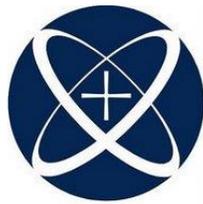


INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE
Departamento de Electrónica, Sistemas e Informática

Desarrollo tecnológico y generación de riqueza sustentable

PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)
Programa de ciudades inteligentes



ITESO
Universidad Jesuita
de Guadalajara

4L05 – Vida Digital

**Red de monitoreo ambiental del campus ITESO: elaboración de redes de
sensores inalámbricos**

PRESENTAN

Programas educativos y Estudiantes

Lic. En Ing. Electrónica, Luis Fernando Morán Reyes

Profesor PAP: Mtro. Luis Eduardo Pérez Bernal

Tlaquepaque, Jalisco, mayo de 2017

ÍNDICE

Contenido

REPORTE PAP	2
Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional	2
Resumen	2
1. Introducción	3
1.1. Objetivos	3
1.2. Justificación.....	3
1.3 Antecedentes	3
1.4. Contexto.....	4
2. Desarrollo	4
2.1. Sustento teórico y metodológico	4
2.2. Planeación y seguimiento del proyecto	5
3. Resultados del trabajo profesional.....	22
4. Reflexiones del alumno o alumnos sobre sus aprendizajes, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto.....	23
5. Conclusiones	25
6. Bibliografía.....	27
Anexos (en caso de ser necesarios).....	27

REPORTE PAP

Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional

Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) son una modalidad educativa del ITESO en la que el estudiante aplica sus saberes y competencias socio-profesionales para el desarrollo de un proyecto que plantea soluciones a problemas de entornos reales. Su espíritu está dirigido para que el estudiante ejerza su profesión mediante una perspectiva ética y socialmente responsable.

A través de las actividades realizadas en el PAP, se acreditan el servicio social y la opción terminal. Así, en este reporte se documentan las actividades que tuvieron lugar durante el desarrollo del proyecto, sus incidencias en el entorno, y las reflexiones y aprendizajes profesionales que el estudiante desarrolló en el transcurso de su labor.

Resumen

El objetivo de este proyecto es formar una red de sensores inalámbrica que pueda almacenar valores obtenidos a un servidor en línea. Este semestre de trabajo se basó en la creación y establecimiento de la red en diferentes niveles para poder encontrar diferentes variables de distancia y alcance de los módulos y al mismo tiempo probar el sistema como un conjunto. También se trabajó en la parte digital, con el programa en código el cual dirigía las mediciones obtenidas de los sensores hacia el servidor en línea.

Se obtuvieron resultados satisfactorios en todo lo realizado, se encontraron puntos funcionales en donde la red se puede establecer y comunicar entre sí de manera correcta y el programa realizado es capaz de captar los datos recibidos y transmitirlos a la red.

1. Introducción

1.1. Objetivos

Se busca la elaboración de una red inalámbrica en la cual se puedan comunicar módulos ZigBee que obtienen información de sensores específicos, que toda esta información llegue a un módulo coordinador y que se almacene en un servidor por medio del internet. Para esto se trabajó en forma de bloques, separando lo que se necesitaba hacer por tiempo, dependencia o las dos. Tratando de que se llevara una línea de trabajo concisa y entendible en la cual se podría llegar a los resultados deseados.

1.2. Justificación

Este proyecto se plantea para la resolución o prevención de diferentes problemas ambientales como la escasez y el mal uso del agua, el cuidado a la flora y fauna, la contaminación, entre otros. Por esto el proyecto es de extrema importancia no solo para la institución si no también la sociedad como conjunto.

Se espera que al acabar el proyecto se tenga un mejor control sobre las áreas verdes del ITESO, y de este modo evitar gastos de agua innecesarios al igual que proteger la flora ya que será mucho más fácil y rápida la reacción a cualquier estado inconveniente de estas mismas áreas.

1.3 Antecedentes

El proyecto se venía trabajando desde hace unos años, durante los cuales se decidió la ruta más efectiva y al mismo tiempo eficiente para la resolución de todas las problemáticas descritas. Se vio necesario utilizar módulos específicos para la formación de

la red inalámbrica, al igual que una variedad de sensores que nos puedan dar la información necesaria.

1.4. Contexto

En la actualidad el estado de Jalisco se está viviendo problemas a causa de la falta de agua o contaminación en ella, cada vez hay más desarrollos de vivienda que causan una demanda adicional de agua. Esto causa problemas de sobreexplotación en los mantos acuíferos y al mismo tiempo contaminación en estas fuentes naturales de agua que nos abastecen, esto, a su vez causa un gasto económico mayor para poder potabilizar dicha agua.

Por otro lado, en la región, también existe una gran contaminación en el aire, siendo uno de los primeros lugares por contaminación de ozono en el país con un aproximado de 2.6 millones de automóviles circulando por el estado siendo de los principales causantes.

Estas son algunas de las razones por las cuales el proyecto se enfoca a temas ambientales los cuales son de gran importancia en estos momentos.

2. Desarrollo

2.1. Sustento teórico y metodológico

Toda la información referente al sustento teórico y metodológico se encuentra en los anexos al final del documento, contiene la información técnica base de los módulos al igual que la parte técnica necesaria para el desarrollo de todas las partes del proyecto.

2.2. Planeación y seguimiento del proyecto

- Descripción del proyecto

El proyecto se abordó bajo una propuesta de dependencias, en donde lo que se realizaba dependían estrictamente de lo realizado en las instancias anteriores, ya que sin estas lo siguiente no se podría realizar. Esto se trabajó así por la relación tan grande que lleva el proyecto con la parte tecnológica y la necesidad de acabar la implementación de una parte para poder utilizarlo en la siguiente y así llegar a la realización completa del proyecto.

Por ejemplo, se era necesario realizar pruebas de alcance en donde el resultado fuera la distancia máxima que transmite un módulo ZigBee en una cierta dirección, pero para esto, era necesario tener programado uno de los módulos y al mismo tiempo tener listo una tarjeta en donde se conectaría el módulo. En este caso cada uno de estos pasos serían las instancias de trabajo, en donde se tiene que tener listo primero la parte física de la tarjeta en donde se conecta el módulo y después el módulo programado para ya al final poder realizar las pruebas.

- Plan de trabajo

El trabajo del proyecto se separó o dividió en semanas en donde se tenía previsto de cierto modo lo que se tendría que realizar. La tabla a continuación denota lo que se tenía previsto y lo que se trabajó durante dichas semanas:

Semanas ----- Trabajo realizado.	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6
Investigación LoRa						
Investigación ZigBee						
Investigación Sensores						
Ajustes, investigación o creación de código						
Trabajo práctico 1*(1)						
Trabajo experimental con módulos ZigBee 1*(2)						
Trabajo experimental con módulos ZigBee 2*(3)						
Trabajo o actividad profesional*(4)						

Semanas ----- Trabajo realizado.	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11
Investigación LoRa					
Investigación ZigBee					
Investigación Sensores					
Ajustes, investigación o creación de código					
Trabajo práctico 1*					
Trabajo experimental con modulos ZigBee 1*					
Trabajo experimental con modulos ZigBee 2*					
Trabajo o actividad profesional*					

Semanas ----- Trabajo realizado.	Semana 12	Semana 13	Semana 14	Semana 15	Semana 16
Investigación LoRa					
Investigación ZigBee					
Investigación Sensores					
Ajustes, investigación o creación de código					
Trabajo práctico 1*					
Trabajo experimental con módulos ZigBee 1*					
Trabajo experimental con módulos ZigBee 2*					
Trabajo o actividad profesional*					

Tabla de Referencias (*)	Información
Trabajo práctico 1	Se refiere a actividades que se realizaron adentro o afuera del laboratorio pero que no directamente ligadas con el funcionamiento o utilización de los módulos ZigBee. Por ejemplo, el soldar o ajustar una PCB.
Trabajo Experimental con módulos ZigBee 1	Denota trabajo experimental o practico en donde se trabajó con los módulos ZigBee adentro de los laboratorios. Por ejemplo, el programar o el probar los módulos sin importar la distancia.
Trabajo Experimental con módulos ZigBee 2	Trabajo experimental o practico afuera del laboratorio, en donde se hacen pruebas con resultados reales que benefician al proyecto.
Trabajo o actividad profesional	Se refiere a la creación de todos documentos y bitácoras en donde se recopilaban los datos obtenidos de las diferentes actividades.

La tabla que se acaba de presentar muestra diferentes trabajos y actividades, de las cuales podemos separar en actividades de diferentes tipos; el trabajo profesional es justamente de ese mismo tipo, profesional. Aparte de esto, mayormente todas las demás actividades se podrían considerar técnicas por su aspecto como trabajo tecnológico.

Durante la realización del proyecto se utilizaron diferentes recursos; como ya se había definido, los recursos materiales y tecnológicos son todos los módulos ZigBee, Libelium, Arduino y tarjetas extras que se utilizaron para la creación de la red inalámbrica.

Específicamente para la parte del proyecto que se trabajó en este semestre, no se necesitaron recursos económicos, ya que todo lo requerido ya se había adquirido por el ITESO en otro momento.

Fueron necesarias muchas personas en diferentes niveles y partes del proyecto; principalmente se trabajó con el profesor Jorge Pardiñas como referencia en dudas hacia la parte técnica del trabajo realizado. También se necesitó y solicito ayuda de Servicios Generales del ITESO para poder facilitar la utilización de las azoteas de algunos edificios para ciertas partes de la realización experimental del proyecto.

Como se acaba de comentar, el profesor Jorge Pardiñas actuó como el asesor del proyecto en la parte tecnológica. Por lo cual se vio necesario programar al menos una visita de asesoría cada quince días. Aunque realmente las juntas realizadas fueron más ya que era necesario apoyarse con él en cualquier momento que se tuviera una duda importante.

- Desarrollo de propuesta de mejora

En este apartado se expondrá lo elaborado durante las 16 semanas y se tratará de seguir la línea de tiempo que se muestra en la tabla anterior.

Al empezar el semestre y durante las primeras 2 semanas no se conocía cual proyecto en específico se trabajaría, por lo cual se realizó una investigación sobre LoRa (Long Range Radio), esta tecnología inalámbrica es destinada principalmente para redes de proyectos de internet de las cosas. Lo importante de esta tecnología es que tienen alcances de hasta 15km y su utilización de modulación de espectro amplio que generan muchos beneficios en la parte de transmisión y recepción de datos.

Lamentablemente alrededor de la semana 3, se decidió que se trabajara exclusivamente en este proyecto de Arboles ITESO, en el cual no se utiliza la tecnología LoRa si no otra tecnología llamada ZigBee. Si se requiere más información sobre LoRa, la investigación que se realizó se encuentra en los anexos (Anexo 1).

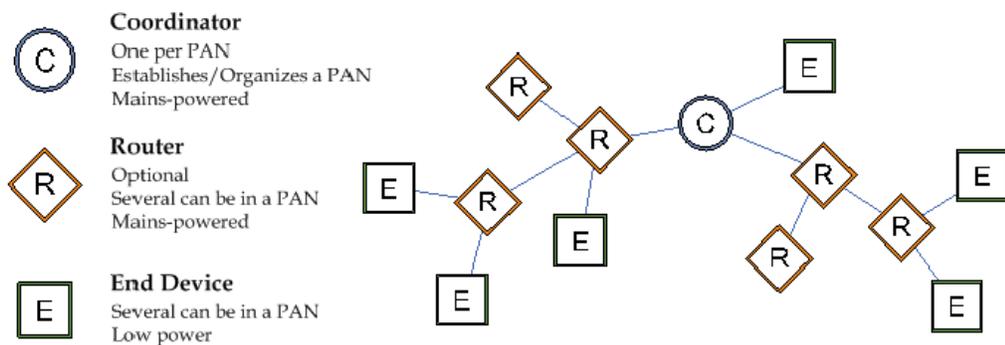
ZigBee se le llama a un conjunto de protocolos que también se utilizan para crear redes inalámbricas, de bajo costo y bajo consumo de potencia. En este caso utiliza modulación más tradicional y solo transmite a una sola frecuencia. Este conjunto de protocolos pueden parecer similares a otras redes inalámbricas como Bluetooth o Wi-Fi, pero con la diferencia que ZigBee transmite a una velocidad mucho más lenta por que intenta maximizar la vida útil de sus baterías.

Los módulos que se utilizaron son los Digi Xbee ZigBee y Digi Xbee-PRO ZigBee, los cuales son módulos programables prefabricados que solo necesitan un poco de manejo para que empiecen a funcionar como se necesita.



Una parte importante de estos módulos es la forma que pueden trabajar dentro de una red, pueden ser activados como coordinador, router o End Device.

Dependiendo de que se necesite realizar es como se utiliza el dispositivo, en la imagen siguiente se presenta un ejemplo de una red.



Normalmente un módulo como coordinador se encarga de recibir todos los datos provenientes de los demás dispositivos en la red, se encarga de recopilar todo.

Un módulo como router se encarga de comunicar los diferentes end points y el coordinador en la red cuando la distancia entre ellos es demasiado lejos.

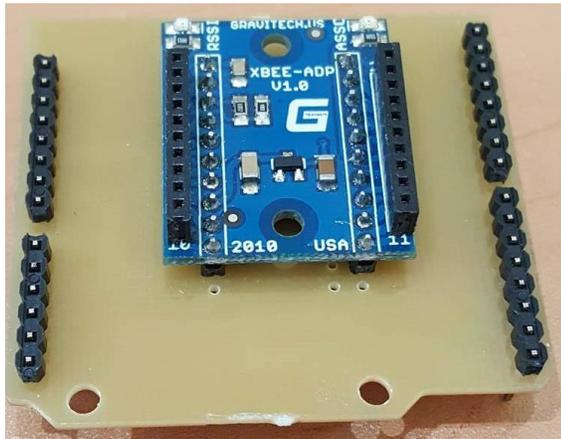
Y un módulo en forma de end point se encarga de, en este caso, recopilar los valores de los sensores y comunicarlos a los niveles arriba con un tiempo específico.

Para poder programar los módulos se utiliza la herramienta XCTU proporcionada por el fabricante. Con el manual de usuario de estas tarjetas se obtuvo la información necesaria para poder programarlo con las configuraciones que nos funcionarían de mejor forma (en el Anexo 2 se encuentra la información

importante del manual de usuario de estos módulos y en las referencias bibliográficas se encuentra el manual completo).

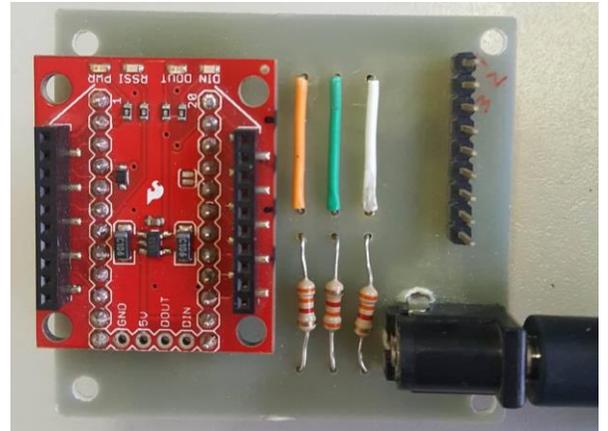
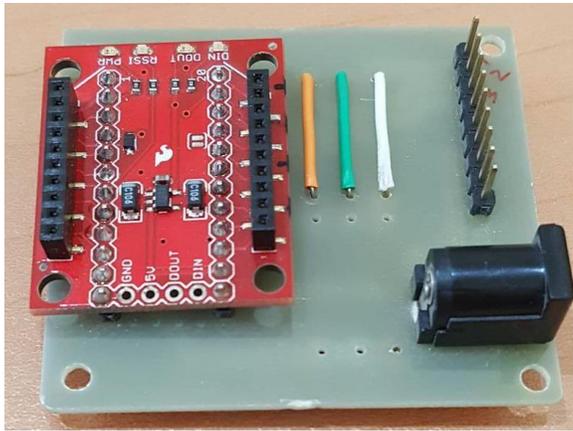
Se empezó con trabajo más concreto después de las investigaciones, se trabajó en un código para un Arduino uno el cual se conectaría a un módulo ZigBee como los vistos anteriormente en forma de coordinador. De esta forma, el módulo coordinador transmitiría todo lo recibido mediante comunicación serial hacia el Arduino, el cual, se encarga de leer y desplegar los valores en una terminal.

El dispositivo ZigBee tenía un escudo realizado anteriormente justamente para permitir realizar lo anterior, en el cual era necesario cambiar unas pistas de lugar, ya que se tenía pensado que en un futuro integrar otro escudo prefabricado de Wi-Fi el cual permitiría que los datos fueron alimentados a un servidor en línea.



Se cambiaron las pistas para que se pudiera utilizar un receptor serial virtual en el Arduino en los pines 3 y 4 en vez de los pines 1 y 2 (ya que los pines 1 y 2 son el serial que utilizaría el escudo Wi-Fi).

Por otra parte, se completó una PCB en el cual se monta un dispositivo en forma de End Device, se le agregaron resistencias para que se creara un divisor de voltaje que permitiera la comunicación entre los sensores y el dispositivo de forma correcta.



Como se puede notar en las imágenes, en la parte superior derecha de la tarjeta se encuentran pines, estos son lo que se utilizan para conectar los sensores.

A preparación de las pruebas de alcance de los dispositivos, se programaron todos los sensores a la misma PAN ID que significa que todos se conectarán entre sí, al igual que se manipularon diferentes configuraciones para que funcionaran de la forma deseada.

En la tabla siguiente se denota la información importante de cada módulo que se programó, estos serán usados para las prácticas de alcance:

	Núm. Ser. high	Núm. Ser. low	Tipo	Más información	Wake/sleep (s)
1	0013A200	40C26E1F	Coordinador	PAN ID = 2015, channel search -> E777	Always wake
2	0013A200	40C668F0	End device	AD0 y 3 como ADC, DIO4 como salida digital	.3 / 1
3	0013A200	40B3A871	End device	AD0 1 y 2 como ADC, DIO4 como salida digital	5 / 5
4	0013A200	40B9C691	End device	AD0 y 3 como ADC, DIO4 como salida digital	5 / 5

Para las pruebas primarias de alcance se decidió que se pondría el módulo End Device entre el edificio R y la biblioteca del ITESO. Para esto se montó una placa de

metal a un faro de luz en ese lugar. Se facilitó el trabajo ya que se tiene una toma de corriente en ese mismo lugar.

Entonces lo que se realizó fue, colocar un módulo Zigbee PRO conectado a la alimentación en modo End Device. Del otro lado se conectó un módulo Zigbee en modo coordinador a una laptop y nos empezamos a alejar del primer módulo.

Para poder saber cómo llegaba la señal lo que hicimos fue mandar un comando AT, el cual hace que el módulo responda dando el valor de que con cuánta potencia recibió el comando. Esto fue en lo que nos basamos para poder determinar en qué lugares se recibe de forma correcta y en cuáles no.

Para referencia se utilizaron módulos Zigbee PRO con sensibilidad de aproximadamente 100dB, aunque para asegurarnos que los valores si lleguen correctamente se trató de utilizar hasta un máximo de 90dB más o menos.



A continuación, se presenta el mapa del ITESO en donde se denota las ubicaciones y los valores de potencia recibidos:





También se presenta la tabla con los valores obtenidos de las estas pruebas primarias:

Ubicación	Medición (dB)
Referencia	0x29
Esquina R	0x34
Edificio A 303	0x55
Edificio B	0x54 – 0x57
Edificio C 201	0x52- 59 – 5b
Edificio D 301	0x60
Auditorio D2	0x56 – 5b
Edificio T	NULL

Se decidió colocar un módulo Libelium (con comunicación ZigBee) en el edificio B para que mida diferentes condiciones del ambiente como calidad de aire. Se instaló un dispositivo Libelium porque no había formas fáciles de tener una toma de corriente en la ubicación y estos módulos tienen una batería muy grande además de celdas solares que los hacen auto suficientes.

El problema de todo esto es que, como se nota en la tabla de resultados de la primera prueba de alcance, los módulos en el edificio B y a lado de la biblioteca no tienen suficiente potencia para conectarse directamente con el coordinador ubicado en la azotea del edificio T.

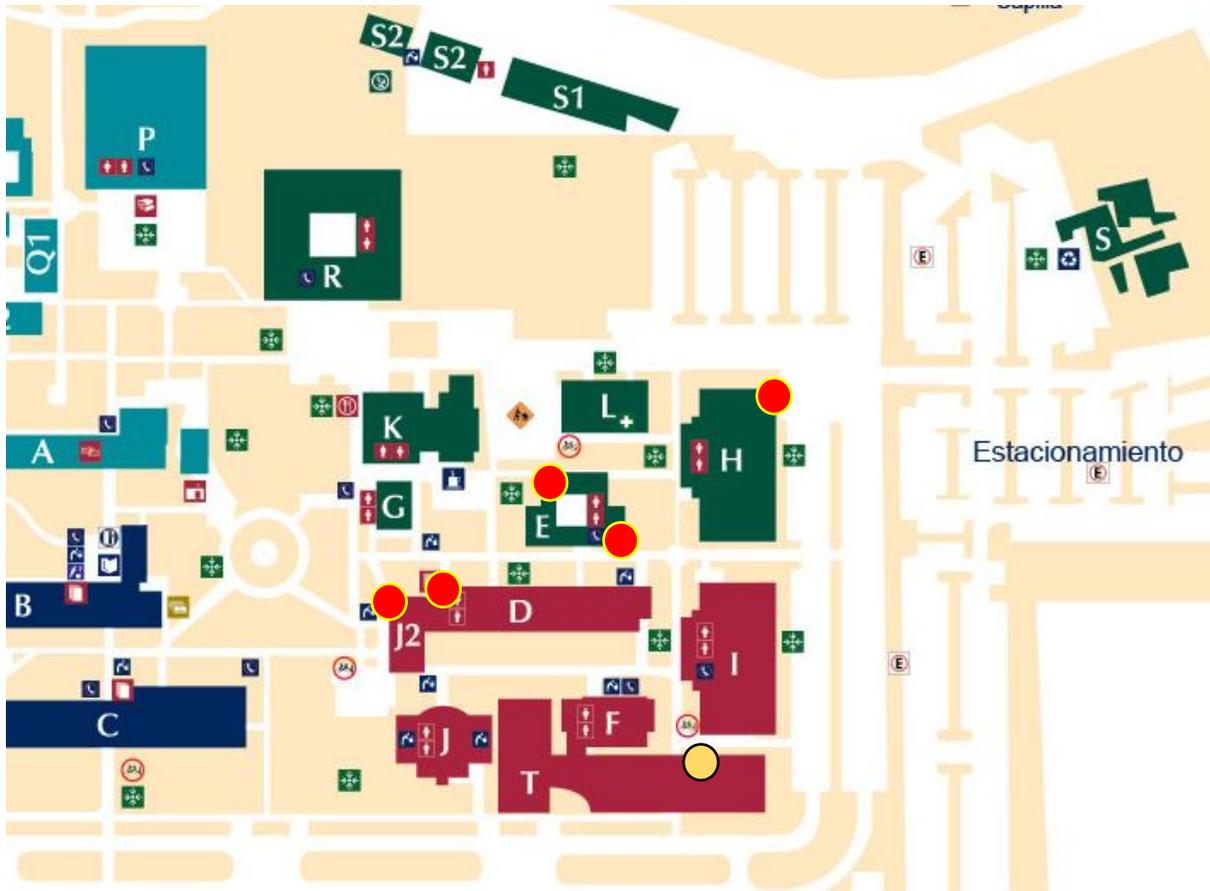
Por lo tanto, se realizó una segunda prueba de alcance en donde se solicitó acceso a azoteas de diferentes edificios del ITESO para tener resultados más congruentes con lo que realmente se verá cuando la red este en su lugar.

Esta vez no se utilizó un comando AT para realizar el examen de alcance, se utilizó la herramienta del programa XCTU de prueba de alcance que aparte de darnos un valor en decibeles, también nos da un porcentaje de paquetes enviados correctamente.

Las mediciones fueron centradas al coordinador que se encuentra en la azotea del T (punto amarillo del siguiente mapa), la medición del edificio H es para revisar si es posible conectar el módulo ya existente en la planta de agua a esta red de sensores.

Las demás mediciones son en busca de un punto que una los módulos antes colocados hacia el coordinador.

Mediciones realizadas entre el coordinador que se encuentra en la azotea del T y nuestro módulo móvil:



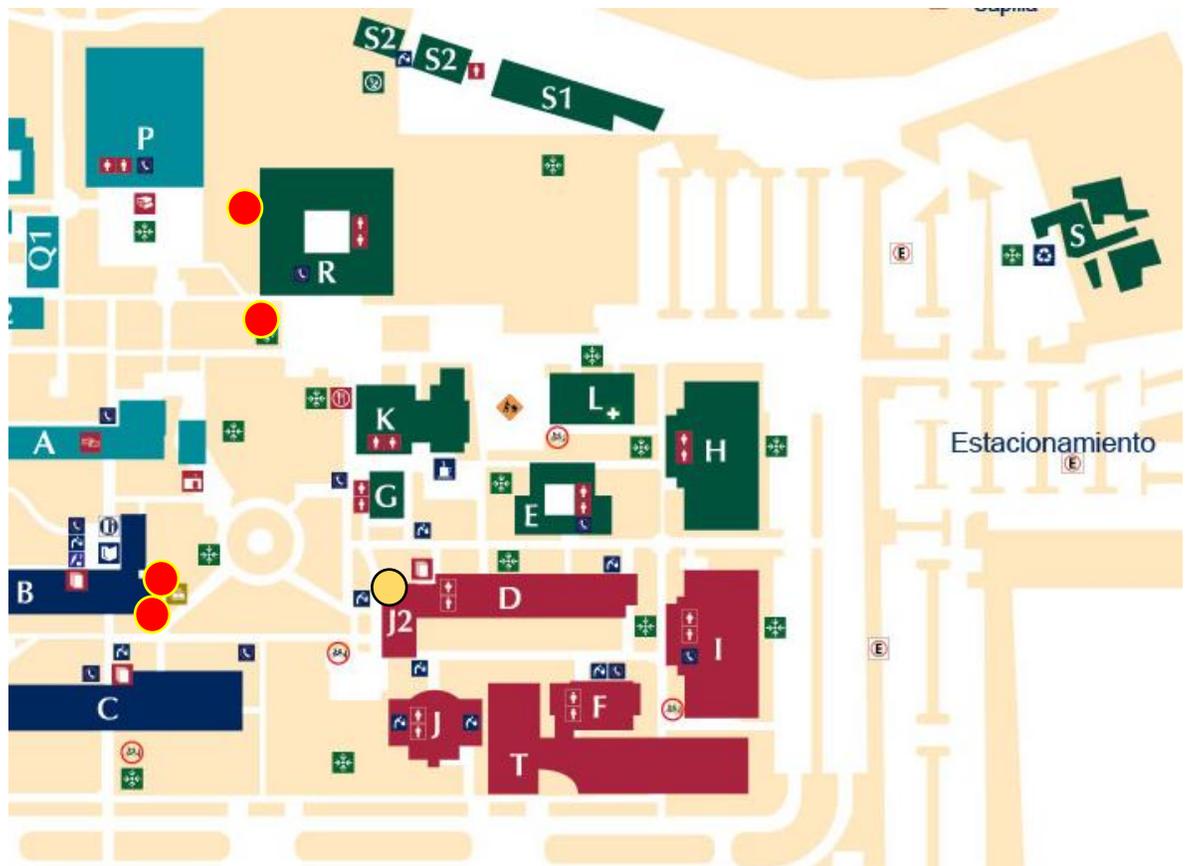
También se presenta la tabla con los valores obtenidos de las estas pruebas secundarias:

Ubicación	Local dBm	Remote dBm	Packs sent	Packs recv	Tx Errors	Packs lost	Succ Rate
Edificio H - Esquina Estacionamiento	-66	-67	100	99	0	1	99%
Edificio E - Esquina Cafetería	-83	-84	100	96	4	0	96%
Edificio E – Esquina hacia edificio T	-81	-87	100	95	4	1	95%
Edificio D Esquina edificio cafetería	-83	-81	100	89	10	1	89%
Edificio D Esquina hacia cafetería arriba de auditorio	-79	-76	100	99	0	1	99%

Con esto se seleccionó el punto en la azotea de los auditorios del D como el área en donde se tiene que colocar el router. Por lo tanto, se colocó un módulo temporal Libelium en ese punto para que se hicieran más pruebas ahora como si ese punto fuera el coordinador.



Mediciones realizadas entre el router que se posiciono en la azotea del D arriba de los auditorios y nuestro módulo móvil:



También se presenta la tabla con los valores obtenidos de las estas pruebas secundarias:

Ubicacion	Local dBm	Remote dBm	Packs sent	Packs recv	Tx Errors	Packs lost	Succ Rate
Edificio B - A lado del módulo existente	-70	-64	100	97	3	0	97%
Edificio B – En el poste que contiene el módulo existente	-77	-70	100	89	11	0	89%
Edificio R – afuera del edificio por enfrente	-84	-79	100	91	7	2	91%
Edificio R – en el módulo ubicado en el camino de los arboles	-86	-84	100	73*	26*	1*	73%*

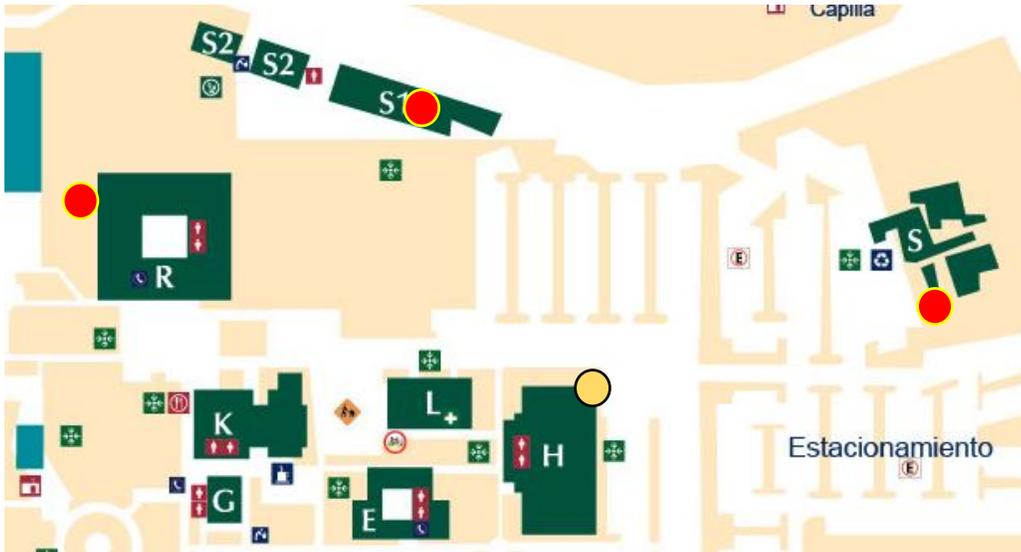
* - se notó que al realizar la prueba al final parece que se desconectó, causando casi todos los 26 errores de TX, antes de esto la comunicación se estaba realizando de forma normal.

Considerando que la comunicación es adecuada en este punto medio entre el Coordinador y los End Device, se dejó el módulo Libelium en ese espacio, esperando que se haga la comunicación de todos los dispositivos correctamente.

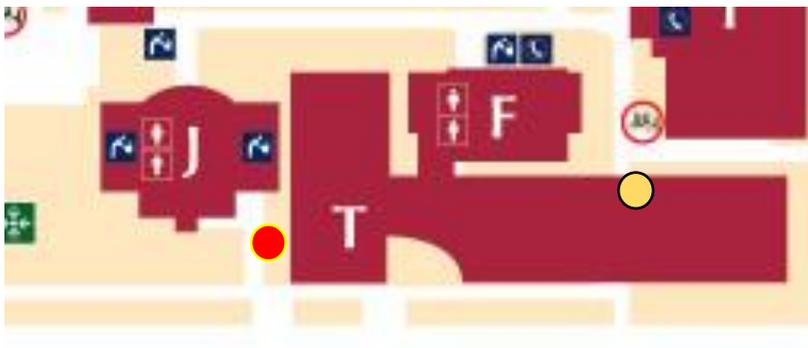
También se tiene programado otra prueba de alcance ahora en diferentes puntos, en busca de otros puntos en donde se puedan poner más dispositivos End Device. Se tendrán los resultados para el inicio de la semana 16.

Los siguientes mapas denotan los puntos de prueba que se tienen pensado hacer:

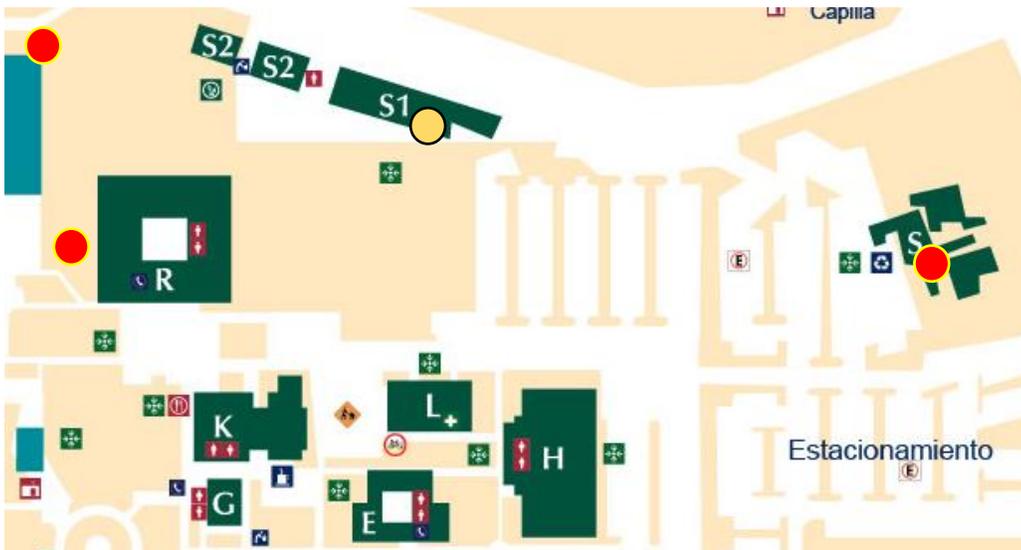
Con el router en la azotea del edificio H:



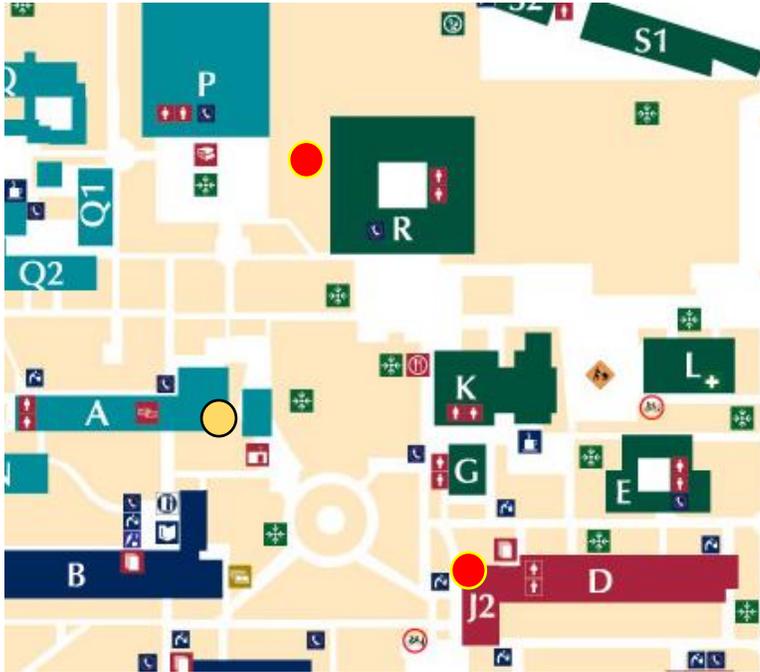
Con el Coordinador en la azotea del edificio T:



Con el router en la azotea del edificio de servicios generales:



Con el router en la azotea del edificio A:

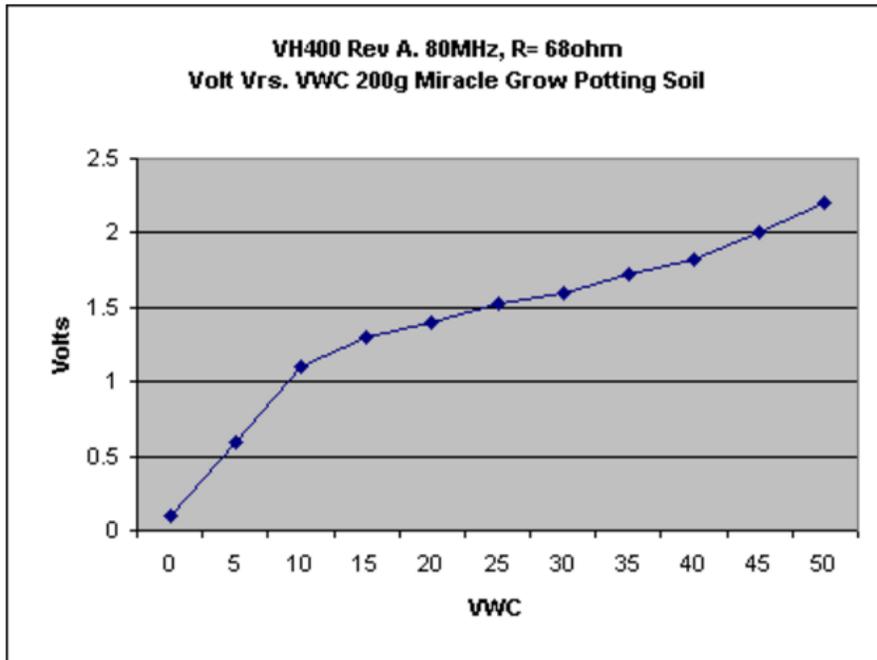


Además, se realizó un ajuste en el código en la parte de recepción e identificación de datos. Los sensores regresan un valor de voltaje entre un rango de 0 a 3.3 volts, pero para poder identificar que significa ese voltaje fue necesario apoyarnos en la investigación de los señores realizada al principio.

Por lo tanto, se necesitaba saber que regresaban como resultados de 2 sensores: el de humedad en la tierra (Vegetronix VH400 Soil Moisture Sensor Probes) y el de temperatura (Vegetronix Soil Temperature Sensor Probes - THERM200).

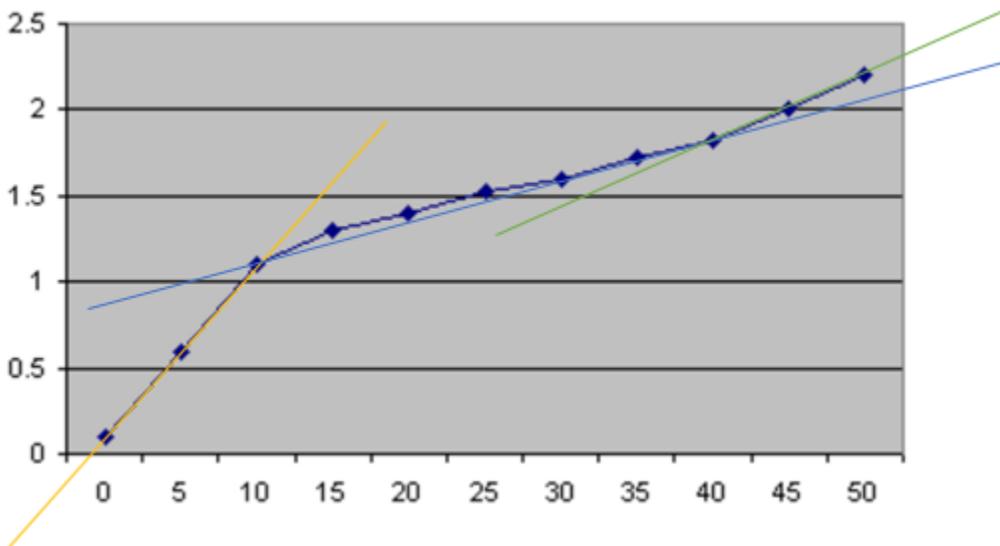
Vegetronix VH400 Soil Moisture Sensor Probes:

Para este sensor la salida del mismo no es linealmente proporcional, si no que su respuesta de salida tiene una curva de resultados, la cual se puede ver en la siguiente imagen (proporcionada por el fabricante):



Para esta parte es necesario partir la curva en un conjunto de rectas que puedan describir el comportamiento del voltaje de la salida de una forma relativamente cercana.

Por lo cual se decidieron rectas que conforman la curva de la siguiente forma:



Al final de desarrollar estas rectas obtuvimos los siguientes resultados que nos detallan como obtener el valor que queremos del sensor de humedad en la tierra, esto se incluirá en el código.

Para valores de salida de 0 a 1.1 volts $VWC=11.3636 * V_{out}$

Para valores de salida de 1.1 a 1.8 volts $VWC=42.85 * V_{out} - 34.635$

Para valores de salida de 1.8 a 2.2 volts $VWC=25 * V_{out} - 2.5$

Vegetronix Soil Temperature Sensor Probes - THERM200:

Para el sensor de temperatura la salida de voltaje es linealmente proporcional con la temperatura que está midiendo; el voltaje de salida es de 0 a 3 volts y mide temperaturas de -40 grados centígrados hasta los 85 grados centígrados. El voltaje mínimo 0 representa la temperatura de -40 grados centígrados y el voltaje máximo de 3 representa 85 grados centígrados.

Entonces los valores deseados se pueden obtener para grados centígrados y grados Fahrenheit de las siguientes formas:

$T \text{ en C} = V_{out} * 41.6666 - 40$

$T \text{ en F} = V_{out} * 75 - 40$

3. Resultados del trabajo profesional

Los productos obtenidos del trabajo realizado en el semestre son, primeramente, una red inalámbrica por medio de módulos ZigBee capaces de transmitir las mediciones de los sensores de los diferentes puntos de importancia en el ITESO (y

con capacidad de expansión) hacia un módulo coordinador que los reenvía hacia un servidor en línea por medio de Wi-Fi. También se obtuvo un código de Arduino que permite recibir la información de los dispositivos ZigBee, empaquetarla y mandarla al servidor en el formato del mismo (Este es el código que se encuentra en el módulo coordinador).

Además, se lograron una cantidad de tarjeta de conexión en donde se conectan los dispositivos ZigBee para realización de pruebas o para ser usados ya directamente en nuevos módulos alrededor del ITESO.

Otra parte importante obtenida es la información necesaria para poder decidir cómo y dónde colocar más módulos con sensores o módulos router dependiendo de las necesidades del proyecto.

4. Reflexiones del alumno o alumnos sobre sus aprendizajes, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto

- Aprendizajes profesionales

En este proyecto trabajé mucho con mis conocimientos que desarrollé durante lo que llevo de mi carrera, sobre todo en la parte de la creación del código para el módulo coordinador y en la parte matemática de la obtención del valor real de la curva de respuestas del sensor de humedad. Esto especialmente ya que se necesitaba una forma específica de resolución que no había trabajado desde hace muchos semestres.

También se necesitó mucho trabajo en equipo porque, aunque no tenía un compañero alumno, se trabajó muy cercanamente con el profesor asesor, sobre todo en la parte de toma de decisiones de lo que se tenía que realizar y la organización de esto mismo.

Además, y en conjunción con el trabajo en equipo, se trabajó mucho la responsabilidad, especialmente al estar como el único alumno realizando el proyecto, porque, si alguna parte del trabajo no la realizaba yo no se iba a realizar.

- Aprendizajes sociales

Gracias a lo que busca realizar el proyecto en sí, ya se trabaja en busca una mejora social, especialmente en el sector ambiental. Al ser un proyecto de este tipo les conlleva beneficios a todos los sectores sociales sin importar las diferencias entre ellos, aunque se vean impactados de una manera directa o indirecta.

Aunque sea difícil evidenciar todos los beneficios o impactado obtenidos indirectamente (y que tampoco se pueden tener previstos), podemos observar como la sociedad poco a poco se toma la conservación y mejora del ambiente con más importancia.

Especialmente con proyectos como estos en donde se utilizan dispositivos con bajo costo, ya que, da la capacidad e idea a otros grupos sociales a implementar sistemas similares.

Al final de todo me siento capaz de elaborar y desarrollar proyectos como el trabajado durante el semestre, trabaje mucho en la toma de decisiones basándome mucho principalmente en los objetivos, primeramente, del proyecto en sí como el desarrollo del código por ejemplo y después en los objetivos finales en donde ya se incluye la mejora social ya comentada anteriormente.

- Aprendizajes éticos

Este proyecto me ayuda a darme cuenta de los problemas que atravesamos como sociedad y desde mi punto de vista como egresado de mi carrera, como poder ayudar con mis conocimientos a resolver estos problemas.

Me ayudó a que mis decisiones no solo las tomaré para el beneficio propio, si no en base a lo que existe, poder tomar una decisión que no solo me ayude o me auto beneficie sino como estas decisiones se pueden realizar basándome en un beneficio social.

- Aprendizajes en lo personal

El proyecto me ayudo a vivir experiencias nuevas, en cierta parte parecidas a trabajar en donde tú tienes que realizar un cierto trabajo y la responsabilidad es tuya solamente. Me ayudo a ver cómo reacciono en momentos específicos y como decido realizar o desarrollar una idea.

También me ayudo a darme cuenta de algunas problemáticas que se tienen en el país y en el mundo y como se pueden resolver, y sobre todo me ayudo a darme cuenta que en cualquier trabajo es necesario organización y trabajo en equipo.

5. Conclusiones

En general se logró lo todo lo que se planeó, pero, se tenía considerado que un grupo de estudiantes trabajaran en el proyecto, por lo tanto, las metas también estaban escaladas hacia esto.

Por esto, no se logró todo en sí, aunque la red de módulos ZigBee si se desarrolló e instalo, tomo mucho más tiempo de lo deseado y a causa de esto quedo trabajo pendiente.

Falto terminar el código de Arduino validando todas las entradas y resolviendo algunas dudas que se tenían entre este código y el servidor que recibe los datos. Al igual falto agregar los demás módulos ZigBee con sensores en las otras áreas verdes del ITESO y conectarlos por medio de routers si es necesario.

Se puede decir que el proyecto está entre las fases de ejecución, seguimiento y control.

6. Bibliografía

M. (n.d.). Embedded Wireless Low-Power Wide-Area Network. Retrieved from <http://www.microchip.com/design-centers/wireless-connectivity/embedded-wireless/loratechnology>

M. (n.d.). An Introduction to Spread-Spectrum Communications. Retrieved February 18, 2003, from <https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/1890>

Rouse, M. (n.d.). What is frequency-hopping spread spectrum? - Definition from WhatIs.com. Retrieved July 2016, from <http://searchnetworking.techtarget.com/definition/frequency-hopping-spread-spectrum>

L. (2017, February). Wasmote-LoRa-868MHz_915MHz-SX1272 Networking Guide[PDF]. Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L.

L. (n.d.). Development. Retrieved from <http://www.libelium.com/development/wasmote/documentation/lora-gateway-tutorial/>

LoRa Alliance™ Technology. (n.d.). Retrieved from <https://www.lora-alliance.org/what-is-lora/technology>

D. (2016). ZigBee RF Modules [PDF]. Digi International.

D. (n.d.). Digi XBee® ZigBee. Retrieved from <https://www.digi.com/products/digi-xbee-rf-solutions/embedded-rf-modules-modems/digi-xbee-zigbee#partnumbers>

V. (2008). VH400 Soil Moisture Sensor Probes. Retrieved from <http://vegetronix.com/Products/VH400/>

V. (2008). Vegetronix Soil Temperature Sensor Probes. Retrieved from <http://vegetronix.com/Products/THERM200/>

Anexos (en caso de ser necesarios)

Por la cantidad de anexos que se tienen, se creó un índice de ellos, a continuación, se muestran en orden:

Anexo 1: Investigación LoRa.	30
Anexo 2: Información relevante ZigBee (Investigación primaria).	33
Anexo 3: Parte End Device, Reporte técnico PCB Zigbee.	39
Anexo 4: Parte Coordinador, información importante.	40
Anexo 5: Investigación Funciones de código.	41
Anexo 6: Investigación y desarrollo técnico de sensores y sus resultados.	43

Investigación LoRa

LoRa- by Semtech Corporation

Para dispositivos con bajo consumo, poca necesidad de infraestructura y un bajo costo relativo por un numero grande de unidades

Se utiliza para comunicaciones de larga distancia hasta 15 km (realidad como 8 km), larga duración de la batería y puede tener conectados hasta 1 millón de nodos con inmunidad al ruido.

LoRa utiliza modulación de espectro amplio que permite la transmisión a grandes distancias

Modulación de espectro amplio significa que en vez de realizar comunicación por medio de un sistema en la misma frecuencia lo que hace es mandar la información en diferentes frecuencias brincándose de una a otra, utilizando una función que marque los tiempos y frecuencias necesarios

Esta técnica permite evitar el ruido deliberado o no a la comunicación ya que no utiliza una sola frecuencia para mandar la información, al mismo tiempo ayuda a que la señal no pueda ser interceptada a menos que el sistema que esté tratando de interceptarla también conozca la función tiempo-frecuencia

Esta técnica de cambio de frecuencias se llama frecuencia shopping o brinco de frecuencias

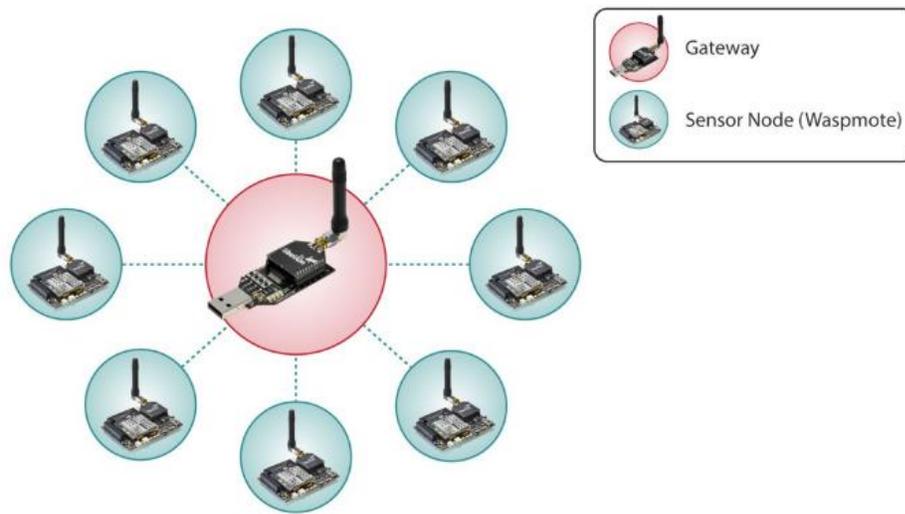
Lo que frecuencia shopping hace es mandar partes de la información en ráfagas por las diferentes frecuencias cambiando varias veces por segundo dependiendo de la función, (13 diferentes bandas o canales con un bandwidth de alrededor de 2.16MHz.).

En el caso de nuestro sistema, se trabaja con frecuencias alrededor de los 900MHz

De la página 12 a la 15 viene lo referente a las funciones básicas del protocolo y las funciones de configuración.

Desde la página 16 de este documento viene la información mas referente a la transmisión y las formas en la cual se puede configurar esta. También viene más definido algunas de las funciones de configuración incluyendo las consecuencias de escoger una configuración a otra.

Este sería el diagrama ejemplo de cómo funciona el sistema:



Es necesario que se le dé una dirección de 8 bits a cada nodo, la dirección 0 es restringida ya que se utiliza para transmisiones amplias o transmisiones para todos los nodos, la dirección 1 es reservada para el Gateway y del 2 en adelante se pueden asignar a los diferentes nodos.

Se mandan paquetes que contienen la dirección del que envía, la dirección del que recibe, el número del paquete, la longitud de la información, la información y retro. El máximo que se puede enviar en una sola transmisión es de 250 bytes.

```
"01 53 45 54 23 46 52 45 43 3a 43 48 5f 31 32 5f 38 36 38 3b 41 44 44 52 3a 33 3b 42  
57 3a 42 57 5f 35 30 30 3b 43 52 3a 43 52 5f 35 3b 53 46 3a 53 46 5f 31 32 0d 0a 37  
39 43 41 04"
```

Se supone que realmente solo hay necesidad de programar el Gateway rápidamente por medio de un programa y después conectarse por medio del nodo

la información que se le introduce al Gateway es la necesaria para poder llevar a cabo las transmisiones y es en formato hexadecimal, se introduce con un programa específico.

Toda la información en este anexo esta citada de diferentes sitios y manuales de LoRa (se encuentran referenciados en la bibliografía), la información aquí encontrada es lo más referente al uso de LoRa que se hubiera tenido.

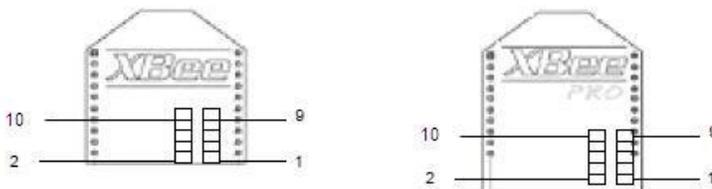
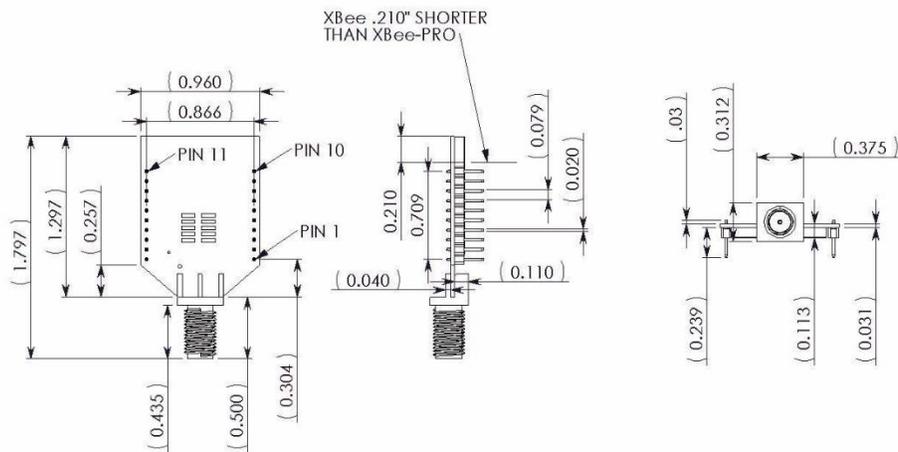
Información relevante ZigBee (Investigación primaria)

Estas unidades funcionan con el protocolo ZigBee (low-cost, low-power, wireless).

Funcionan en las frecuencias de 2.4GHz, CostXBee•Indoor/Urban: up to 133' (40 m) •Outdoor line-of-sight: up to 400' (120 m)

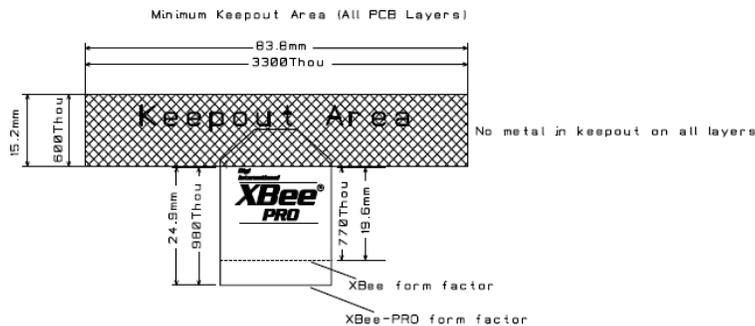
- Transmit Power: 2 mW (3 dBm)

- Receiver Sensitivity: -96 dBm



This figure shows the orientation of the insight port header .

Pin Number	Pin Name
1	VBRD
2	SIF-MISO
3	Ground
4	SIF-MOSI
5	Ground
6	SIF-CLOCK
7	SIF-LOAD
8	RESET
9	PTI-EN
10	PTI-DATA



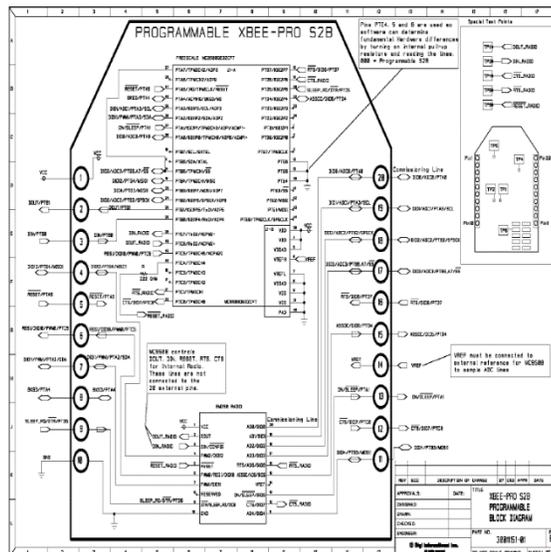
La table de descripción de los pines de los módulos ZigBee:

Pin Assignments for the XBee/XBee-PRO Modules

(Low-asserted signals are distinguished with a horizontal line above signal name.)

Pin #	Name	Direction	Default State	Description
1	VCC	-	-	Power supply
2	DOUT	Output	Output	UART Data Out
3	DIN / <u>CONFIG</u>	Input	Input	UART Data In
4	DIO12	Both	Disabled	Digital I/O 12
5	<u>RESET</u>	Both	Open-Collector with pull-up	Module Reset (reset pulse must be at least 200 ns)
6	RSSI PWM / DIO10	Both	Output	RX Signal Strength Indicator / Digital IO
7	DIO11	Both	Input	Digital I/O 11
8	[reserved]	-	Disabled	Do not connect
9	<u>DTR</u> / <u>SLEEP_RQ</u> / <u>DIO8</u>	Both	Input	Pin Sleep Control Line or Digital IO 8
10	GND	-	-	Ground
11	DIO4	Both	Disabled	Digital I/O 4
12	<u>CTS</u> / DIO7	Both	Output	Clear-to-Send Flow Control or Digital I/O 7. CTS, if enabled, is an output.
13	<u>ON</u> / <u>SLEEP</u>	Output	Output	Module Status Indicator or Digital I/O 9
14	VREF	Input	-	Not used for EM250. Used for programmable secondary processor. For compatibility with other XBEE modules, we recommend connecting this pin voltage reference if Analog sampling is desired. Otherwise, connect to GND.
15	Associate / DIO5	Both	Output	Associated Indicator, Digital I/O 5
16	<u>RTS</u> / DIO6	Both	Input	Request-to-Send Flow Control, Digital I/O 6. RTS, if enabled, is an input.
17	AD3 / DIO3	Both	Disabled	Analog Input 3 or Digital I/O 3
18	AD2 / DIO2	Both	Disabled	Analog Input 2 or Digital I/O 2
19	AD1 / DIO1	Both	Disabled	Analog Input 1 or Digital I/O 1
20	AD0 / DIO0 / Commissioning Button	Both	Disabled	Analog Input 0, Digital IO 0, or Commissioning Button

y si ubicación en la tarjeta:



Transparent operation:

Página 29

"Serial line replacement" cuando se recibe información, se manda la información por DOUT pin. Se configura con el comando AT

API operation:

Página 29

Es como la operación transparente, pero se tiene más control por que la aplicación puede interactuar con la red.

"Transmit data frames:

- RF transmit Data Frame
- Command Frame(es como el comando AT)

Receive Data Frames:

- RF received data frame
- Command response
- Event notification like reset, etc.

The API operation option facilitates many operations such as the examples cited below:

- > Transmitting data to multiple destinations without entering Command Mode
- > Receive success/failure status of each transmitted RF packet
- > Identify the source address of each received packet"

A Comparison of Transparent and API Operation

The following table compares the advantages of transparent and API modes of operation:

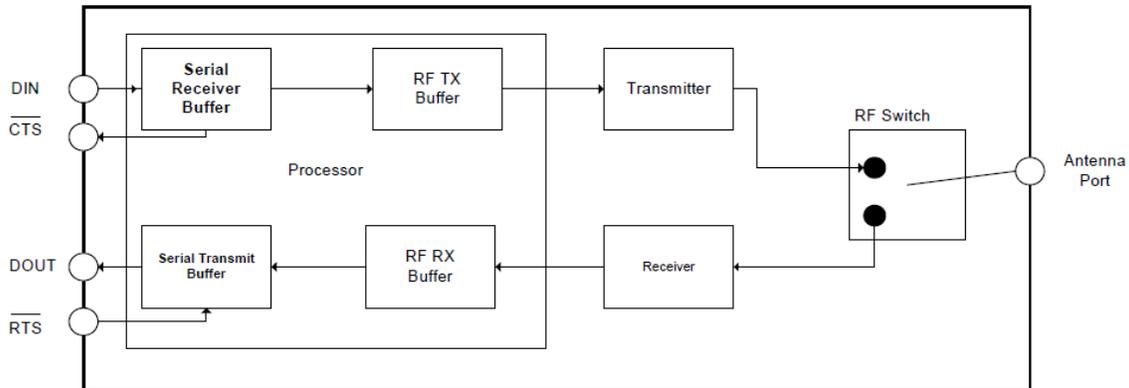
Transparent Operation Features	
Simple Interface	All received serial data is transmitted unless the module is in command mode.
Easy to support	It is easier for an application to support transparent operation and command mode
API Operation Features	
Easy to manage data transmissions to multiple destinations	Transmitting RF data to multiple remotes only requires changing the address in the API frame. This process is much faster than in transparent operation where the application must enter AT command mode, change the address, exit command mode, and then transmit data. Each API transmission can return a transmit status frame indicating the success or reason for failure.
Received data frames indicate the sender's address	All received RF data API frames indicate the source address.
Advanced ZigBee addressing support	API transmit and receive frames can expose ZigBee addressing fields including source and destination endpoints, cluster ID and profile ID. This makes it easy to support ZDO commands and public profile traffic.
Advanced networking diagnostics	API frames can provide indication of IO samples from remote devices, and node identification messages.
Remote Configuration	Set / read configuration commands can be sent to remote devices to configure them as needed using the API.

As a general rule of thumb, API firmware is recommended when a device:

- sends RF data to multiple destinations
- sends remote configuration commands to manage devices in the network
- receives IO samples from remote devices
- receives RF data packets from multiple devices, and the application needs to know which device sent which packet
- must support multiple ZigBee endpoints, cluster IDs, and/or profile IDs
- uses the ZigBee Device Profile services.

If the above conditions do not apply (e.g. a sensor node, router, or a simple application), then AT firmware might be suitable. It is acceptable to use a mixture of devices running API and AT firmware in a network.

Internal Data Flow Diagram



Modos de operación:

- Idle mode
- Transmit mode
- Recieve mode
- Command mode
- Sleep mode

Tipos de Dispositivos:

A **coordinator** has the following characteristics: it

- Selects a channel and PAN ID (both 64-bit and 16-bit) to start the network
- Can allow routers and end devices to join the network
- Can assist in routing data
- Cannot sleep--should be mains powered
- Can buffer RF data packets for sleeping end device children.

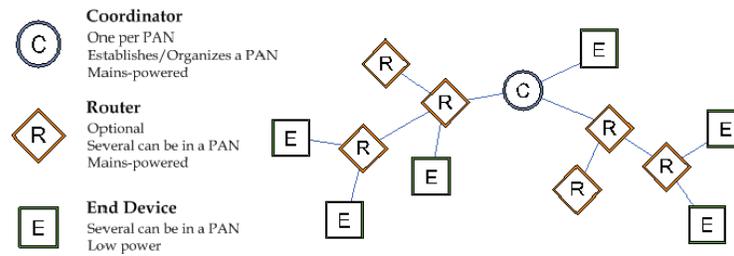
A **router** has the following characteristics: it

- Must join a ZigBee PAN before it can transmit, receive, or route data
- After joining, can allow routers and end devices to join the network
- After joining, can assist in routing data
- Cannot sleep--should be mains powered.
- Can buffer RF data packets for sleeping end device children.

An **end device** has the following characteristics: it

- Must join a ZigBee PAN before it can transmit or receive data
- Cannot allow devices to join the network
- Must always transmit and receive RF data through its parent. Cannot route data.
- Can enter low power modes to conserve power and can be battery-powered.

An example of such a network is shown below:



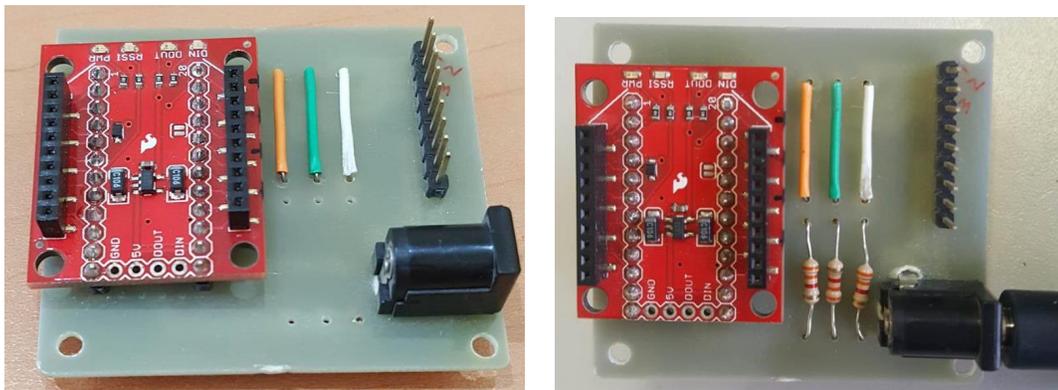
In ZigBee networks, the coordinator must select a PAN ID (64-bit and 16-bit) and channel to start a network. After that, it behaves essentially like a router. The coordinator and routers can allow other devices to join the network and can route data.

After an end device joins a router or coordinator, it must be able to transmit or receive RF data through that router or coordinator. The router or coordinator that allowed an end device to join becomes the "parent" of the end device. Since the end device can sleep, the parent must be able to buffer or retain incoming data packets destined for the end device until the end device is able to wake and receive the data.

Toda la información en este anexo esta citada del manual de usuario (se encuentra referenciado en la bibliografía), la información aquí encontrada es lo más referente con nuestro uso de los módulos ZigBee.

Parte End Device, Reporte técnico PCB Zigbee

Para el proyecto se tiene un prototipo de “End Device” para poder hacer pruebas con las redes, este prototipo se conforma de un módulo Zigbee y su base conectado a un circuito que te permite conectar los sensores y la fuente de alimentación. Las siguientes imágenes muestran los cambios realizados, se quitaron las resistencias y se agregaron cables para poder realizar una división de corriente correcta ya que los sensores ya contienen una resistencia interna.



Sabemos que el módulo acepta entradas en su ADC de 1.2 volts máximo, y los sensores están utilizando una alimentación de 5 volts por lo que sus salidas también son de 5 volts. Por lo tanto, tenemos que realizar una división de voltaje de un voltaje máximo de 5 volts a un máximo de 1.2, también sabemos que los sensores tienen una resistencia interna de 10k ohm, entonces:

$$\begin{aligned} R1 &= 10k & V_{in} &= 5 \text{ volts} \\ R2 &=? & V_{out} &= 1.2 \end{aligned}$$

$$V_{out} = V_{in} \left(\frac{R2}{R1 + R2} \right) \Rightarrow R2 = \frac{10k \left(\frac{1.2}{5} \right)}{.76}$$

$$R2 = 3157.9 \text{ Ohms}$$

Al final se decidió utilizar una resistencia de 3.3 kOhms ya que no afectaría a la obtención de los datos.

Parte Coordinador, información importante:

Se utilizó el software proporcionado de los módulos para programarlos de manera que esto se pudiera realizar, también se realizó una tabla con la información de cada uno para poder tener la información de una forma más organizada:

	Núm. Ser. high	Núm. Ser. low	Tipo	Más información	Wake/sleep (s)
1	0013A200	40C26E1F	Coordinador	PAN ID = 2015, channel search -> EFFF	Always wake
2	0013A200	40C668F0 W	End device	AD0 y 3 como ADC, DIO4 como salida digital	.3 / 1
3	0013A200	40B3A871	End device	AD0 1 y 2 como ADC, DIO4 como salida digital	5 / 5
4	0013A200	40B9C691	End device	AD0 y 3 como ADC, DIO4 como salida digital	5 / 5

Se utilizó el software XCTU para poder programar los módulos, se utilizó una PAN ID de 2015 para todos los módulos, el “scan” de los canales es 7FFF y se tiene que poner en todos los módulos si no, no conectan entre si correctamente.

La base de prueba que tiene conectados los sensores es la que se usa para probar tiene entradas específicas que se conectan a pines específicos, estas son las especificaciones de entradas y salidas:

▼ I/O Settings
Modify DIO and ADC options

D0 AD0/DIO0 Configuration	Disabled [0]
D1 AD1/DIO1 Configuration	ADC [2]
D2 AD2/DIO2 Configuration	Disabled [0]
D3 AD3/DIO3 Configuration	ADC [2]
D4 DIO4 Configuration	Digital Out, Low [4]
D5 DIO5/Assoc Configuration	Disabled [0]
P0 DIO10/PWM0 Configuration	RSSI PWM Output [1]
P1 DIO11 Configuration	Disabled [0]
P2 DIO12 Configuration	Disabled [0]
PR Pull-up Resistor Enable	1FFF
LT Associate LED Blink Time	0 x10 ms
RP RSSI PWM Timer	28 x 100 ms
DO Device Options	1 Bitfield

Investigación Funciones de código.

- `memset()`

Formato = `memset (void * ptr, int value, size_t num)`

En donde ptr es n donde se agregarán los datos, o en que variable se añadirán. Value es el valor a agregar a la variable anterior y num es la cantidad de veces que se agregara el value a ptr.

Por ejemplo: si la variable en ptr es "123456789", value es variable_1 (0) y num es `sizeof(variable_1)`

Entonces la respuesta de la función da como resultado: "0123456789", entonces lo que hacer es agregar un 0 una sola vez, si el num fuera 5 entonces la respuesta sería: "00000123456789".

- `dtostrf()`

Formato = `dtostrf(float number, int tamaño, int decimales, char* buffer);`

En donde la variable number es el valor en formato double que se quiere cambiar, tamaño es la variable que contiene el tamaño del número en caracteres. Decimals es la precisión del número a convertir y buffer es la variable de salida en donde se guarda la conversión.

Como ya se dijo esta función es para cambiar de una variable float a una cadena de caracteres que se puede mandar más fácilmente por serial.

- `sprintf()`

Formato = `sprintf (char * s, size_t n, const char * format, ...);`

En esta función se tiene primero una variable `s` que contiene el buffer en donde se tiene que guardar toda la operación, `n` es el tamaño máximo del dato que se puede usar en el buffer y `format` en este caso contiene un string que se quiere guardar como formato o en otras palabras un string que se guardara en vez de ser impreso en la consola como un `printf`.

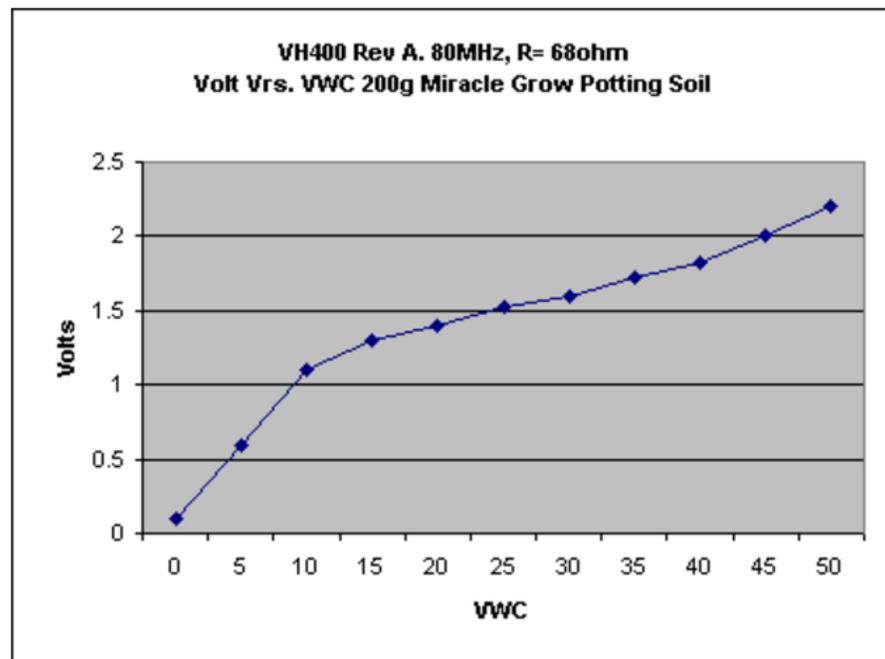
Entonces básicamente esta función sirve para guardar un string dentro de una variable que se puede sumar a otros string, pero, lo guarda como si lo fuera a imprimir con valores de datos y todo.

Investigación y desarrollo técnico de sensores y sus resultados.

se necesitaba saber cómo regresaban como resultados 2 sensores: el de humedad en la tierra (Vegetronix VH400 Soil Moisture Sensor Probes) y el de temperatura (Vegetronix Soil Temperature Sensor Probes - THERM200).

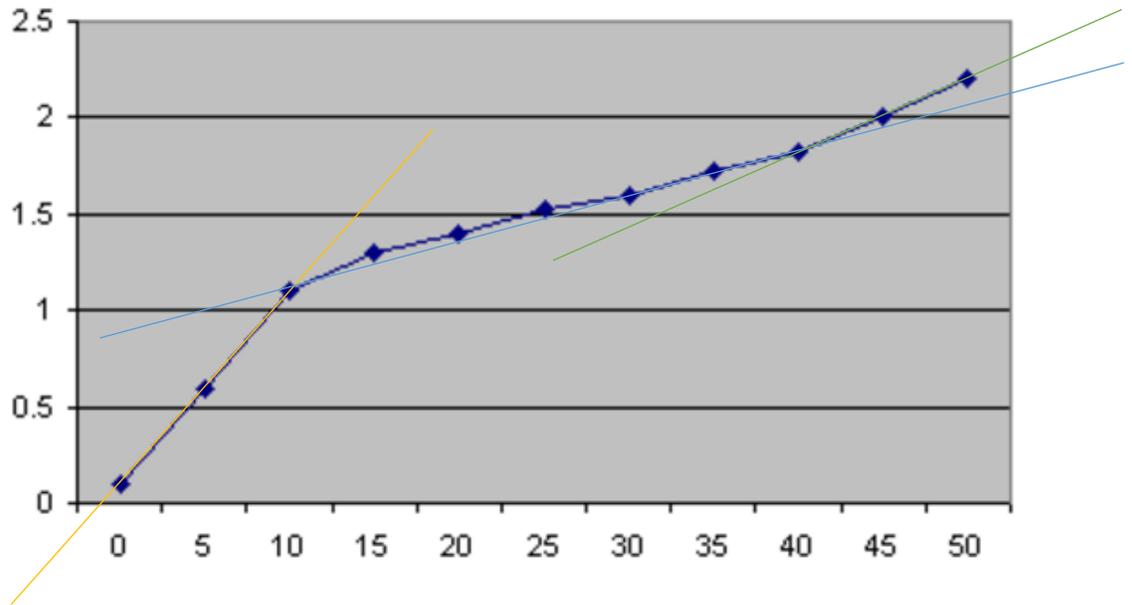
Vegetronix VH400 Soil Moisture Sensor Probes:

Para este sensor la salida del mismo no es linealmente proporcional, si no que su respuesta de salida tiene una curva de resultados, la cual se puede ver en la siguiente imagen (proporcionada por el fabricante):



Para esta parte es necesario partir la curva en un conjunto de rectas que puedan describir el comportamiento del voltaje de la salida de una forma relativamente cercana.

Por lo cual se decidió “a ojo” las rectas que conforman la curva de la siguiente forma:



Las rectas quedaron de la siguiente forma:

Límites de recta 1

$$\begin{array}{cc} 0 V & 1.1 V \\ 0 VWC & 12.5 VWC \end{array}$$

Límites de recta 2

$$\begin{array}{cc} 1.1 V & 1.8 V \\ 12.5 VWC & 42.5 VWC \end{array}$$

Límites de recta 3

$$\begin{array}{cc} 1.8 V & 2.2 V \\ 42,5 VWC & 52.5 VWC \end{array}$$

La fórmula de una recta es igual a:

$$y = m * x - b$$

m es la pendiente, que se saca de la siguiente manera:

$$m = \frac{(VWC2 - VWC1)}{(V2 - V1)}$$

Y b se puede encontrar de la siguiente manera:

$$b = m * v - VWC$$

Entonces los resultados se demuestran en la siguiente tabla:

Recta	VWC	V	m	b
Recta 1	0 -> 12.5	0 -> 1.1	11.3636	0
Recta 2	12.5 -> 42.5	1.1 -> 1.8	42.85	34.635
Recta 3	42.5 -> 52.5	1.8 -> 2.2	25	2.5

Entonces con esta información podemos escribir las ecuaciones siguientes:

Para valores de salida de 0 a 1.1 volts $VWC = 11.3636 * Vout$

Para valores de salida de 1.1 a 1.8 volts $VWC = 42.85 * Vout - 34.635$

Para valores de salida de 1.8 a 2.2 volts $VWC = 25 * Vout - 2.5$

Vegetronix Soil Temperature Sensor Probes - THERM200:

Para el sensor de temperatura la salida de voltaje es linealmente proporcional con la temperatura que está midiendo; el voltaje de salida es de 0 a 3 volts y mide temperaturas de -40 grados centígrados hasta los 85 grados centígrados. El voltaje mínimo 0 representa la temperatura de -40 grados centígrados y el voltaje máximo de 3 representa 85 grados centígrados.

Para obtener el valor de salida en grados centígrados es necesario realizar lo siguiente:

Para obtener el valor se puede realizar una regla de 3, pero los valores debajo de 0 no los podría resolver entonces sumamos 40 a los dos valores de centígrados de referencia que tenemos y nos queda lo siguiente:

$$\begin{array}{cc} 0V & 3V \\ -40 & 85 \end{array} \text{ y despues de la suma de 40 nos queda } = \begin{array}{cc} 0V & 3V \\ 0 & 125 \end{array}$$

Con esto sabemos que siempre el valor que obtenemos de voltaje tiene que ser multiplicado por 125 y dividido por 3, entonces nos queda que:

$$\frac{125}{3} = 41.6666$$

Entonces después de esto se tiene que restar 40 del "offset" que le realizamos al principio y la formula queda como:

$$V_{out} * 41.6666 - 40 = T \text{ en } C$$

Para obtener el valor de salida en grados Fahrenheit es necesario realizar lo siguiente:

En este caso todo se hace de la misma forma, pero se tiene que convertir los valores de centígrados a Fahrenheit primero y te queda de la siguiente forma:

$$\begin{array}{cc} 0V & 3V \\ -40 & 185 \end{array} \text{ y despues de la suma de 40 nos queda } = \begin{array}{cc} 0V & 3V \\ 0 & 225 \end{array}$$

$$\frac{225}{3} = 75$$

$$V_{out} * 75 - 40 = T \text{ en } F.$$