lo que permite que coexistan varias redes en un mismo canal de comunicación sin ningún problema.
- Es un protocolo de comunicación multi-salto, es decir, que se puede establecer comunicación entre dos nodos aun cuando estos se encuentren fuera del rango de transmisión, siempre y cuando existan otros nodos intermedios que los interconecten, de esta manera, se incrementa el área de cobertura de la red.

COMPARATIVA ENTRE TECNOLOGÍAS WIRELESS

| Estándar | Ancho de Banda | Consumo de potencia | Ventajas | Aplicaciones |
|-----------|----------------|-------------------------------------|---------------------------------------|--|
| Wi-Fi | Hasta 54Mbps | 400mA transmitiendo, 20mA en reposo | Gran ancho de banda | Navegar por Internet, redes de ordenadores, transferencia de ficheros |
| Bluetooth | 1 Mbps | 40mA transmitiendo, 0.2mA en reposo | Interoperativa, sustituto del cable | Wireless USB, móviles, informática casera |
| ZigBee | 250 kbps | 30mA transmitiendo, 3mA en reposo | Batería de larga duración, bajo coste | Control remoto, productos dependientes de la batería, sensores, juguetería |

TIPOS DE DISPOSITIVOS



- Coordinador PAN (FFD)
- Dispositivo de plena funcionalidad (FFD)
- Dispositivo de funcionalidad reducida (RFD or FFD)
- ↔ Mesh Link
- ↔ Star Link

ZIGBEE EN EL MODELO OSI

Física

La capa física a 2.4 GHz emplea una técnica de modulación OQPSK (*Offset quadrature phase-shift keying*), Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura escalonada.

Red

El estándar IEEE 802.15.4 soporta múltiples topologías para su conexión en red, entre ellas la topología tipo "Estrella", la topología "Punto a Punto" y "Punto a Multipunto".

Enlace

El estándar IEEE 802 divide la capa de enlace de datos (DLL) en dos sub-capas, la sub-capas de enlace al Control de Acceso al Medio (Medium Access Control, MAC) y la sub-capas de Control de enlaces lógicos (Logical Link Control, LLC).

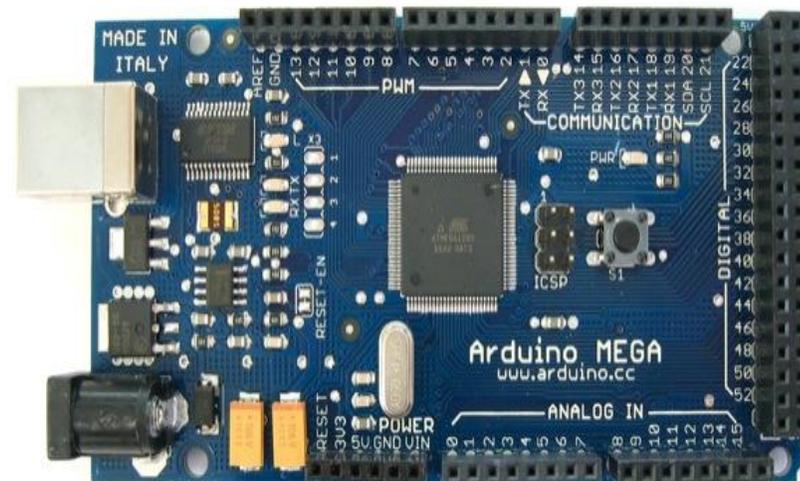
ARDUINO UNO

- Tiene 14 entradas/salidas digitales (de las cuales 6 proporcionan salida PWM), 6 entradas analógicas, un cristal oscilador de 16MHz, conexión USB, entrada de corriente, conector ICSP y botón de reset.

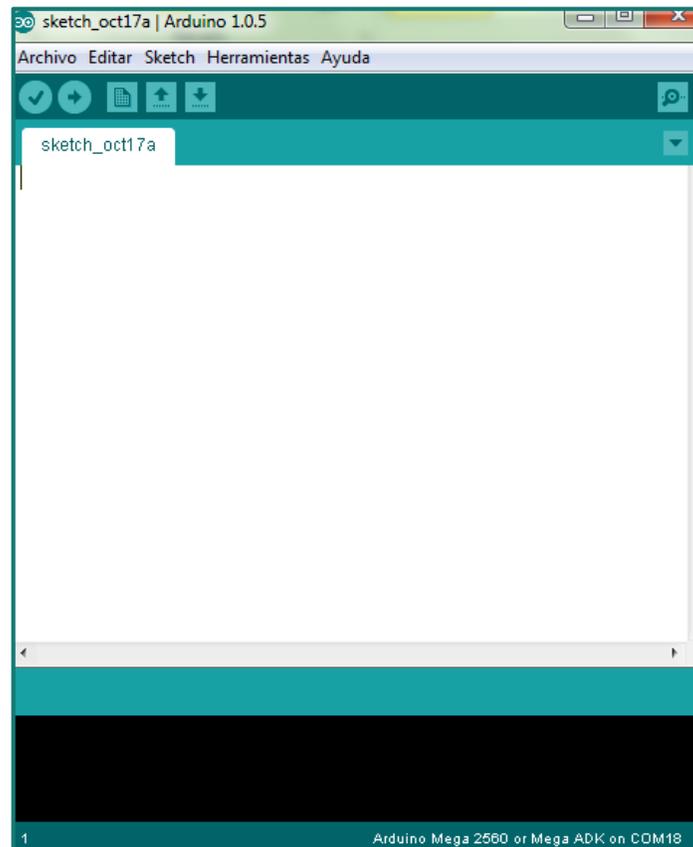


ARDUINO MEGA

- La Arduino Mega es una placa microcontrolador basada ATmeg1280. Tiene 54 entradas/salidas digitales (de las cuales 14 proporcionan salida PWM), 16 entradas digitales, 4 UARTS (puertos serie por hardware), un cristal oscilador de 16MHz, conexión USB, entrada de corriente, conector ICSP y botón de reset.



ARDUINO IDE



XBEE SHIELD



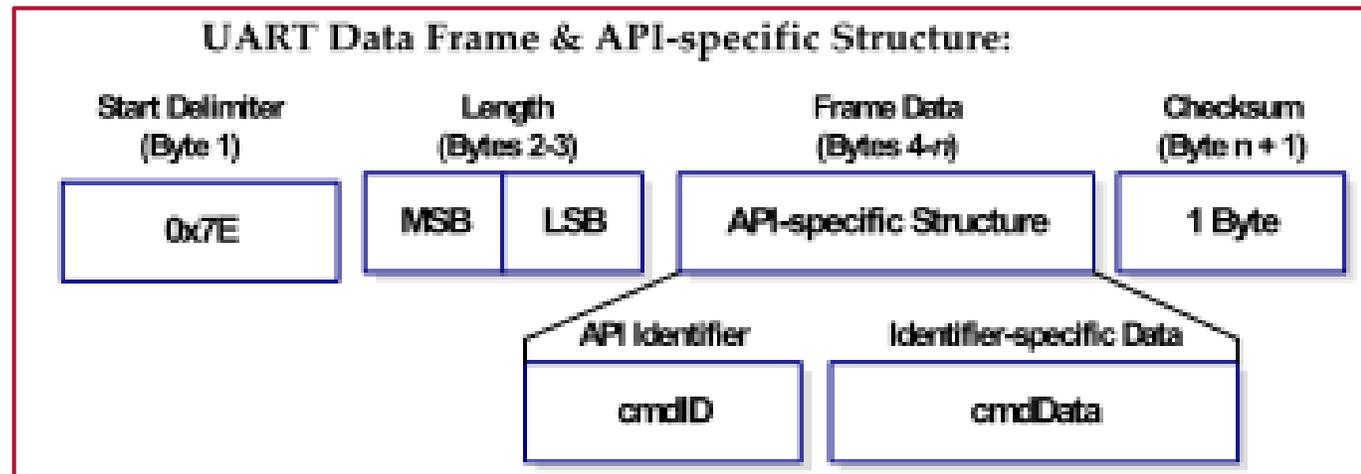
MOD0 API

UART Data Frame Structure:



MSB = Most Significant Byte, LSB = Least Significant Byte

CAMPO DE DATOS



IDENTIFICADORES DE FRAME

| Nombre API frame | API ID |
|--|--------|
| AT Command | 0x08 |
| AT Command-Pregunta Valor Parámetro | 0x09 |
| Zigbee petición transmisión | 0x10 |
| Frame Comando Dirección explícita Zigbee | 0x11 |
| Petición de Comando Remoto | 0x17 |
| Crear ruta de fuente | 0x21 |
| Respuesta a comando remoto | 0x88 |
| Estado del modem | 0x8A |
| Estado de transmisión Zigbee | 0x8B |
| Paquete Zigbee recibido (AO=0) | 0x90 |
| Indicador Rx explícito Zigbee (AO=1) | 0x91 |
| Indicador Rx de muestras de datos IO | 0x92 |
| Indicador de lectura de sensor IO(AO=0) | 0x94 |
| Indicador de identificación de Nodo (AO=0) | 0x95 |
| Respuesta a comando remoto | 0x97 |
| Estado de actualización de firmware sobre -el-aire | 0xA0 |
| Indicador de grabado de ruta | 0xA1 |
| Indicador de petición de ruta varios-a-uno | 0xA3 |

AT COMMAND

| A P I P a c k e t | Campo | Offse † | Ejemplo | Descripción |
|---|--|------------|--|---|
| | Delimitad or de Inicio | 0 | 0x7E | |
| | Longitud | 1 | 0x00 | Numero de Bytes entre la longitud y el Checksum |
| | | 2 | 0x04 | |
| | Tipo Frame | 3 | 0x08 | |
| | Frame ID | 4 | 0x52 (R) | |
| | Comand o AT | 5 | 0x4E (N) | Nombre Comando- dos caracteres ASCII que identifican el comando AT |
| | | 6 | 0x4A (J) | |
| | Valor parámetr o (opcional) | | | Si está presente indica el valor del parámetro a escribirse en el registro |
| CheckSu m | 7 | 0x0D | 0xFF-la suma de 8 bits de los bytes offset 3 hasta este byte | |

API Packet

| Campo | Offset | Ejemplo | Descripcion |
|---------------------------|--------|---------|--|
| Delimitador de Inicio | 0 | 0x7E | |
| Longitud | 1 | 0x00 | Numero de Bytes entre la longitud y el CheckSum |
| | 2 | 0x16 | |
| Tipo Frame | 3 | 0x10 | |
| Frame ID | 4 | 0X01 | |
| Dirección destino 64 bits | 5 | 0x00 | |
| | 6 | 0x13 | |
| | 7 | 0xA2 | |
| | 8 | 0x00 | |
| | 9 | 0x40 | |
| | 10 | 0x0A | |
| | 11 | 0x01 | |
| Dirección de red 16 bits | 12 | 0x27 | |
| | 13 | 0xFF | |
| Radio Broadcast | 14 | 0xFE | |
| | 15 | 0x00 | |
| Opciones | 16 | 0x00 | Las opciones incluyen 0x01- ACK deshabilitado 0x20-habilitada encriptación APS 0x40-Usar tiempo de espera extendido |
| Datos RF | 17 | 0x54 | Datos hacia el dispositivo de destino |
| | 18 | 0x78 | |
| | 19 | 0x44 | |
| | 20 | 0x61 | |
| | 21 | 0x74 | |
| | 22 | 0x61 | |
| | 23 | 0x30 | |
| | 24 | 0x41 | |
| Checksum | 25 | 0x13 | 0xFF-la suma de 8 bits de los bytes offset 3 hasta este byte |

ZIGBEE TRANSMIT REQUEST

| Campo | Offset | Ejemplo | Descripcion |
|----------------------------|--------|------------------------|--|
| Delimitador de Inicio | 0 | 0x7E | |
| Longitud | 1 | 0x00 | Numero de Bytes entre la longitud y el CheckSum |
| | 2 | 0x1A | |
| Tipo Frame | 3 | 0x17 | |
| Frame ID | 4 | 0X01 | |
| Dirección destino 64 bits | 5 | 0x00 | |
| | 6 | 0x13 | |
| | 7 | 0xA2 | |
| | 8 | 0x00 | |
| | 9 | 0x40 | |
| | 10 | 0x40 | |
| | 11 | 0x11 | |
| | 12 | 0x22 | |
| Dirección de red 16 bits | 13 | 0xFF | |
| | 14 | 0xFE | |
| Opciones de comando remoto | 15 | 0x02 (aplicar cambios) | Las opciones incluyen 0x01- ACK deshabilitado 0x20-habliada encriptacion APS 0x40-Usar tiempo de espera extendido |
| Comando AT | 16 | 0x42(B) | |
| | 17 | 0x48(H) | |
| Parámetro comando | 18 | 0x01 | |
| CheckSum | 19 | 0xF5 | 0xFF-la suma de 8 bits de los bytes offset 3 hasta este byte |

REMOTE AT COMMAND REQUEST

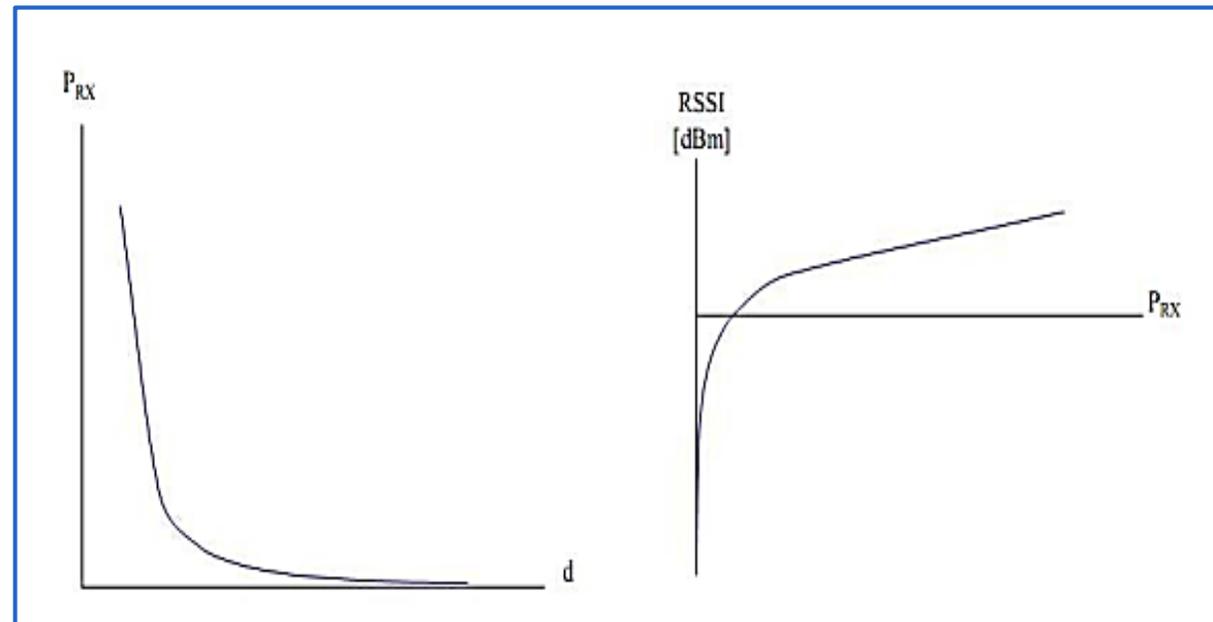
A P I P a c k e t

| Campo | Offset | Ejemplo | Descripción |
|--------------------------------|--------|---------|---|
| Delimitador de Inicio | 0 | 0x7E | |
| Longitud | 1 | 0x00 | Numero de Bytes entre la longitud y el CheckSum |
| | 2 | 0x20 | |
| Tipo Frame | 3 | 0x95 | |
| Direccion destino 64 bits | 4 | 0X00 | |
| | 5 | 0x13 | |
| | 6 | 0xA2 | |
| | 7 | 0x00 | |
| | 8 | 0x40 | |
| | 9 | 0x52 | |
| | 10 | 0x2B | |
| | 11 | 0xAA | |
| Direccion de red 16 bits | 12 | 0x7D | |
| | 13 | 0x84 | |
| Opciones de Recepción | 14 | 0x01 | 0x01-Paquete conocido |
| | | | 0x02-Paquete broadcast |
| Direccion de fuente de 16 bits | 15 | 0x03 | |
| | 16 | 0x00 | |
| Direccion de red de 64 bits | 17 | 0X00 | |
| | 18 | 0x13 | |
| | 19 | 0xA2 | |
| | 20 | 0x00 | |
| | 21 | 0x40 | |
| | 22 | 0x52 | |
| | 23 | 0x2B | |
| | 24 | 0xAA | |
| Texto NI | 25 | 0x20 | |
| | 26 | 0x00 | |
| Direccion 16 bits del padre | 27 | 0xFF | |
| | 28 | 0xFE | |
| Tipo de Dispositivo | 29 | 0x01 | |
| Evento fuente | 30 | 0x01 | |
| ID perfil Digi | 31 | 0xC1 | |
| | 32 | 0x05 | |
| ID Manufactura | 33 | 0x10 | |
| | 34 | 0x1E | |
| Checksum | 35 | 0x1B | 0xFF-la suma de 8 bits de los bytes offset 3 hasta este |

NODE IDENTIFICATION INDICATOR

DETERMINACIÓN DE LA DISTANCIA POR ÍNDICE DE POTENCIA DE SEÑAL RECIBIDA (RSSI).

- La idea atrás de la RSS es que variando la potencia de transmisión en el dispositivo transmisor (P_{TX}) directamente afecta la potencia recibida en el dispositivo receptor (P_{RX}).



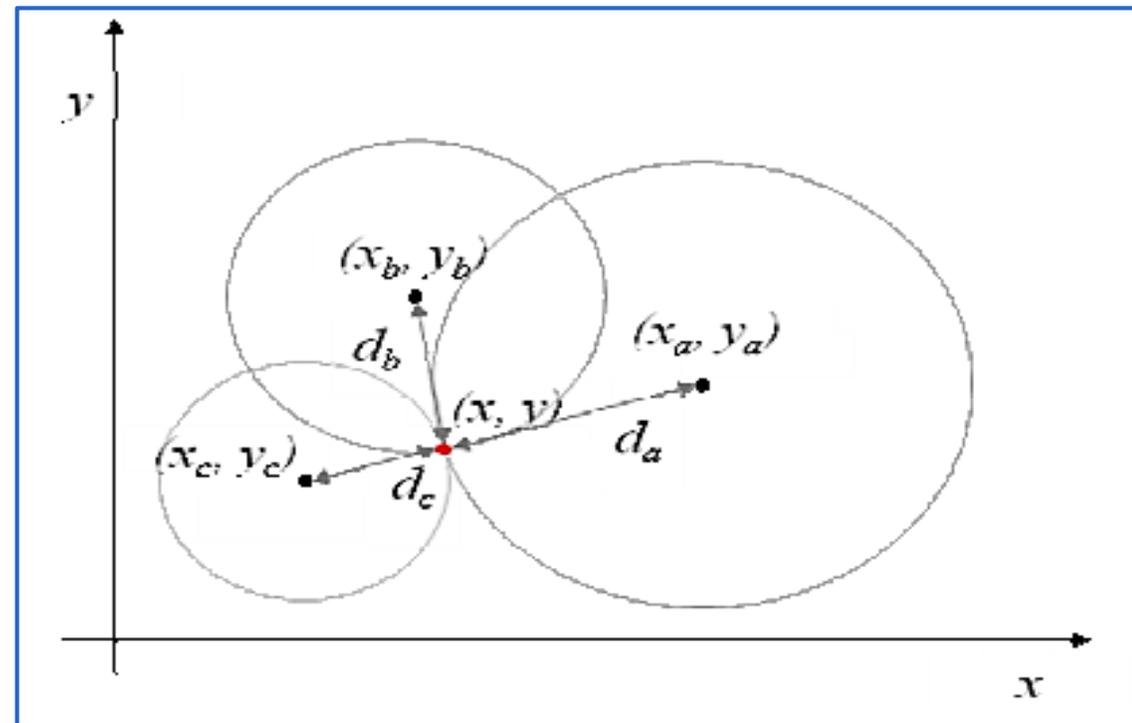
TRILATERACIÓN.

- La trilateración es un método para determinar la posición relativa de objetos usando la geometría de triángulos en una forma parecida a la triangulación.
- A diferencia de la triangulación, la cual usa medición de ángulos (junto a por lo menos una distancia conocida) para calcular la localización del sujeto, la trilateración usa las localizaciones conocidas de dos o más puntos de referencia, y la distancia medida entre el sujeto y cada punto de referencia.

TRILATERACIÓN.

- Considerando la fórmula básica para una esfera como se muestra en la Ec. 2.3.
- $d^2 = x^2 + y^2 + z^2$ **Ec. 2.3.**
- Para una esfera centrada en el punto (x_a, y_a, z_a) la ecuación se simplifica tal como se muestra en la Ec. 2.4.
- $d^2 = (x - x_a)^2 + (y - y_a)^2 + (z - z_a)^2$ **Ec. 2.4.**
- Si asumimos a todos los nodos dentro del mismo plano, consideramos tres nodos de referencia (a, b, y c) que tienen distancias (d_a, d_b, d_c) hacia el nodo buscado, entonces.

TRILATERACIÓN.



TRILATERACIÓN.

- Esfera A; $d_a^2 = (x - x_a)^2 + (y - y_a)^2$ **Ec. 2.5**
- Esfera B; $d_b^2 = (x - x_b)^2 + (y - y_b)^2$ **Ec. 2.6**
- Esfera C; $d_c^2 = (x - x_c)^2 + (y - y_c)^2$ **Ec. 2.7**
- La ecuación 2.5., ecuación 2.6. y ecuación 2.7 son expandidas para convertirse en la Ec. 2.8., Ec 2.9. y Ec 2.10.;
- $d_a^2 = x^2 - 2x \cdot x_a + x_a^2 + y^2 - 2y \cdot y_a + y_a^2$ **Ec. 2.8**
- $d_b^2 = x^2 - 2x \cdot x_b + x_b^2 + y^2 - 2y \cdot y_b + y_b^2$ **Ec. 2.9**
- $d_c^2 = x^2 - 2x \cdot x_c + x_c^2 + y^2 - 2y \cdot y_c + y_c^2$ **Ec. 2.10**

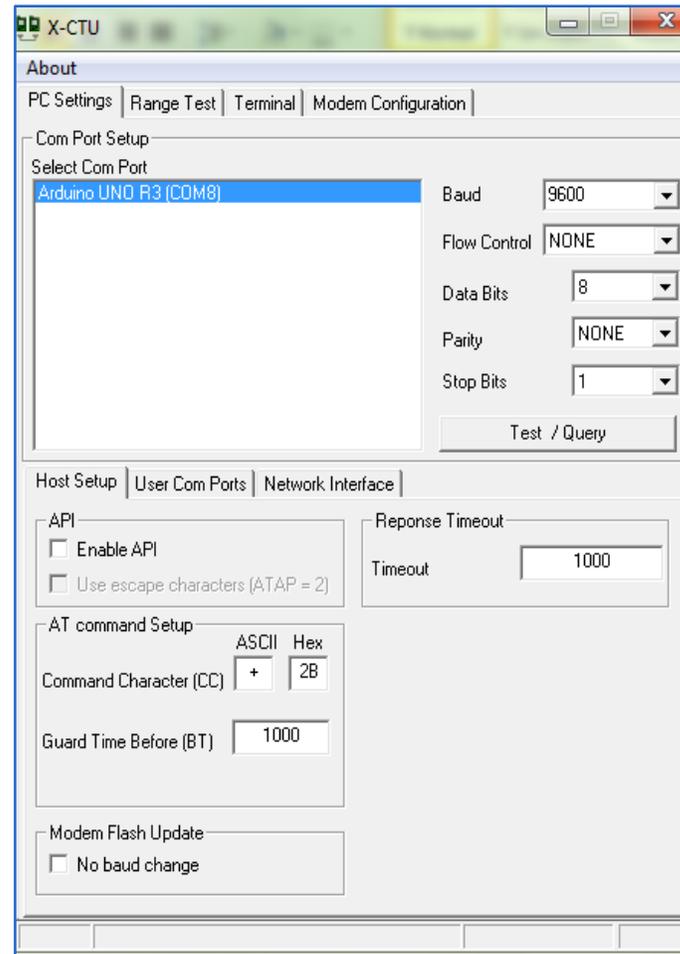
TRILATERACIÓN.

- restando 2 esferas; la ecuación 2.10 de la ecuación 2.9 obtenemos la siguiente ecuación lineal 2.11.
- $d_b^2 - d_c^2 = 2x(x_c - x_b) + x_b^2 - x_c^2 + 2y(y_c + y_b) + y_b^2 - y_c^2$ **Ec. 2.11**
-
- Y restando la ecuación 2.8 de 2.9, obtenemos la siguiente ecuación lineal 2.12;
- $d_b^2 - d_a^2 = 2x(x_a - x_b) + x_b^2 - x_a^2 + 2y(y_a + y_b) + y_b^2 - y_a^2$ **Ec. 2.12**

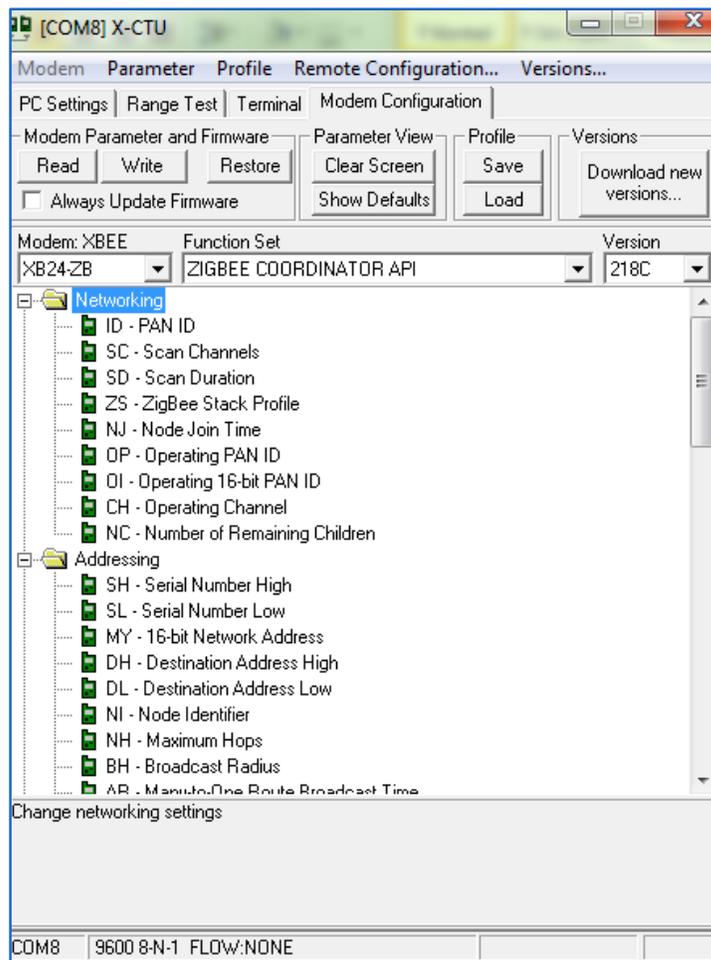
TRILATERACIÓN.

- Reordenando la ecuación 2.11, para producir una variable llamada V_a , tal como en la ecuación 2.13, tal que,
- $x(x_b - x_c) - y(y_b - y_c) = \frac{(x_c^2 - x_b^2) + (y_c^2 - y_b^2) + (d_b^2 - d_c^2)}{2} = V_a$ **Ec. 2.13**
- Reordenando la ecuación 2.12, para producir una variable llamada V_b , tal como en 2.14.
- $x(x_b - x_a) - y(y_b - y_a) = \frac{(x_a^2 - x_b^2) + (y_a^2 - y_b^2) + (d_b^2 - d_a^2)}{2} = V_b$ **Ec. 2.14**
-
- Resolviendo la ecuación 2.13 y 2.14 para obtener los puntos de intersección 'x' e 'y' de estas dos ecuaciones se obtiene 2.15 para el valor de 'y' y 2.16 para el valor de 'x';
- $y = \frac{V_b(x_b - x_c) - V_a(x_b - x_a)}{(y_a - y_b)(x_b - x_c) - (y_c - y_b)(x_b - x_c)}$ **Ec. 2.15**
- $x = \frac{y(y_a - y_b) - V_b}{(x_b - x_c)}$ **Ec. 2.16**

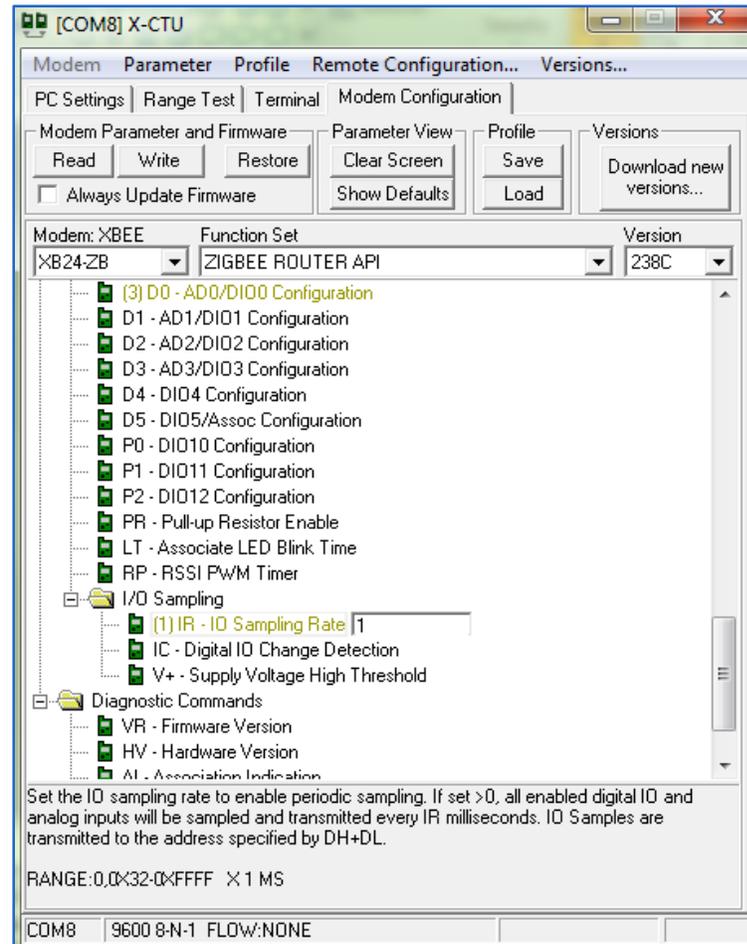
CONFIGURACIÓN DE LOS MÓDULOS XBEE



CONFIGURACIÓN DE LOS MÓDULOS XBEE



CONFIGURACIÓN DE LOS MÓDULOS XBEE



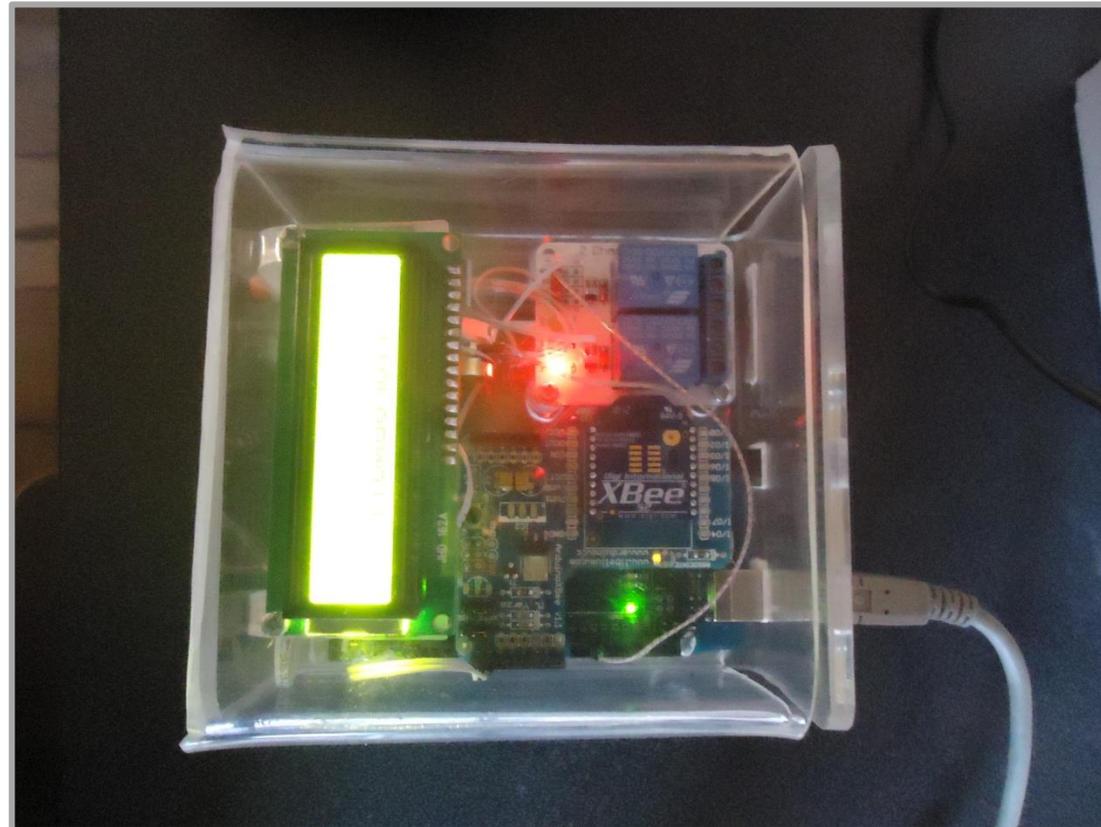
Programación Arduino Mega

```
if (Serial1.available ()>0) {  
  while (Serial1.available ()>0) {  
    int sensorValue = Serial1.read (); //Se datos desde el puerto  
    int ledPins[100];  
    ledPins[i]=sensorValue; //Se asigna a un vector el frame  
    Serial.write (sensorValue); //conectado al shield y se envía hacia  
  } // el puerto conectado al chip FTDI  
}
```

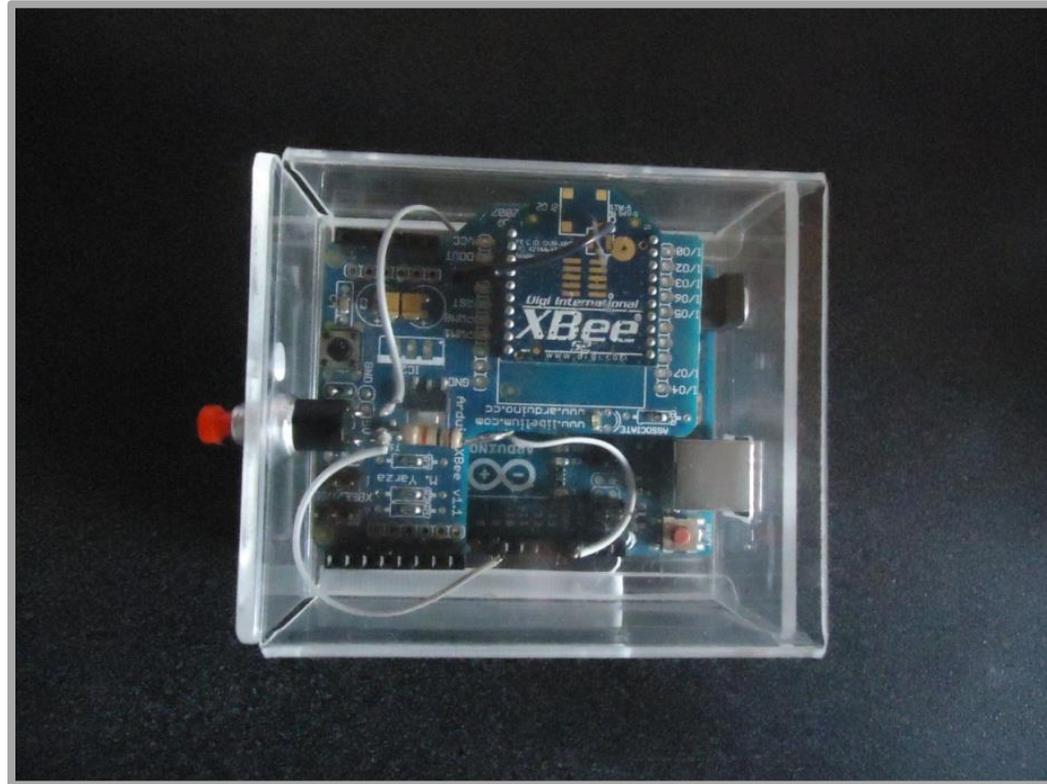
Recepción de datos desde un terminal remoto

```
if (ledPins[3] == 149) {           //preguntamos si el frame es tipo 0x95 si es
    digitalWrite (led, HIGH);     // el caso se activa la alarma que indica que
    digitalWrite(rele, HIGH);     // hay una alarma, activando un indicador
}                                  // LED y un relé
```

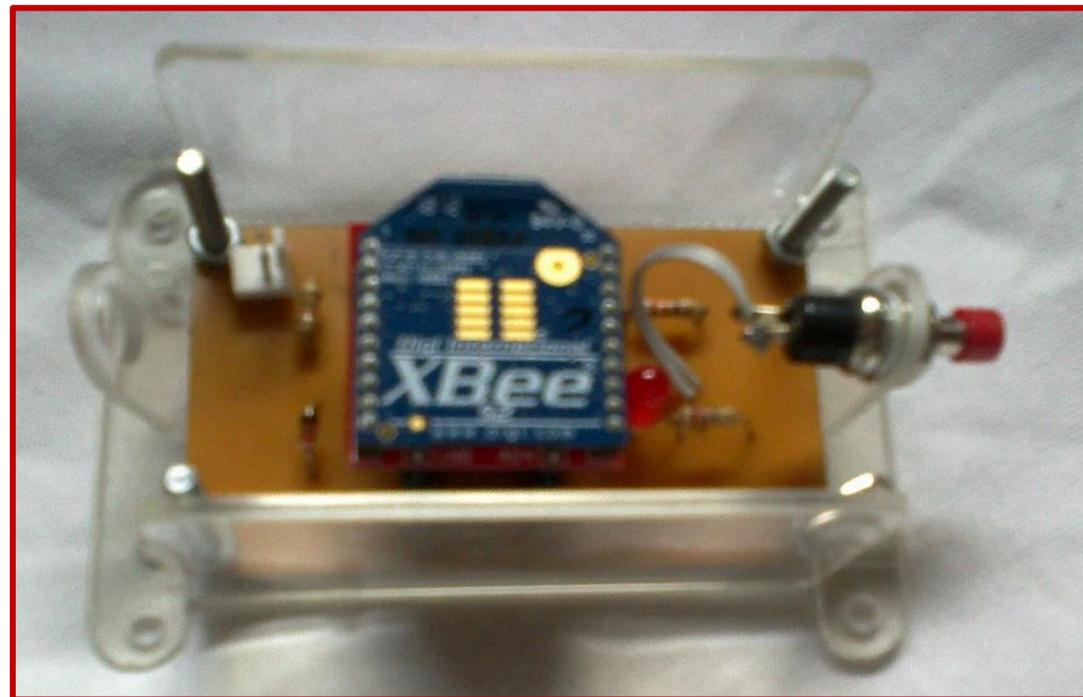
ESTACIÓN BASE



NODO MÓVIL



NODO FIJO



Programación Arduino Uno

```
Serial.print(char(126));  
Serial.print(char(00)); // Enviamos mediante la UART una trama  
Serial.print(char(15)); // solicitando valores de RSSI  
Serial.print(char(23));  
Serial.print(char(01));  
Serial.print(char(00));  
Serial.print(char(00));  
Serial.print(char(00));  
Serial.print(char(00));  
Serial.print(char(00));  
Serial.print(char(00));  
Serial.print(char(255));  
Serial.print(char(255));  
Serial.print(char(255));  
Serial.print(char(254));  
Serial.print(char(02));  
Serial.print(char(68));  
Serial.print(char(66));  
Serial.print(char(100)); //Checksum
```

PANEL FRONTAL PRINCIPAL

VISA resource: I/%

bytes at port: 0

bytes read: 0

Alarm Reference: []

Logic Address: 0

Full Reference: []

Stop Alarm: []

Reset: []

Alarm or Neighbour if localization

Latitud: 0

Longitud: 0

Latitud bus: 0

longitud bus: 0

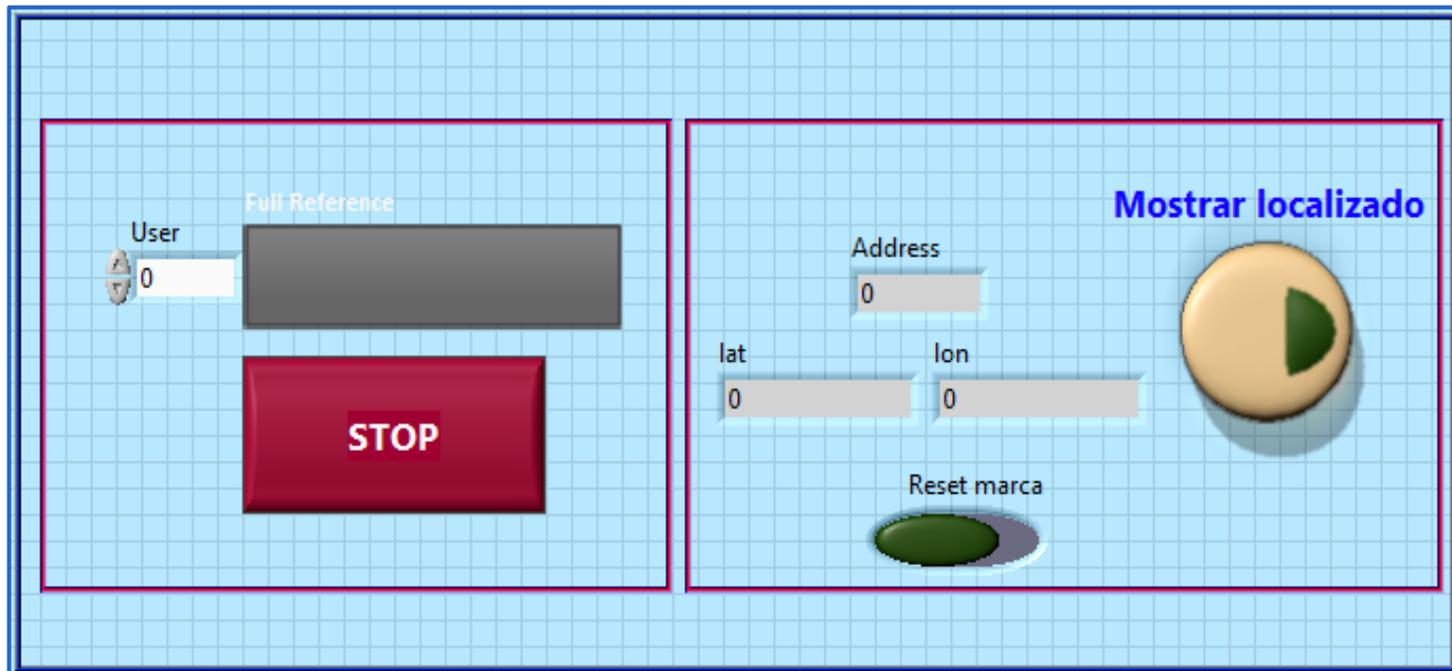
DATOS USUARIOS

| Dirección lógica (16 bits) | Dirección física (64 bits) | Texto Identificativo | Nombre Usuario | Coordenadas | |
|----------------------------|----------------------------|----------------------|------------------|-------------|-----------|
| | | | | Latitud | Longitud |
| D441 | 0013A200409C12A2 | ROUTERMED | Casa Comunal | -1,361667 | -78,66083 |
| 7131 | 0013A20040992CC E | ROUTERAUX | José Ramírez | -1.36181 | -78.66089 |
| 2020 | 0013A200408B2EE8 | AORTIZ | Alberto Ortiz | -1,361667 | -78,66028 |
| BBD9 | 0013A200408BEDC | PLLERENA | Paulo Llerena | -1,36222 | -78,66027 |
| E9B5 | 0013A20040A09C33 | VICHASI | Violeta Chasi | -1,36194 | -78,66111 |
| 892 ^a | 0013A200408B2EBF | DEGRAN | Delia Granja | -1,36166 | -78,66083 |
| C2B8 | 0013A200408B2EF3 | ROBELT | Robert Beltrán | -1.35944 | -78.65972 |
| 8024 | 0013A200408B2ED3 | MSANCHEZ | Marcelo Sánchez | -1.36111 | -78.66138 |
| B483 | 0013A200409C1291 | SGUERRERO | Segundo Guerrero | -1.36233 | -78.66056 |
| 9BF8 | 0013A200408B2EDF | JVASCONEZ | Juan Vásconez | -1.36219 | -78.66127 |
| 5E49 | 0013A2004089B6B9 | EJARA | Elena Jara | -1.36253 | -78.66123 |
| 3040 | 0013A2004089B6BB | SMEJIA | Salomón Mejía | -1.36158 | -78.66081 |
| 78B3 | 0013A20040992D8C | EMIRANDA | Elvira Miranda | 1,36139 | 78,66028 |

ARCHIVO “.KML”

```
<?xml version="1.0" standalone="yes"?>
<kml xmlns="http://earth.google.com/kml/2.0">
  <Document>
    <Placemark>
      <name>Nombre Marca</name>
      <Point>
        <coordinates>-78.66123,-1.36253</coordinates>
      </Point>
    </Placemark>
  </Document>
</kml>
```

Interface para visualizar el Nodo Móvil.



Visualización mediante Google Earth



PRUEBA DE LOCALIZACIÓN



PRUEBA DE LOCALIZACIÓN

| Prueba | Longitud | Latitud |
|--------|-----------|----------|
| 1 | -78.66062 | -1.36119 |
| 2 | -78.66008 | -1.36101 |
| 3 | -78.66083 | -1.36133 |
| 4 | -78.66037 | -1.36149 |



Alcances

- Al tener una red establecida, sirve como una base de una red que puede ser expandida si existen requerimientos de nuevos usuarios ya que una de las propiedades de zigbee es ser escalable, de esta forma se cumple con el objetivos de que sea una alarma comunitaria, ya que los elementos que sirvieron en un inicio para un número mínimo de usuarios, son igual de útiles si se incrementa la misma, haciéndola una red con optimización de recursos.
- Como contamos con elementos que tienen aún mayores prestaciones, los servicios que hasta el momento prestan pueden ser mejorados de tal suerte que el usuario puede adaptarlo y personalizarlo a sus necesidades.
- El HMI, es amigable al usuario, permitiendo así que pueda ser utilizado en la manera de lo posible por todo tipo de persona que se considere en capacidad de usar un PC en su operación más básica, haciendo así innecesario un conocimiento adicional para operar el sistema.

Limitaciones

- Al ser un sistema que en su mayor parte está conectado a la red eléctrica convencional, bajo fallas de energía el sistema quedara obsoleto o sin funcionar.
- Al constar de elementos que si bien presentan beneficios en costo y funcionalidad, como son elementos de baja potencia siempre estarán sujetos a interferencias que los afectaran tales como clima, obstáculos físicos, etc. Serán causas principales de fallo en la estimación de posiciones en el nodo móvil.

CONCLUSIONES

- Al concluir el presente proyecto se ha cumplido con el objetivo planteado que fue el de poner en funcionamiento una red que permita realizar posicionamiento terrestre, además de un sistema de alarma para el barrio Santa Lucía centro del cantón Tisaleo.
- Se desarrolló un algoritmo que permite la localización del nodo móvil, de tal suerte que en cada caso se vean reflejadas las coordenadas que indique la situación geográfica de dicho elemento lo más cercano a su realidad.
- Se diseñó una interface amigable con el operador que no demande conocimientos avanzados de uso de una PC, para la simplificación de su uso.
- Se realizó la construcción de todo el equipo necesario para la operación del sistema ya sea con atención del operador como con ausencia del mismo.
- Se elaboró el correspondiente manual de operador que estará al alcance de la persona encargada de esta función.
- Se entregó a cada uno de los usuarios un instructivo que permita la comprensión del funcionamiento y cuidados necesarios del dispositivo.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que los dispositivos estén siempre conectados a la red eléctrica puesto que su alimentación depende de la misma, y no deben dejar de funcionar para que exista la red tipo malla.
- Realizar la instalación de los dispositivos considerando la mejor ubicación que minimice los efectos ambientales sobre las comunicaciones inalámbricas.
- Procurar realizar una verificación coordinada de los dispositivos para que su funcionamiento sea como el esperado y no exista problemas bajo una alarma real.
- Es necesario que si existe la necesidad de reubicar un dispositivo en el domicilio, se notifique previamente ya que dichos elementos se encuentran ubicados de tal forma que permitan la comunicación con el resto de la red, y cambios sin consideración de esta recomendación, causarían el malfuncionamiento de la malla.
- Se considera como recomendación a tomar muy en cuenta la responsabilidad que demanda la activación de una señal de alarma, ya que si es falsa, creara pánico en los habitantes del barrio omitiendo la importancia de una posible alerta real.