



**UNIVERSIDAD TECNÓLOGICA
EQUINOCCIAL**

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**“DESARROLLO DE UN SISTEMA DE NAVEGACIÓN
VIRTUAL IMPLEMENTADO EN UN CASCO DE VISIÓN
ARTIFICIAL”**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECATRÓNICO**

ROMEO SEBASTIÁN RIVADENEIRA QUELAL

DIRECTOR: ING. JUAN CARLOS RIVERA

Quito, Julio, 2013

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2013
Reservados todos los derechos de reproducción.

DECLARACIÓN

Yo **ROMEO SEBASTIÁN RIVADENEIRA QUELAL**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

ROMEO RIVADENEIRA QUELAL

CI: 171630159-1

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE NAVEGACIÓN VIRTUAL IMPLEMENTADO EN UN CASCO DE VISIÓN ARTIFICIAL**”, que, para aspirar al título de **Ingeniero en Mecatrónica** fue desarrollado por **ROMEO SEBASTIÁN RIVADENEIRA QUELAL**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 18 y 25.

ING. JUAN CARLOS RIVERA

CI: 0501373823

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi Madre por haberme conducido por el camino correcto de la vida, enseñándome a cultivar valores esenciales de los seres humanos como son la honestidad, sinceridad y verdad, y por haberme motivado diariamente para que mis sueños profesionales se hagan realidad, demostrándome que con esfuerzo y dedicación no existen retos imposibles de vencerlos.

A la Universidad Tecnológica Equinoccial por convertirme en un profesional capacitado, ya que a través de las enseñanzas diarias de mis profesores he compartido y recibido varios años de aprendizaje fructífero.

Un agradecimiento especial al Ingeniero Juan Carlos Rivera quién con su gran conocimiento y experiencia ha sabido guiarme y corregirme para que esta investigación se transforme en mi Tesis de Grado, previa a la obtención de mi título profesional.

Finalmente a mi grupo de compañeros con quienes realizamos este gran proyecto y a las personas y amigos que están a mi lado, que con su apoyo he podido alcanzar el objetivo planteado.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PÁGINA

RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1 Objetivo General	2
1.1.2 Objetivos Específicos.....	2
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1 Realidad Virtual	4
2.1.1 Hardware	4
2.1.2 Software.....	4
2.2 Comunicación Inalámbrica.	5
2.3 Tecnologías y Protocolos inalámbricos.....	6
2.4 Red ZigBee	6
2.4.1Características	9
2.4.2 Modos de Operación.....	10
2.4.3 Programación de Módulos Xbee.....	14
2.4.4 Detalles Técnicos.....	17
2.5 Micro-Controladores	18
2.5.1Familias de Micro-Controladores PIC	19
2.5.2 Micro-Controlador PIC 16F870	20
2.5.2.1 Características Principales	20
2.5.2.2 Conversor Análogo Digital A/D	22
2.6 Acelerómetro MMA7260QT	24
2.6.1 Características	24
2.6.2 Principio de Funcionamiento.....	26
2.7 Casco H.M.D. (Head Mounted Display) VR1280.....	27
2.7.1Características Técnicas.....	28
3. METODOLOGÍA	30
3.1 Análisis de Requerimientos	31

3.2 Diseño de los Circuitos.....	32
3.2.1 Diseño del Micro-Controlador.....	32
3.2.2 Diseño de Alimentación del circuito.....	35
3.2.3 Diseño de amplificadores.....	37
3.2.4 Diseño comunicación Inalámbrica.....	47
3.2.4.1 Configuración de los módulos Xbee.....	50
3.3 Diseño del software (Programación del Micro-Controlador).....	53
3.4 Diseño y construcción del circuito impreso.....	57
3.5 Descripción del sistema.....	60
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	62
4.1 Especificación de requisitos para el sistema.....	61
4.2 Calibración del sistema.....	65
4.3 Prueba de envío y recepción de datos.....	67
4.4 Respuestas del sistema.....	67
4.5 Pruebas al sistema en modo de trabajo.....	69
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	65
5.1 Conclusiones.....	68
5.2 Recomendaciones.....	69
GLOSARIO.....	71
BIBLIOGRAFIA.....	74
ANEXOS.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

PÁGINA

Tabla 1. Comparación de Tecnologías Inalámbricas.	6
Tabla 2. Tabla Modo Sleep y consumos de corriente.	12
Tabla 3. g-Select Descripción de pines y sensibilidad.	25
Tabla 4. Fuente de alimentación.....	29
Tabla 5. Casa de calidad del sistema.	31
Tabla 6. Criterios Ponderados Microcontroladores.	33
Tabla 7. Valores de voltaje amplificados ejeX.....	39
Tabla 8. Valores de voltaje amplificados ejeY.	44
Tabla 9. Valores de voltaje reales amplificados ejeY.	46
Tabla 10. Criterios Ponderados Comunicación Inalámbrica	48
Tabla 11. Diagrama de Flujo del sistema.....	55
Tabla 12. Lista de elementos usados en el sistema.	60

ÍNDICE DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 1. Conexión típica usando Xbee.	7
Figura 2. Módulo Xbee Pro	9
Figura 3. Diagrama de Pines del Modulo Xbee.....	10
Figura 4. Modos de operación de los módulos Xbee.	11
Figura 5. Correspondencia de Buffer.	13
Figura 6. Software X-CTU pestaña PC Settings.	15
Figura 7. Software X-CTU pestaña Range Test.	16
Figura 8. Software X-CTU pestaña Terminal.....	16
Figura 9. Software X-CTU pestaña Modem Configuration.....	17
Figura 10. Detalles Técnicos Xbee.	18
Figura 11. Familias de Micro-Controladores PIC.....	20
Figura 12. Diagrama de Pines PIC 16F870	22
Figura 13. Diagrama de Bloques conversor A/D.	23
Figura 14. Diagrama de Pines Acelerómetro MMA7260QT.....	24
Figura 15. Diagrama funcional de bloques simplificado MMA7260QT.	26
Figura 16. Modelo físico transductor simplificado.	27
Figura 17. H.M.D-Head Mounted Display VR1280.....	28
Figura 18. Caja de control VR1280.	29
Figura 19. Diagrama de Conexiones del PIC16F870 en el sistema.....	35
Figura 20. Baterías de Polímero de Litio-LiPo.	35
Figura 21. Baterías en serie Voltaje $V_p = 7.4V$	36
Figura 22. Regulador Voltaje LM7805 con circuito de acondicionamiento....	36
Figura 23. Regulador Voltaje LM1117 con circuito de acondicionamiento....	37
Figura 24. Amplificador No-Inversor.....	40
Figura 25. Amplificador Inversor.....	40
Figura 26. Divisor de voltaje para obtener 2V.....	41
Figura 27. Sistema de Amplificación Eje X.....	42
Figura 28. Sistema de Amplificación Eje Y.	47
Figura 29. Diagrama de conexión del modulo Xbee con el sistema.....	50

Figura 30. Red Xbee Maestro-Esclavo.	50
Figura 31. Configuración de los comandos DL y MY del Xbee Maestro.	52
Figura 32. Configuración de los comandos DL y MY del Xbee Esclavo.	52
Figura 33. Diagrama circuital completo.	58
Figura 34. Vista inferior circuito impreso.	59
Figura 35. Vista superior circuito impreso.	59
Figura 36. Comandos enviados a los modelos.	61
Figura 37. Cuerpo Humano posición inicial.....	61
Figura 38. Movimiento Horizontal de la cabeza.	62
Figura 39. Movimiento de la cabeza hacia la izquierda.....	62
Figura 40. Movimiento de la cabeza hacia la derecha.	63
Figura 41. Movimiento vertical de la cabeza.	63
Figura 42. Movimiento de la cabeza hacia abajo.....	64
Figura 43. Movimiento de la cabeza hacia arriba.	64
Figura 44. Posicion correcta para ajustar los ejes X y Y en 0.	66
Figura 45. Posición incorrecta para ajustar los ejes X y Y en 0.	66
Figura 46. Función para imprimir los datos recibidos en Java.	67
Figura 47. Impresión de los datos enviados por el sistema	67
Figura 48. Acción realizada en los modelos 3D.	68
Figura 49. Acción realizada en los modelos 3D sin movimiento-estado inicial.	69
Figura 50. Acción realizada en los modelos 3D con movimiento.	69
Figura 51. Posición de calibración para el modelo ejes X y Y en "0"	70
Figura 52. Variación del Eje X de 0 a 90 generado por el movimiento de la cabeza.	70
Figura 53. Variación del Eje X de 0 a -90 generado por el movimiento de la cabeza.	71
Figura 54. Variación del Eje Y de 0 a 90 generado por el movimiento de la cabeza	71
Figura 55. Variación del Eje Y de 0 a -90 generado por el movimiento de la cabeza	72

ÍNDICE DE ANEXOS

PÁGINA

Anexo 1. Figura 3D parte superior de la Placa hechos en Protel99.....	76
Anexo 2. Figura 3D parte inferior de la Placa hechos en Protel99.....	76
Anexo 3. Dimensiones de la Caja 1553B.....	77
Anexo 4. Ajustes mecánicos del casco VR1280.	78
Anexo 5. Características operativas del acelerómetro MMA7260QT	81
Anexo 6. Acelerómetro MMA7260QT	83
Anexo 7. Datasheet Modulo Xbee.....	84
Anexo 8. Características Operativas de las baterías LiPo	89
Anexo 9. Cargador USB para las baterías LiPo	93
Anexo 10. Características técnicas del cargador de baterías LiPo.....	94
Anexo 11. Datasheet Amplificador LM358	96
Anexo 12. Placa del circuito sin elementos soldados.....	98
Anexo 13. Placa del circuito con elementos soldados	99
Anexo 14. Sistema implementado en el casco	100
Anexo 15. Imágenes del desempeño y uso del sistema	101
Anexo 16. Costos del proyecto	103

ÍNDICE DE ECUACIONES

PÁGINA

Ecuacion 3.1 Ecuación usada para calcular valores de amplificación.....	37
Ecuacion 3.2 Voltaje Maximo Amplificado	38
Ecuacion 3.3 Voltaje Minimo Amoplificado	38
Ecuacion 3.4 Amplificador No-Inversor.....	40
Ecuacion 3.5 Amplificador Inversor.....	40
Ecuacion 3.6 Voltaje de Salida 1 del Eje X	40
Ecuacion 3.7 Voltaje de Salida 2 del Eje X	41

RESUMEN

La Universidad Tecnológica Equinoccial aporta con investigación y desarrollo para el Ecuador por medio de proyectos de investigación como el “*Desarrollo de un Sistema de Entrenamiento Virtual Web para las carreras de Medicina*”, este proyecto permite a los usuarios mediante un sistema de navegación virtual implementado en un casco de visión artificial y un guante de navegación usado para manipular y viajar en entornos virtuales desarrollados en computadora del cuerpo humano en tres dimensiones. Estos modelos son desarrollados en lenguaje de programación Java. El sistema de navegación virtual, recrea el movimiento de la cabeza para dar una visión más realista de los modelos 3D, esto se lo realiza con un sensor acelerómetro, y para la comunicación y envío de información se usa una red ZigBee. Con esto se obtendrá la implementación de laboratorios de realidad virtual para mejorar el aprendizaje de los estudiantes al tener percepción real al momento de viajar en los modelos tridimensionales.

ABSTRACT

The “Universidad Tecnológica Equinoccial” contributes to research and development for Ecuador through research projects such as the “*Desarrollo de un Sistema de Entrenamiento Virtual Web para las carreras de Medicina*”, this project allows users with a virtual navigation system implemented in a Head-Mounted Display and a glove to manipulate and navigate in virtual environments of the human body in 3D. These models are developed in Java programming language. This virtual navigation system recreates the movement of the head in order to give a more realistic vision of the human body; this is done with an accelerometer sensor. The communication and data transfer is done by using a ZigBee network. This will allow the implementation of virtual reality labs in order to improve student learning by having real perception when traveling in three-dimensional models.

1. INTRODUCCIÓN

La realidad virtual ha tomado el mando de las tecnologías de vanguardia, logrando una madurez suficiente como para convertirse en una herramienta usada en el campo de la educación, específicamente para el entendimiento de asignaturas complejas, sustituyendo a sistemas de aprendizaje obsoletos. Hoy en día el mundo está lleno de conocimiento y desarrollo intelectual que necesita de nuevos profesionales que estén capacitados con sistemas de educación que integren varias ramas para el estudio científico como son el uso de la Mecatrónica, aplicadas a ramas como son la Medicina, Biología, Anatomía etc.

Los entornos tridimensionales que son generados por computador producen ambientes similares a la realidad, por ejemplo un simulador de vuelo de avión donde el usuario navega en el simulador de la cabina y que es proyectada por computadora dándole al piloto un entorno real de un avión, cerrando toda intervención externa y concentrando al usuario en su totalidad a un entorno virtual. Esta realidad se la obtiene mediante el casco de navegación, que son dos pantallas que simulan un ambiente real. Es muy importante permitir la interacción del usuario con los modelos sino solo sería un video o una película proyectada en el casco, el entorno tridimensional que se le da al usuario en la realidad virtual debe ser lo más cercano a una interacción real.

Los sistemas de realidad virtual usados para el entrenamiento de carreras, son exclusivamente desarrollados en universidades o para investigaciones científicas. En el Ecuador no son muy conocidos ni son desarrollados este tipo de proyectos. La Universidad Tecnológica Equinoccial hoy en día no cuenta con aulas virtuales donde estudiantes de carreras como la medicina puedan capacitarse, es así que este proyecto es una pequeña introducción para la implementación de los mismos.

Para el estudio del cuerpo humano dentro de la Universidad no se está utilizando al máximo los recursos tecnológicos y sistemas de aprendizaje que carreras como la Mecatrónica pueden desarrollar.

La medicina es una carrera antigua la cual ha soportado avances tecnológicos y cada vez se requiere de mejores métodos de capacitación y de formas de aprendizaje, sin embargo, el mejor método para comprender al cuerpo humano es la interacción con el mismo, sin embargo, existen metodologías de aprendizajes obsoletas y complejas para la capacitación, es por eso que la realidad virtual brinda la ventaja de la interacción con el ser humano, a través de la navegación virtual dentro de entornos 3D para el mejor entendimiento del mismo.

Los desafíos para encontrar mejores maneras de capacitación se han incrementado, con la necesidad de encontrar mejores maneras de educar. Y por ello se han planteado los siguientes objetivos.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema de navegación virtual, implementado en un casco de visión artificial con comunicación inalámbrica.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Recopilar información acerca de sistemas de comunicación de alta frecuencia.
- Determinar los grados de libertad del casco.
- Diseñar el hardware de navegación.
- Implementar el sistema de recepción y envío de datos.
- Realizar pruebas del sistema.

La realidad virtual permite entrar en un entorno en donde la mente y el cuerpo ingresan a los modelos 3D y con herramientas de interacción lograr cambiar la realidad por un mundo digital de aprendizaje y de conocimiento.

Para poder conseguir esto se necesita el uso de equipos de última tecnología para asemejar los modelos 3D y dar más realidad al sistema. La ayuda de estos sistemas de aprendizaje, brindan a los usuarios una manera diferente de adquirir conocimientos, teniendo como resultado generar profesionales capacitados que tengan al alcance un entrenamiento tecnológico avanzado.

Se plantea que trabajando con acelerómetros y módulos Xbee se pueda obtener un sistema de navegación virtual, para ser implementado con un casco de visión artificial y, utilizando como unidad de procesamiento un micro-controlador. Esta aplicación será fácil de implementar y de operar por cualquier persona. Este sistema trabaja con comunicación inalámbrica y desarrollada en montaje superficial para reducir tamaño y peso. Se utiliza baterías recargables de polímero de litio usadas en aplicaciones de larga duración, estas a su vez no ocupan mucho espacio por lo cual, al unir con el sistema, la placa con los elementos y sensores correspondientes serán implementados en un estuche o caja para cubrir a los dispositivos, y luego ser colocado en el casco de visión artificial VR1280.

El sistema sensado permitirá la navegación dentro de modelos tridimensionales con la ayuda del movimiento de la cabeza, siendo esta señal obtenida de dos ejes del acelerómetro (eje X y eje Y).

Con este proyecto se busca beneficiar a los alumnos que estudien Medicina y así como incentivar a la creación de laboratorios virtuales en la Universidad.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Realidad Virtual

La realidad virtual es una tecnología que usa dispositivos electrónicos para producir un entorno con apariencia de la realidad que permite al usuario tener la sensación de estar presente en ese ambiente. Esto se logra mediante la generación de modelos tridimensionales.

2.1.1 Hardware

Los dispositivos de Realidad Virtual (RV) normalmente constan de un sistema de pantalla (display) para mostrar al usuario la información virtual y los modelos tridimensionales y un "headset". Las pantallas dentro de los sistemas de RV son llamadas HMD ya que usan imágenes virtuales que muestran al usuario directamente en la pantalla dependiendo del diseño del HMD-Head Mounted Display.

El Hardware de procesamiento de sonido podría ser incluido en los sistemas de realidad virtual para brindar más realidad al sistema.

El procesamiento de las señales y la interacción con los modelos 3D van a depender de la tecnología del hardware, ya que mientras mejor sea éste más se acerca a la realidad el sistema. Existen varios dispositivos para la navegación en los entornos virtuales, como son; controladores, joysticks, guantes (simulación de los movimientos de la mano), etc.

2.1.2 Software

Para fusiones coherentes de imágenes del mundo real, obtenidas con cámara, e imágenes virtuales en 3D, las imágenes virtuales deben atribuirse a lugares del mundo real. Ese mundo real debe ser situado, a partir de imágenes en un sistema de coordenadas. Dicho proceso se denomina registro de imágenes. Este proceso usa diferentes métodos de visión por ordenador, en su mayoría relacionados con el seguimiento de vídeo. (Wikipedia, 2012)

Parte importante y principal son los modelos en tres dimensiones que hacen que el sistema sea lo más cercano a la realidad, como también el procesamiento en tiempo real.

La RV es una técnica que permite combinar imágenes reales con imágenes generadas por computador, y su impacto está en que al ver la imagen o video no se logre distinguir lo real de lo virtual, según varios autores la realidad virtual es una herramienta que nos permite navegar e interactuar en tiempo real en un mundo artificial generado por computador. (Wikipedia, 2012)

Un sistema de realidad virtual se compone de dos elementos principales: inmersión e interacción. La primera es la capacidad de introducirse dentro del mundo virtual y tiene un papel decisivo, pues entre más real, convincente y atractivo sea el entorno, el usuario se va sentir más cómodo y su experiencia con realidad virtual será más placentera. La interacción corresponde al intercambio de información entre el usuario y el entorno.

Adicionalmente la imaginación juega un papel importante tanto en la creación de los mundos virtuales como en la capacidad del usuario para sumergirse dentro de ellos. (Wikipedia, 2012)

2.2 Comunicación Inalámbrica.

La comunicación inalámbrica o sin cables es aquella en la que extremos de la comunicación (emisor/receptor) no se encuentran unidos por un medio de propagación físico, sino que se utiliza la modulación de ondas electromagnéticas a través del espacio. Las ondas de radiofrecuencia de baja potencia son usadas en la comunicación inalámbrica, como también una banda específica ya sea de uso libre o privada para transmitir datos entre dispositivos. (Wikipedia, 2011)

2.3 Tecnologías y Protocolos inalámbricos

Existen en el mercado diferentes tipos de tecnologías inalámbricas dependiendo de su aplicación y su funcionalidad, ya sea para largas o cortas distancias.

Dentro de las más comerciales y comunes se encuentran WiFi, ZigBee y Bluetooth, a continuación la Tabla 1 muestra una comparación detallada con diferentes características y especificaciones de cada una de estas tecnologías.

Tabla 1. Comparación de Tecnologías Inalámbricas.

	WiFi	ZigBee	Bluetooth
Ancho de Banda	54 Mbps	250 Kbps	3Mbps
Consumo de Potencia	TX:400mA Standby:20mA	TX:30mA Standby:3mA	TX:40mA Standby:0.2mA
Ventajas	Gran ancho de Banda, múltiples puntos de acceso	Batería de larga duración, hardware sencillo y práctico	Versatilidad, interoperatividad
Aplicaciones	Conexión remota de internet Transferencia de Ficheros	Conexión con sensores, instrumentación, domótica.	Wireless USB, computación
Alcance	50-100m	70-300m	10 metros
Estándar IEEE	802.11	802.15.4	802.15.1
Frecuencia	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz
Latencia	3s	10ms	10s

(Romeo Rivadeneira, 2012)

Fuente: Publicaciones e Internet

2.4 Red ZigBee

ZigBee es un protocolo de comunicaciones inalámbrico basado en el estándar de comunicaciones para redes inalámbricas IEEE_802.15.4.

Las comunicaciones ZigBee se realizan en la banda libre de 2.4GHz. A diferencia de Bluetooth, este protocolo no utiliza FHSS sino que realiza las comunicaciones a través de una única frecuencia, es decir, de un canal que puede escogerse entre 16 posibles. El alcance depende de la potencia de

transmisión del dispositivo así como también del tipo de antena utilizada (cerámicas, dipolos, etc.). El alcance normal con antena dipolo en línea vista es de aproximadamente 100m y en interiores de unos 30m. La velocidad de transmisión de datos de una red ZigBee es de hasta 256Kbps. Una red ZigBee la pueden formar, teóricamente, hasta 65535 equipos. (Oyace, 2010)

El uso del protocolo ZigBee va desde reemplazar un cable por una comunicación serial inalámbrico, hasta el desarrollo de configuraciones punto a punto, multipunto, peer-to-peer (todos los nodos conectados entre sí) o redes complejas de sensores. (Oyace, 2010)

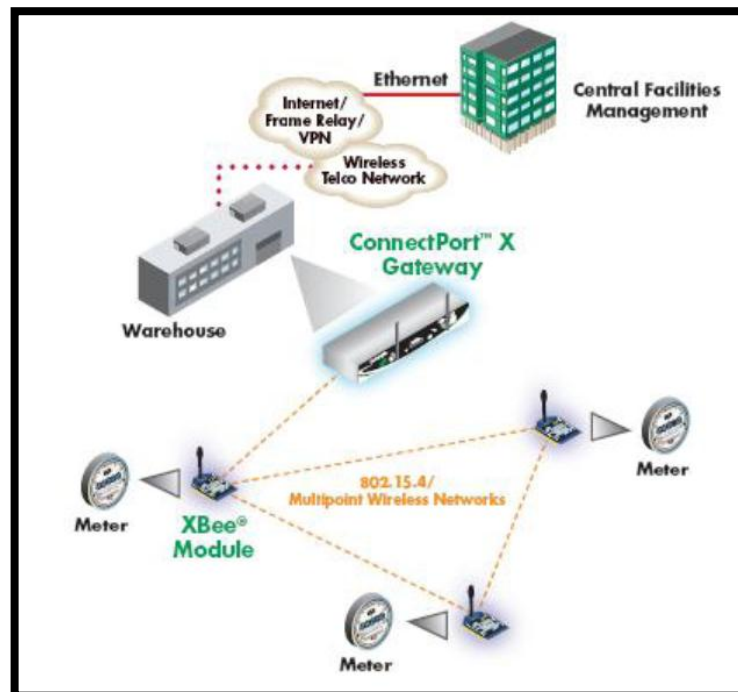


Figura 1. Conexión típica usando Xbee. (MaxStream, 2007)

Una red ZigBee como se muestra en la Figura 1 la conforman básicamente tres tipos de elementos. Un único dispositivo Coordinador, dispositivos Routers y dispositivos finales (EndPoints). (MaxStream, 2007)

- Coordinador

Es el nodo de la red que tiene la única función de formar una red. Es el responsable de establecer el canal de comunicaciones y del PAN ID (Identificador de red de área personal) para toda la red. Una vez establecidos estos parámetros, el Coordinador puede formar una red, permitiendo unirse a él a dispositivos Routers y EndPoints. Una vez formada la red, el Coordinador hace las funciones de Routers, esto es, participar en el enrutado de paquetes y ser origen y/o destinatario de información. (Oyace, 2010)

- Routers

Es un nodo que crea y mantiene información sobre la red para determinar la mejor ruta para transmitir un paquete de información. Lógicamente un Router debe unirse a una red ZigBee antes de poder actuar como Router retransmitiendo paquetes de otros Routers o de EndPoints. (Oyace, 2010)

- EndDevice

Los dispositivos finales no tienen capacidad de rutear paquetes. Deben interactuar siempre a través de su nodo padre, ya sea este un Coordinador o un Router, es decir, no puede enviar información directamente a otro EndDevice. Normalmente estos equipos van alimentados a baterías. El consumo es menor al no tener que realizar funciones de enrutamiento. Cada módulo ZigBee, al igual que ocurre con las direcciones MAC (control de acceso al medio) de los dispositivos Ethernet, tiene una dirección única. En el caso de los módulos ZigBee cada uno de ellos tiene una dirección única de 64bits que viene grabada de fábrica. Por otro lado, la red ZigBee, utiliza para sus algoritmos de ruteo direcciones de 16 bits. Cada vez que un dispositivo se asocia a una red ZigBee, el Coordinador al cual se asocia le asigna una dirección única en toda la red de 16bits.

Por eso el número máximo teórico de elementos que puede haber en una

red ZigBee es de 2^{16} ó 65535, que es el número máximo de direcciones de red que se pueden asignar. (Oyace, 2010)

2.4.1 Características

- ZigBee opera en las bandas libres ISM de 2.4 GHz, 868 MHz (Europa) y 915 MHz (Estados Unidos). El Modulo Xbee se lo puede ver en la Figura 2.
- Tiene una velocidad de transmisión de 250 Kbps y un rango de cobertura de 10 a 75 metros.

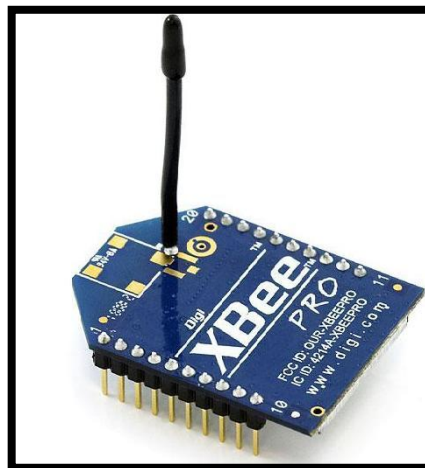


Figura 2. Módulo Xbee Pro (MaxStream, 2007)

- Utiliza la misma frecuencia con otro tipo de redes como WiFi o Bluetooth, sin embargo su desempeño no se ve afectado, debido a las características propias del estándar IEEE 802.15.4.(Oyace, 2010)
- Tiene la capacidad de operar en redes de gran densidad, esta característica ayuda a aumentar la confiabilidad de comunicación, ya que entre más nodos existan dentro de una red, entonces mayor número de rutas alternas existirá para garantizar que un paquete llegue a su destino.(Oyace, 2010)
- 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.(Oyace, 2010)

- Su topología de malla MESH permite a la red auto recuperarse de problemas de comunicación lo cual aumenta su confiabilidad.(Oyace, 2010)
- Permite la configuración de los llamados cables virtuales que se utilizan para crear un canal de comunicación de manera transparente entre los pines de un módulo y otro. Cada pin de entrada tiene su pin de salida ya definido entre nodos esto permite una forma totalmente simple de enviar información, controlar o medir de manera sencilla y rápida. La configuración de pines se demuestra en la Figura 3 .(Oyace, 2010)

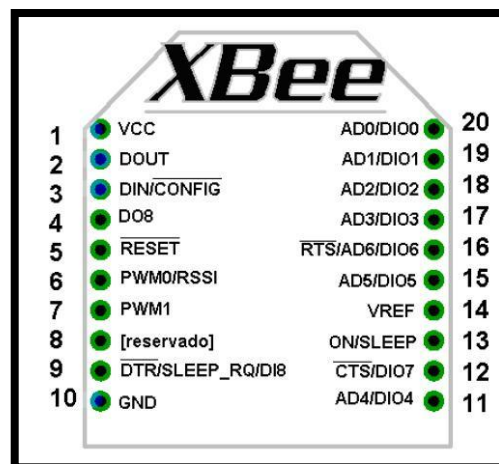


Figura 3. Diagrama de Pines del Modulo Xbee (Oyace, 2010)

2.4.2 Modos de Operación

Los módulos Xbee pueden trabajar en los siguientes modos, detallados de manera gráfica en la Figura 4.

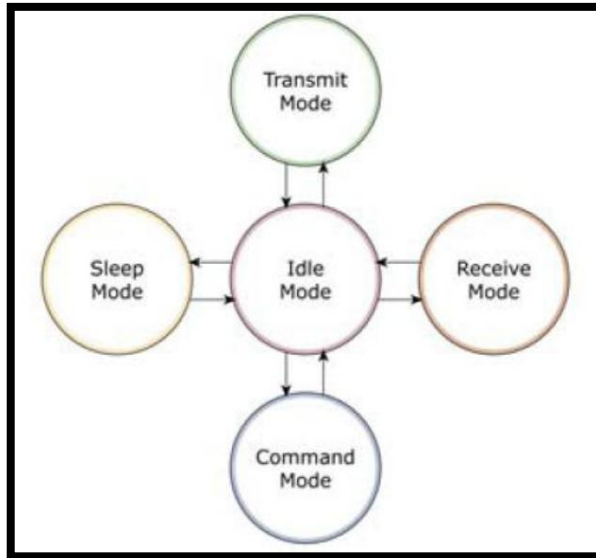


Figura 4. Modos de operación de los módulos Xbee. (Oyace, 2010)

- Transmit Mode

Modo cuando el módulo recibe algún paquete RF a través de la antena o cuando se manda información serial al buffer del pin 3 UART.

La información puede ser transmitida de forma directa o indirecta; de forma directa la información se envía inmediatamente a la dirección de destino. En el modo indirecto la información es retenida durante un periodo y es enviada solo cuando la dirección de destino la solicita. También se puede enviar la información mediante los modos Unicast y Broadcast. En el modo Unicast se envía un paquete de reconocimiento conocido como ACK por parte del módulo que recibe el paquete principal, para la confirmación y recepción de este, es decir, es una respuesta por parte del módulo receptor de que permite recibir el paquete principal.

- Sleep Mode

Cuando el Xbee está en modo Sleep o de sueño permite que el módulo RF entre en un estado de bajo consumo de energía cuando no se encuentra en uso. Para trabajar en Sleep Mode se debe cumplir las siguientes condiciones:

- Sleep_RQ (pin 9) esté en alto y el pin Sleep Mode (SM) esté en 1,2 ó 5. (MaxStream, 2007)
- Que el módulo esté en reposo, es decir no haya transmisión ni recepción de datos y esto está definido por la cantidad de tiempo definido por ST.

Cuando el comando SM está en 0 el módulo permanece en estado de reposo/recepción es decir está siempre preparado para responder a un comando, ya sea por el puerto serial o la interfaz RF.

A continuación en la Tabla 2 se considera los modos de operación, consumos, voltajes y condiciones para entrar en modo de bajo consumo. (Oyace, 2010)

Tabla 2. Tabla Modo Sleep y consumos de corriente.

Modo	Consumo alimentación			Modo Sleep	Modo Wake-up
	2.8 – 3 V	3.2 V	3.4V		
SM=1	<3 uA	32 uA	255 uA	Sleep_RQ	Sleep_RQ
SM=2	<35 uA	48 uA	170 uA	Sleep_RQ	Sleep_RQ
SM=3	(reservado)			(reservado)	(reservado)
SM=4	<34 uA	49 uA	240 uA	Comando ST	Comando SP
SM=5	<34 uA	49 uA	240 uA	Comando ST	Sleep RQ

(Oyace, 2010)

-Modo de Comando

Este modo permite ingresar comandos AT al módulo Xbee para configurar, ajustar o modificar parametros. Permite ajustar parametros como su modo de operación, la direccion propia o la de destino. Para poder ingresar a los comandos AT es necesario utilizar el Hyperterminal de Windows, el programa X-CTU o algún microcontrolador que maneje UART.

- Modo Transparente

En este modo todo lo que ingresa por el pin 3 (Data in), es guardado en el

buffer de entrada y luego es transmitido. Todo lo que ingresa como paquete RF, es guardado en el buffer de salida y luego enviado por el pin 2 (Data out). El modo transparente viene configurado por omisión en los módulos Xbee. Este modo está destinado principalmente a la comunicación punto a punto, donde no es necesario ningún tipo de control, también se lo puede usar para reemplazar alguna conexión serial por cable, ya que es la configuración más sencilla. Dependiendo de cómo se configure el comando RO, se puede transmitir la información como se muestra en la conexión serial en la Figura 5. El valor de RO es el número de veces en carácter de tiempo que queremos que el Xbee espere antes de enviar los datos recibidos su capacidad es de 100 bytes. (Oyace, 2010)

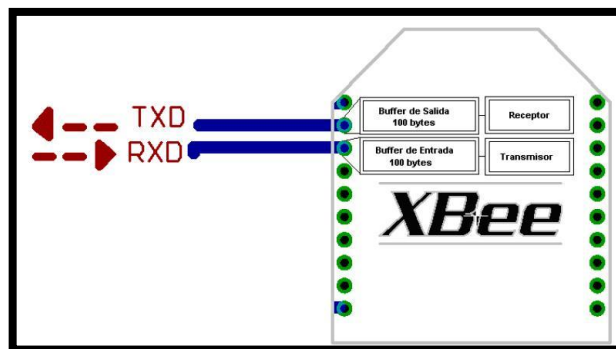


Figura 5. Correspondencia de Buffer. (Oyace, 2010)

-Modo de Operación API

Cuando el módulo Xbee se encuentra en este modo, toda la información que entra y sale, es empaquetada en frames, que definen operaciones y eventos dentro del módulo.

Un frame de transmisión de información (información recibida por el pin 3 data in) incluye:

- Frame de información RF transmitida.
- Frame de comandos (equivalente a comandos AT)

Mientras que un frame de recepción de información incluye:

- Frame de información RF recibida
- Comando de respuesta

Opciones que permite el modo API:

- Transmitir información a múltiples destinatarios, sin entrar al modo de Comandos.
- Recibir estado de éxito/falla de cada paquete RF transmitido.
- Identificar la dirección de origen de cada paquete recibido.

-Modo Idle

El módulo Xbee entra modo Idle cuando ningún otro modo está activo, es decir, el módulo activa el modo Idle cuando el Xbee no está operando o cuando no está en operación.

2.4.3 Programación de Módulos Xbee

Para la configuración y programación de los módulos Xbee se lo puede hacer mediante el Hyperterminal de Windows con la ayuda de los comandos AT, sin embargo existe el programa X-CTU, el cual permite la programación y trabajo de estos módulos de manera más fácil, gracias a la ayuda de su interfaz gráfica.

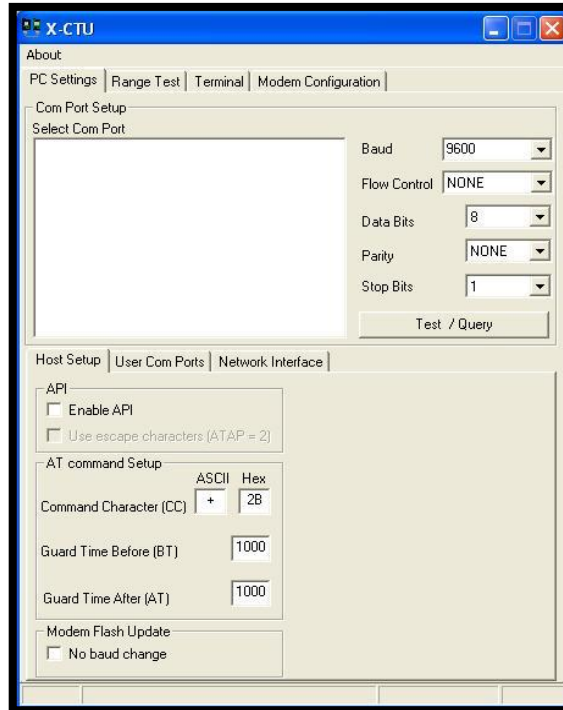


Figura 6. Software X-CTU pestaña PC Settings. (MaxStream, 2007)

En la ventana PC Settings mostrada en la Figura 6 se puede configurar las instrucciones del puerto serial para la comunicación del software con los módulos Xbee como son: la velocidad, la paridad, el puerto, entre otras.

En la pestaña Range Test en la Figura 7 es posible enviar una cadena de datos de cualquier tipo para probar el rango de alcance de la señal. Esto genera automáticamente datos y los envía por el módulo, de tal forma que permite verificar que datos llegan sin errores y a partir de esa estadística determinar el alcance de la señal.

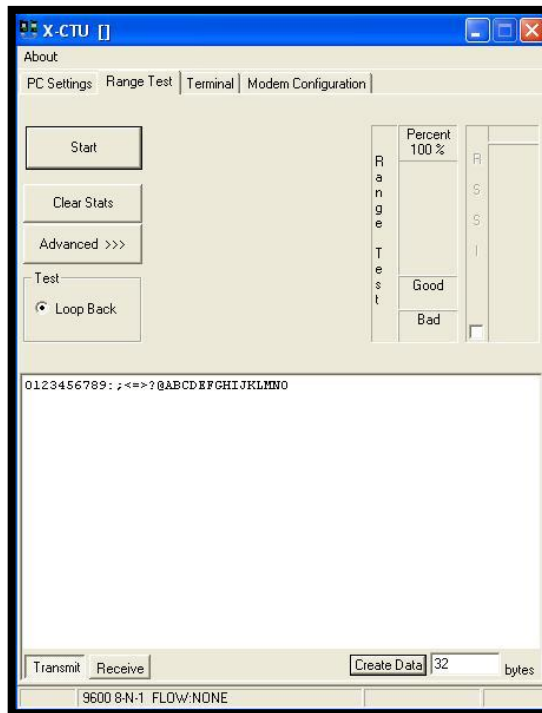


Figura7. Software X-CTU pestaña Range Test. (MaxStream, 2007)

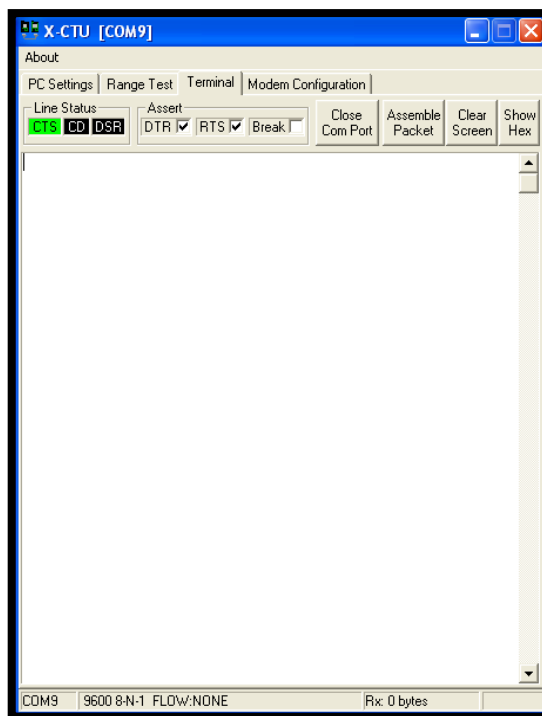


Figura 8. Software X-CTU pestaña Terminal (MaxStream, 2007)

La pestaña Terminal es similar al Hyperterminal de Windows, realiza las mismas funciones. Lo escrito en esta ventana va directamente al módulo como si estuviera en modo de comandos AT.

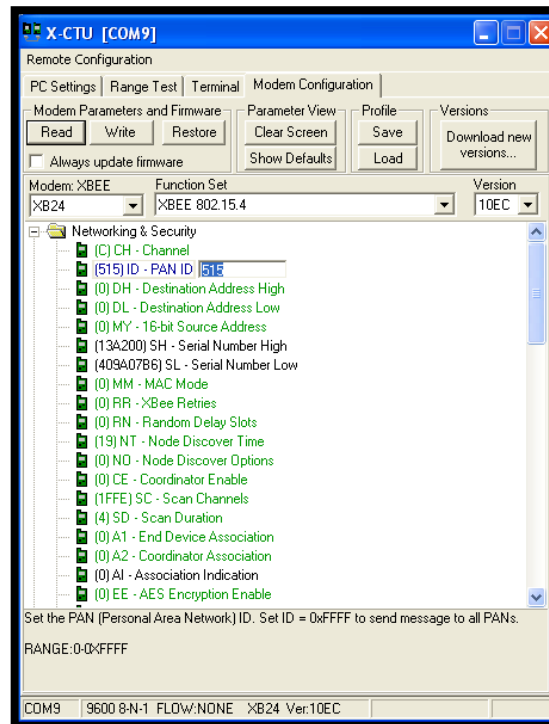


Figura 9. Software X-CTU pestaña Modem Configuration. (MaxStream, 2007)

La pestaña Modem Configuration como se muestra en la Figura 9, permite leer, guardar o cargar cierta configuración predeterminada. Admite ver cómo está configurado cada modem, es decir leer la programación y la versión del módulo Xbee, así como cambiar la programación o alguna característica. También se puede grabar configuraciones para futuras aplicaciones.

2.4.4 Detalles Técnicos

En la siguiente tabla se especifican los detalles técnicos del módulo Xbee 802.15.4 tipo serie 1.

Detalles	XBEE 802.15.4 (Series 1)
Funciones	
Tasa de datos	254 Kbps
Rango recinto interior	30 m
Rango línea de visión	100 m
Potencia de Transmisión	1 mW (+0 dBm)
Sensibilidad del receptor (1% PER ⁷)	-92 dBm
Características	
Interfaz de Datos Serial	3.3V CMOS UART
Métodos de Configuración	Comandos AT o API, local o sobre el aire.
Banda de frecuencia	2.4 GHz
Inmunidad a la interferencia	DSSS (Direct Sequence Spread Spread Spectrum)
Tasa de Comunicación Serial	1200 bps a 250 Kbps
Convertidores ADC	Convertidores de 10 bit (hasta 7 disponibles). ⁸
I/O Digitales	Hasta 8 disponibles.
PWM (Pulse Width Modulation)	Hasta 2 disponibles.
Opciones de Antena	Chip, Wire Chip, U.FL y RPSMA.
Redes y Seguridad.	
Encriptación	128 bits
Entrega confiable de paquetes.	Retries/Acknowledgments (Reintentos/ aviso de recibo de paquetes)
ID's y canales.	PAN ID (personal Area Network), 64-bit IEEE MAC, 16 canales.
Requerimientos de poder	
Voltaje de Alimentación	2.8 a 3.4 Vdc
Corriente al transmitir.	45 mA @ 3.3 Vdc
Corriente al recibir.	50 mA @ 3.3 Vdc
Corriente de apagado.	<10uA @ 25 °C
Regulaciones aprobadas.	
FCC (USA)	OUR-XBEE
IC (Canadá)	4214A-XBEE
ETSI (Europa)	Si
C-TICK Australia	Si
Telec (Japón)	Si

Figura 10. Detalles Técnicos Xbee. (Oyace, 2010)

2.5 Micro-Controladores

Un Micro-Controlador es un circuito integrado programable que contiene todos los componentes de un computador; Unidad Central de Procesamiento (CPU-Central ProcessUnit), memoria de acceso aleatorio (RAM-Random-AccessMemory), memoria solo de lectura programable y borrada eléctricamente (EEPROM-Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) y circuitos periféricos de entrada y salida. Se emplea para controlar el funcionamiento de una tarea determinada y, debido a su reducido tamaño, suele ir incorporado en el propio dispositivo al que gobierna, es por eso que esta característica se lo puede nombrar como Controlador Embebido (Embedded Controller). (Angulo Usategui, 2003)

Los Micro-Controladores como su definición lo dice son programables, al ser configurados o programados pueden realizar funciones simples como

encender y apagar LED`s hasta sistemas de control avanzados, robots sofisticados y sistemas automatizados. Un microcontrolador es capaz de realizar la tarea de muchos circuitos lógicos, como compuertas AND, OR, NOT, NAND, conversores A/D, D/A, temporizadores, decodificadores, etc., simplificando todo este diseño a una placa de reducido tamaño y con pocos elementos. (Reyes, 2008)

2.5.1 Familias de Micro-Controladores PIC

- PIC 10: Micro-Controladores de 8 bits, de bajo costo de 6 pines y baja funcionalidad.
- PIC 12: Micro-Controladores de 8 bits de bajo costo de 8 pines y baja funcionalidad.
- PIC 16: Micro-Controladores de 8 bits, con variedad de número de pines y aplicaciones variables, PIC más usados en didáctica.
- PIC 18: Micro-Controladores de 8 bits con gran variedad de número de pines y prestaciones medias/altas.
- PIC 24: Micro-Controladores de 16 bits con gran variedad de número de pines y variadas aplicaciones.

A continuación en la Figura 11 se podrá encontrar las familias de Micro-Controladores PIC según su funcionalidad y trabajo.

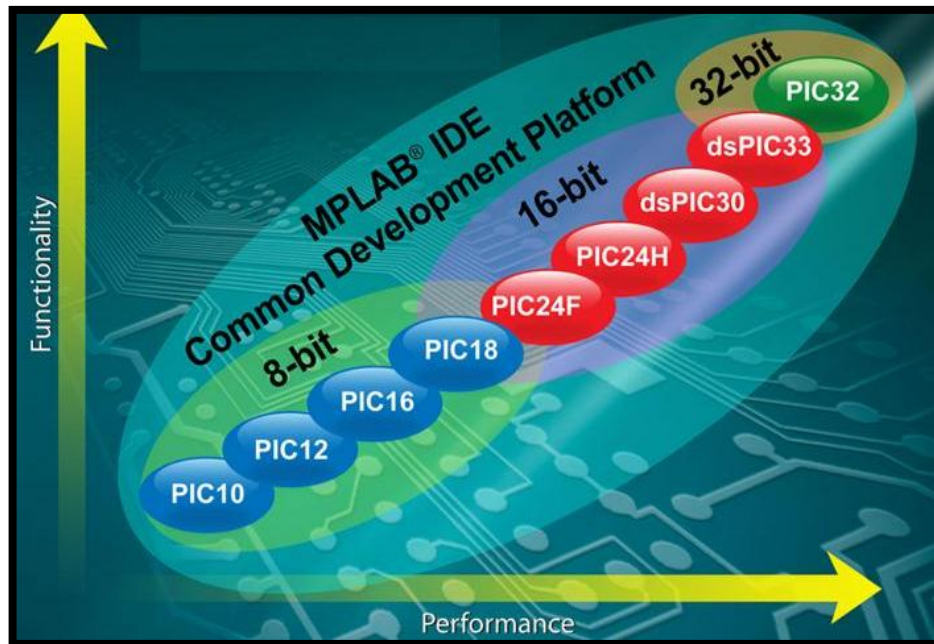


Figura 11. Familias de Micro-Controladores PIC. (Inc., 2011)

2.5.2 Micro-Controlador PIC 16F870

Es un Micro-Controlador de la familia de 8 bits que hace referencia a la longitud de los datos que manejan las instrucciones, también corresponde al tamaño del bus de datos y a los registros de la CPU. Cuentan con memoria de programa de tipo EEPROM flash mejorada, lo que facilita su programación con un dispositivo de programación de PIC. El diagrama de los pines se lo puede notar en la Figura 12.

2.5.2.1 Características Principales (Inc., PIC16F870 Datasheet, 2003)

- CPU de arquitectura RISC
- Set de 35 instrucciones
- Frecuencia de reloj de hasta 20 MHz
- Todas las instrucciones se ejecutan en un único ciclo de instrucción, excepto las de salto.

- Hasta 8K x 14 palabras de Memoria de Programa FLASH.
- Hasta 368 x 8 bytes de Memoria de Datos tipo RAM
- Hasta 256 x 8 bytes de Memoria de Datos tipo EEPROM.
- Hasta 15 fuentes de Interrupción posibles.
- 8 niveles de profundidad en la Pila hardware.
- Modo de bajo consumo (Sleep).
- Tipo de oscilador seleccionable (RC, HS, XT, LP y externo)
- Rango de voltaje de operación desde 2,0V a 5,5V.
- Conversor Analógico/Digital de 10 bits multicanal.
- 3 Temporizadores.
- Watchdog Timer o Perro Guardián.
- 2 módulos de captura/comparación/PWM.
- Comunicaciones por interfaz USART.
- Puerto Paralelo Esclavo de 8 bits (PSP)
- Puerto Serie Síncrono (SSP)

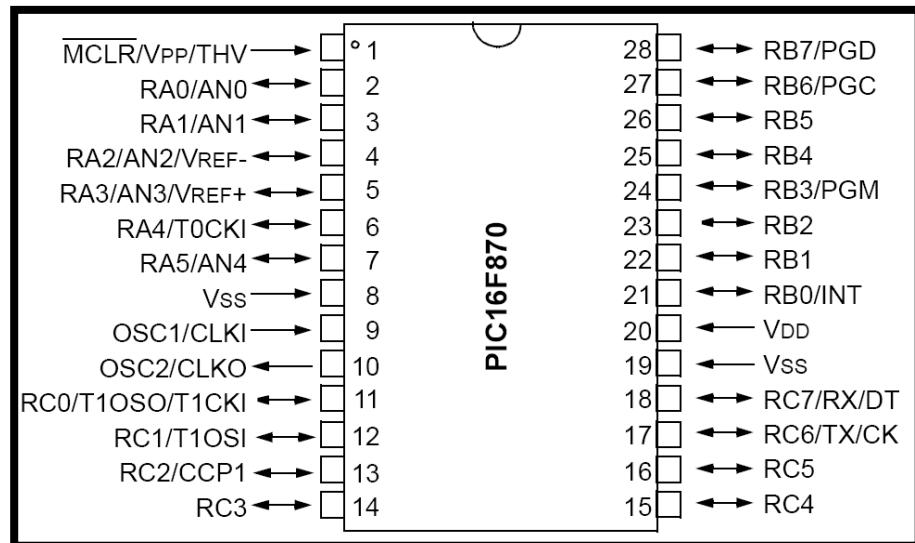


Figura 12. Diagrama de Pines PIC 16F870 (Inc., 2003)

2.5.2.2 Conversor Análogo Digital A/D

El Micro-Controlador PIC 16F870 lleva incorporado un conversor análogo-digital de 10 bits con 8 canales de conversión.

Para la conversión este PIC utiliza una técnica o método llamada de incremento y comparación, que consiste en usar un registro auxiliar cuyo valor se compara con la entrada analógica. Si es menor se incrementa el registro y se vuelve a comparar. Así hasta que el valor del registro sea lo más aproximado posible, pero sin pasar el valor de la entrada analógica.

El rango de voltaje aceptado para los puertos análogos del PIC es de 0 a 5V, en caso de necesitar otros valores de voltaje, se lo puede hacer mediante una regulación de voltaje mediante un divisor de tensión, calculando correctamente la relación de voltajes.

El módulo A/D tiene cuatro registros:

- Registro de resultado alto A/D (ADRESH)
- Registro de resultado bajo A/D (ADRESL)
- Registro de control 0 A/D (ADCON0)

- Registro de control 1 A/D (ADCON1)

El registro ADCON0 controla la operación del módulo A/D y el registro ADCON1 configura la función de los puertos o pines del micro-controlador. Los puertos pueden ser configurados como entradas análogas o como entradas digitales.

La conexión interna o el diagrama de bloques del convertor Análogo Digital, se lo demuestra en la siguiente figura o diagrama, se puede notar que AN3 y AN2 pueden ser también tomados como voltajes de referencia, de no ser así el micro-controlador toma por omisión los valores VDD y VSS.

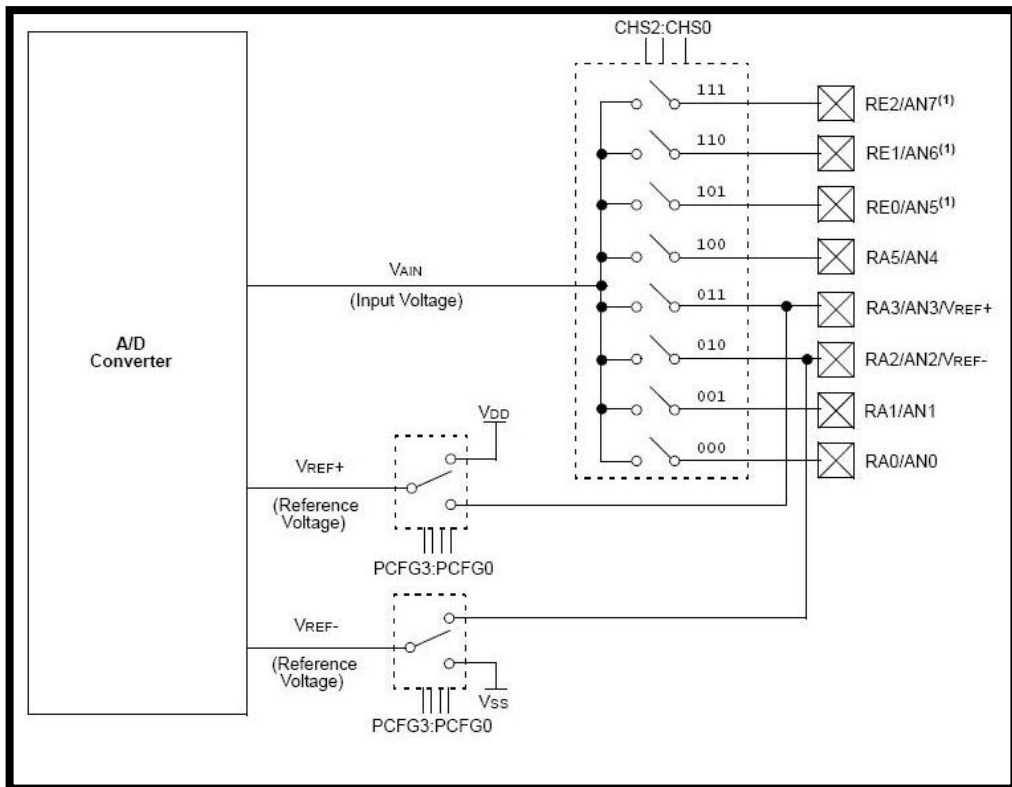


Figura 13. Diagrama de Bloques convertor A/D. (Inc., 2003)

2.6 Acelerómetro MMA7260QT

2.6.1 Características

Los acelerómetros son utilizados comúnmente como sensor de inclinación, para determinar la orientación de un objeto en el espacio o el movimiento según una referencia determinada, para este fin se usa la aceleración de la gravedad como un vector que tiene las dimensiones X, Y, y Z.

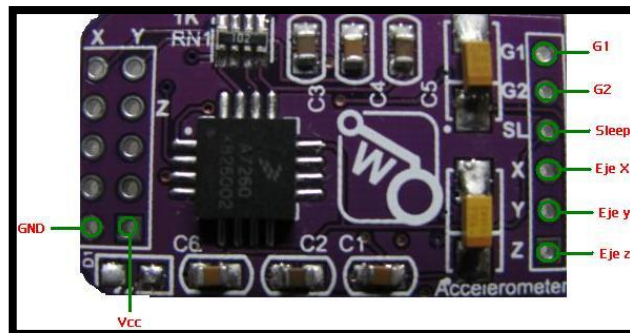


Figura 14. Diagrama de Pines Acelerómetro MMA7260QT. (Freescale Semiconductor, 2005)

El acelerómetro MMA7260QT como se muestra en la Figura 14 es un acelerómetro capacitivo micro-mecanizado de bajo costo con características de acondicionamiento de señal, un filtro de 1-polo de paso bajo, temperatura de compensación y g-Select (un rango de 1.5g a 6g) que permite la selección entre cuatro sensibilidades, dependiendo de la lógica de entrada escogida en el pin 1 y pin 2, modificando la ganancia interna del circuito y permitiendo así la variación de sensibilidad, como se muestra en la Tabla 3.

Zero-Offset (nivel de salida expresado en voltios cuando no existe aceleración) posee un período de gran escala y filtro de corte, estas son características de fábrica y no requieren dispositivos externos para realizar estas operaciones. El acelerómetro incluye funcionalidad en modo de reposo que hace que sea ideal para baterías de mano y para aplicaciones de consumo bajo de corriente. El diagrama funcional y las conexiones internas se pueden notar en la Figura 15.

Tabla 3. g-Select Descripción de pines y sensibilidad.(Freescale Semiconductor, 2005)

g-Select2	g-Select1	g-Range	Sensitivity
0	0	1.5g	800 mV/g
0	1	2g	600 mV/g
1	0	4g	300 mV/g
1	1	6g	200 mV/g

Las características principales de este sensor son:

- Sensibilidad seleccionable
- Bajo consumo de corriente 500uA
- Modo Sleep 3uA
- Voltaje bajo de operación: 2.2V-3.6V
- 6mm x 6mm x 1.45mm QFN
- Alta sensibilidad (800mV/g @ 1.5g)
- Acondicionamiento de señal interno con filtro pasa bajo.
- Rápido tiempo de encendido.
- Bajo Costo.
- No contiene plomo en los terminales.

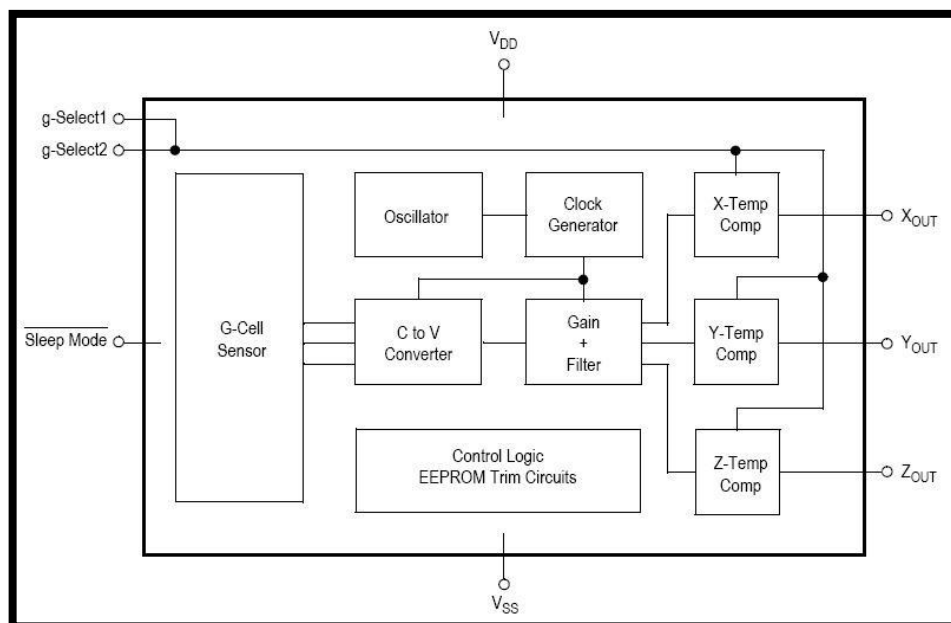


Figura 15. Diagrama funcional de bloques simplificado MMA7260QT.

(Freescale Semiconductor, 2005)

2.6.2 Principio de Funcionamiento

El dispositivo consiste en dos superficies micro mecanizadas con células de detección capacitiva (g-cell) y un acondicionamiento de señal ASIC contenida en un paquete único de circuito integrado. Los elementos de sensado están sellados herméticamente utilizando una oblea como tapa micro mecanizada. (Freescale Semiconductor, 2005)

La g-cell es una estructura mecánica formada a partir de materiales semiconductores (poli silicio) utilizando procesos semiconductores (enmascaramiento y grabado). Se puede modelar como un conjunto de vigas unidas a una masa móvil central que se mueven entre vigas fijas. Las vigas móviles pueden ser desviadas desde su posición de reposo al someter una aceleración al sistema (Figura 16).

Como las vigas están unidas al movimiento de masa central, la distancia de ellas a las vigas fijas en un lado aumenta en la misma cantidad que la distancia de las vigas fijas en el otro lado disminuye. El cambio en la distancia es una medida de la aceleración.

Las vigas g-cell forman dos condensadores back-to-back que indica que están conectados en direcciones opuestas como se muestra en la Figura 16. Dado que la viga central se desplaza con la aceleración, la distancia entre las vigas cambia y cada valor de condensador cambiará, ($C = A\epsilon / D$). Donde A es el área de la viga, ϵ es la constante dieléctrica, y D es la distancia entre las vigas.

El ASIC utiliza técnicas de condensadores conmutados para medir los condensadores de g-cell y extraer los datos de la aceleración de la diferencia entre los dos condensadores. El ASIC también condiciona y filtra (condensador conmutado) la señal proporcionando una tensión de alto nivel de salida que es radiométrico y proporcional a la aceleración.

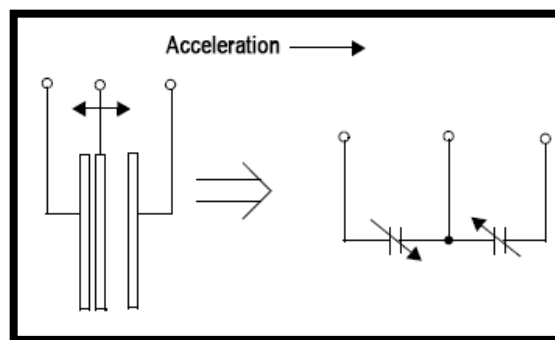


Figura 16. Modelo físico transductor simplificado. (Freescale Semiconductor, 2005)

2.7 Casco H.M.D. (Head Mounted Display) VR1280 (Virtual Research Systems, 2005)

Es un dispositivo de visualización en forma de casco que permite reproducir video e imágenes creadas por computador, en este caso modelos tridimensionales, este casco como se muestra en la Figura 17 tiene un diseño ergonómico para adecuar a la cabeza del usuario, que bloquea la vista y el audio del entorno en el que se encuentra, dando la impresión de realidad y acercamiento a los modelos tridimensionales.



Figura 17.H.M.D-Head Mounted Display VR1280. (Virtual Research Systems, 2005)

2.7.1 Características Técnicas

- Señal de video de entrada 1280x1024 60Hz, este formato es conocido como SXGA.
- La caja de control de VR1280 como se muestra en la Figura 18 detecta automáticamente cuando un canal de entrada (right eye/mono) está siendo usado y que alimenta con una señal idéntica a los dos displays.
- Tiene dos displays uno para el ojo izquierdo(left eye/stereo) y para el ojo derecho(right eye/mono)
- Los detalles de la fuente de alimentación del casco se puede ver en la Tabla 4 a continuación.

Tabla 4. Fuente de alimentación.

Input AC	Output Dc
100-240V ~	+5V--5A
130-144VA	+12V--1.5A
60/50Hz	-5V--0.5A

(Virtual Research Systems, 2005)

- Tiene una salida auxiliar para un monitor para poder proyectar lo que el usuario con el casco está visualizando.
- Ambos displays deben tener la misma señal de entrada e igual sincronización (SXGA) para poder proyectar en el casco.
- También tiene un puerto para audifonos (Sennheiser) y para microfono (opcional) para dar más realidad al entorno virtual.



Figura 18. Caja de control VR1280. (Virtual Research Systems, 2005)

3. METODOLOGÍA

3.1 Análisis de Requerimientos

En este capítulo se muestra un análisis de requerimientos en el cual con la ayuda de una casa de calidad del proyecto, nos permite llegar a un estado óptimo antes de alcanzar la etapa de diseño en donde existen criterios y requerimientos tomados en cuenta según el cliente y el diseño de ingeniería. La casa de calidad se puede notar en la Tabla 5, en donde nos muestra una comparación de los diferentes requerimientos (Cliente vs Ingeniería) con el objetivo de ponderar y determinar en qué área del proyecto se debe dar prioridad.

Tabla 5. Casa de calidad del sistema.

Requerimientos de Ingeniería		Ponderación Cliente	Fácil Montaje y Fabricación	Diseño Eléctrico	Programación	Consumo Eléctrico	Uso de Tecnología	Funcionalidad	Respuestas del Sistema	Suma
1. Portabilidad	5	5	5	1	1	5	3	1	21	
2. Mantenimiento	6	3	1	1	3	3	3	1	15	
3. Precio	8	5	3	3	5	5	1	3	25	
4. Ergonomía	1	5	5	1	3	5	3	1	23	
5. Peso	3	5	3	1	1	5	5	1	21	
6. Comunicación Inalámbrica	2	3	5	5	5	5	3	5	31	
7. Baterías Recargables	7	1	5	3	5	5	3	3	25	
8. Operatividad	4	1	1	5	3	3	5	5	23	
Σ		28	28	20	26	36	26	20		

Alta	5	
Media	3	
Baja	1	
Valor de suma alto		

(Romeo Rivadeneira, 2013)

La ponderación usada en la casa de calidad fue tomada en cuenta por tres valores (Alta, Media y Baja) como se muestra en la Tabla 5, valores que son calificados a los requerimientos según su nivel de importancia entre los diferentes requerimientos de Cliente vs Ingeniería.

Dentro de los Requerimientos de Ingeniería el criterio con el valor más alto obtenido fue “Uso de tecnología”. Para la elaboración de los circuitos se lo desarrolla mediante montaje superficial en donde los componentes electrónicos son montados sobre la superficie del circuito impreso que a diferencia de la tecnología Through-Hole las conexiones se realizan mediante contactos planos con una matriz de esferas en la parte inferior de las terminaciones metálicas en los bordes del componente, Debido a esta ventaja el uso de montaje superficial nos permite usar los dos lados de la placa del circuito impreso, teniendo como resultado una placa pequeña soldada de elementos de la parte superior e inferior.

Dentro de los Requerimientos del Cliente como muestra la Tabla 5 el requerimiento con mayor ponderación es “Comunicación Inalámbrica”, por lo cual se usa módulos Xbee los cuales por su eficaz comportamiento en comunicación y transferencia de datos en cortas distancias, cumple con las características adecuadas para el trabajo en el proyecto.

3.2 Diseño de los Circuitos

3.2.1 Diseño del Micro-Controlador

Para el análisis y diseño del micro-controlador a usar se debe tomar en cuenta diferentes criterios requeridos en el sistema, para ello se usa el método de criterios ponderados demostrado a continuación en la Tabla 6, en donde los diferentes criterios tomados a consideración son evaluados y ponderados entre sí para luego evaluar y realizar una segunda ponderación de estos criterios vs Microcontroladores, que para este diseño se consideraron 3 PIC`s con diferentes funcionalidades y características como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Criterios Ponderados Microcontroladores.

Criterios Microcontroladores- PIC	Convertor Análogo/Digital	Comunicación Serial	Voltaje de operación	Memoria de datos	Periféricos	Consumo Eléctrico	Costo	$\Sigma + 1$	Ponderación
1. Convertor Análogo/Digital		1	1	1	1	1	0	4	0,123
2. Comunicación Serial	0,5		1	0	1	1	1	5	0,138
3. Voltaje de operación	1	1		1	1	1	0	5	0,154
4. Memoria de datos	1	1	0		1	1	0	4	0,123
5. Periféricos	1	1	1	1		1	1	6	0,185
6. Consumo Eléctrico	1	1	1	0	1		1	6	0,169
7. Costo	0	1	0	0	1	1		4	0,108
							Σ	33	1

Criterios Microcontrolador - PIC	Convertor Análogo/Digital	Comunicación Serial	Voltaje de operación	Memoria de datos	Periféricos	Consumo Eléctrico	Costo	Σ	Prioridad
PIC 16F870	0,37	0,69	0,62	0,62	0,92	0,85	0,43	4,49	1
PIC 16F28A	0,25	0,42	0,62	0,37	0,74	0,68	0,54	3,60	2
PIC 16F877A	0,62	0,69	0,62	0,62	0,55	0,51	0,22	3,82	3

Tabla 6. Criterios Ponderados Microcontroladores continuación....

Microcontrolador- PIC	Conversor Análogo/Digital	Comunicación Serial	Voltaje de operación	Memoria de datos	Periféricos	Consumo Eléctrico	Costo	Suma
PIC 16F870	3	5	4	5	5	5	4	31
PIC 16F28A	2	3	4	3	4	4	5	25
PIC 16F877A	5	5	4	5	3	3	2	27

Nota: Donde 5 es el valor óptimo o más alto y 1 es el menor.

(Romeo Rivadeneira, 2012)

Según los criterios tomados en cuenta para escoger el Microcontrolador más óptimo para el uso en el proyecto fue el PIC 16F870, el cual cumple con los requerimientos del usuario y del sistema. Se puede notar que el PIC 16F870 es el de mayor puntaje con 31 y es el que se utiliza en el sistema, luego el PIC16F877A con un puntaje de 27, que cumple con las mismas funciones que el PIC16F870, sin embargo estaría sobredimensionado en caso de ser usado. Y por último el PIC16F28A con puntaje de 27 que no cumple con los requisitos del sistema.

El PIC 16F870 es el ideal para la aplicación del proyecto, este consta con comunicación serial para el envío de la información, este está alimentado por 5V, también tiene un LED indicador D3, que muestra el estado del Microcontrolador y en el estado que se encuentra según la programación. También en la Figura 19 se puede notar la conexión para el programador y un pulsador para el "Máster Clear" del Microcontrolador.

Para la lectura, procesamiento y envío de los datos el PIC16F870 se lo hace mediante las conexiones del puerto serial Tx en el pin C6 y Rx en el pin C7. Estos pines van conectados con el módulo de comunicación inalámbrica Xbee.

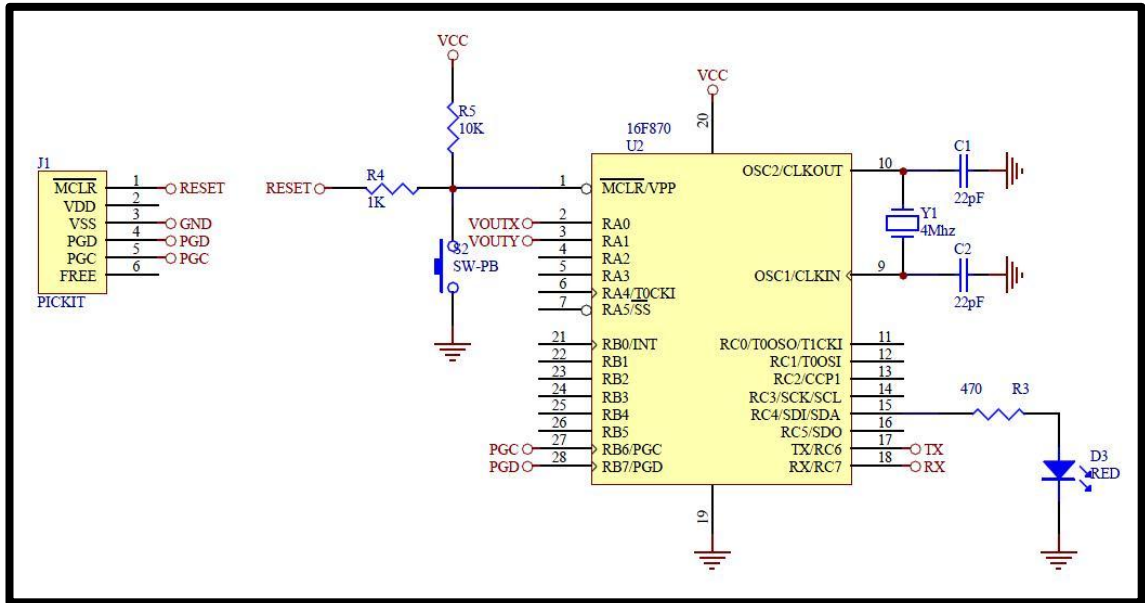


Figura 19. Diagrama de Conexiones del PIC16F870 en el sistema. (Romeo Rivadeneira, 2012)

3.2.2 Diseño de Alimentación del circuito

El sistema de alimentación del proyecto se lo va a hacer mediante baterías Lipo (baterías de polímero de litio) de 3.7V /1A como se muestra en la Figura 20, conectadas en serie ya que se necesita 5V para la alimentación del Micro-Controlador y para los amplificadores. Estas baterías son recargables y no pesan mucho, lo último se debe tomar mucho en cuenta ya que el circuito va en el casco y debe ser lo más liviano posible.

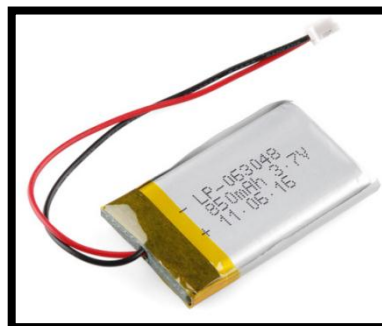


Figura 20. Baterías de Polímero de Litio-LiPo. (Freescale Semiconductor I. , 2005)

Al tener las dos baterías en serie se obtiene un voltaje de 7.4V como se muestra en la Figura 21, por lo que es necesario mantener este valor a través de reguladores de voltaje, así el LM7805 permite obtener 5V como demuestra la conexión en la Figura 21, este voltaje es usado por el Micro-Contrólador PIC16F870. Para regular a 3.3 V se usa el integrado LM1117 como se muestra en la Figura 23, usado para el Xbee y el acelerómetro. Como se puede constatar en la Figura 21, el voltaje VP es la salida de las baterías. Cada uno de los circuitos reguladores como el de 5V y el de 3.3V tienen sus capacitores correspondientes recomendados por el fabricante.

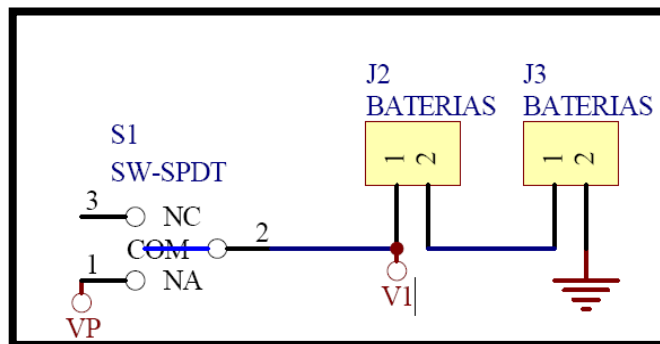


Figura 21.Baterías en serie Voltaje $V_p = 7.4V$. (Romeo Rivadeneira, 2012)

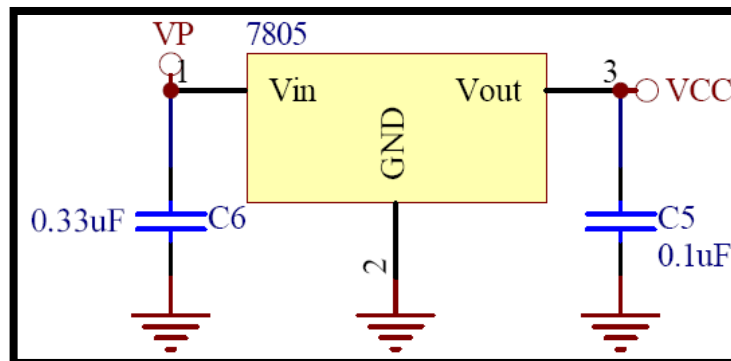


Figura 22.Regulador de Voltaje LM7805 con circuito de acondicionamiento.
(Romeo Rivadeneira, 2012)

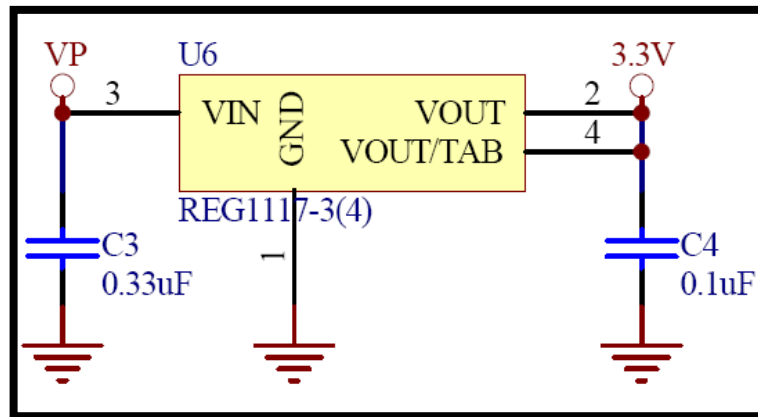


Figura 23.Regulador de voltaje LM1117 con circuito de acondicionamiento.
(Romeo Rivadeneira, 2012)

3.2.3 Diseño de amplificadores

Dado que las señales del acelerómetro tienen como límite superior un voltaje de 3.3V y, que el conversor análogo digital de 8 bits trabaja con un límite superior de 5V, es necesario amplificar las señales emitidas por el acelerómetro para utilizar el rango completo del conversor de 0 a 5V (255 pasos = 2^8). Los amplificadores son alimentados con el voltaje de entrada $VP=7.4V$. Para esto se va a utilizar el integrado LM358 que internamente tiene dos amplificadores operacionales, por cada eje se va a utilizar un integrado ya que se necesitan hacer dos operaciones, a continuación el diseño de cada eje.(Coughlin & Driscoll, 1993)

- Eje X

Rango de Operación de 0.8V a 2.4V, teniendo solo una histéresis de 1.6V. Estos datos son los valores mínimos y máximos que entrega el acelerómetro al momento de sensar.

Para la amplificación del eje X se va a utilizar dos circuitos amplificadores un inversor y un no inversor por eje, que serán representados por la siguiente ecuación lineal.

$$V_f = V_i \times a + b \quad [3.1]$$

Dónde:

V_f = Voltaje final o voltaje amplificado

V_i =Voltaje de entrada del acelerómetro

a =valor de amplificación

b =Valor de amplificación.

Se debe determinar los valores de “a” y “b” que serán encontrados mediante un sistema de ecuaciones de dos incógnitas usando los valores máximos y mínimos para el conversor análogo digital. Tomando como referencia que 0V va a ser el mínimo voltaje amplificado y 4V el valor máximo amplificado, y se tendrá una histéresis de 4V, entonces con la fórmula de la ecuación lineal se obtienen dos ecuaciones.

$$V_h = V_a \times a + b \quad [3.2]$$

$$V_l = V_b \times a + b \quad [3.3]$$

Dónde:

V_a = Voltaje máximo del acelerómetro (2.4V).

V_b =Voltaje mínimo del acelerómetro (0.8V).

V_h =Voltaje máximo a obtener con la amplificación (4V).

V_l =Voltaje mínimo a obtener con la amplificación (0V).

Reemplazando se tiene:

$$4V = 2.4V \times a + b$$

$$0V = 0.8V \times a + b$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones obtenemos:

$$a=2.5$$

$$b=-2$$

Remplazando en la Ecuación 3.1 para el Eje X se consigue los valores de voltajes finales como se muestra en la Tabla 7 con las siguientes ecuaciones.

$$Vf = Vi \times a + b$$

$$Vf = Vi \times 2.5 - 2$$

Una vez habiendo obtenido la ecuacion que nos da los valores de voltaje amplificado, se lo debe representar en electronica, esto lo hace con amplificadores operacionales, los cuales son usados para operaciones matematicas, para este caso se los usara para una multiplicacion y una suma o resta. Para cualquier configuracion de los amplificadores LM358 es importante el diseño de los valores de las resistencias conectados al integrado, lo cual debemos representar los valores de "a" y "b" con una configuracion de resistores.

Tabla 7. Valores de voltaje amplificados ejeX.

Vi	Vf
0,8	0
0,9	0,25
1	0,5
1,2	1
1,3	1,25
1,4	1,5
1,5	1,75
1,6	2
1,7	2,25
1,8	2,5
1,9	2,75
2	3
2,1	3,25
2,2	3,5
2,3	3,75
2,4	4

(Romeo Rivadeneira, 2012)

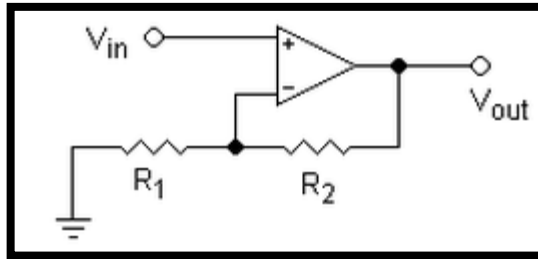


Figura 24. Amplificador No-Inversor. (Corporation, 2002)

La ecuación de Amplificador No-Inversor es:

$$V_{out} = V_{in} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad [3.4]$$

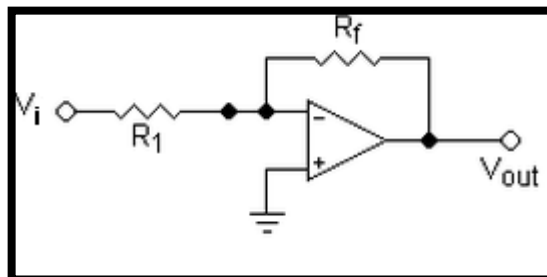


Figura 25. Amplificador Inversor. (Corporation, 2002)

La ecuación del Amplificador Inversor es:

$$V_{out} = -V_i \left(\frac{R_f}{R_1} \right) \quad [3.5]$$

Entonces debemos multiplicar el valor V_x que es el voltaje sentido en el eje X por $a=2.5$ como indica la Ecuación 3.1, se debe usar el primer amplificador operacional no inversor notado en la Figura 24 ya que solo se requiere multiplicar por un valor. Aplicando la Ecuación 3.4 se obtiene:

$$V_{out1} = V_x \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad [3.6]$$

Donde V_{out1} será el resultado de la primera parte de la amplificación, es decir la multiplicación del V_x por “a”.

Donde $\left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$ debe ser igual a $a=2.5$, como se tiene en la ecuación del

voltaje amplificado, entonces diseñando con los valores de resistencia de $R_2=15K\Omega$ y $R_1=10K\Omega$ obtenemos el valor de “a” que nos pide la ecuación.(Coughlin & Driscoll, 1993)

Luego esta señal es conectada al segundo amplificador, este segundo amplificador es un inversor como en la Figura 25 con su Ecuación 3.5 que es usado para restar valores como en este caso la ecuación nos lo requiere restar el valor $b=-2$.

$$V_{out2} = -V_d \left(\frac{R_f}{R_1} \right) \quad [3.7]$$

Donde V_{out2} será el resultado de la segunda parte de la amplificación, es decir la resta de “b” a la primera parte de la amplificación que es V_{out1} .

Donde $V_d \left(\frac{R_f}{R_1} \right)$ debe ser igual a $b=2$ entonces necesitamos una entrada de 2V que lo hacemos mediante un divisor de voltaje como se muestra en la Figura 25. Luego debemos multiplicar por resistencias que me den como resultado igual a 1, es decir $R_f=10K\Omega$ y $R_1=10K\Omega$.

$$V_{out2} = -2 \left(\frac{10k}{10k} \right)$$

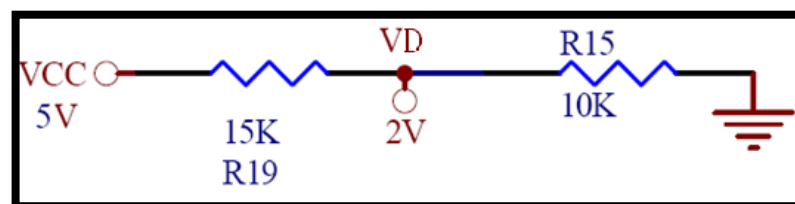


Figura 26. Divisor de voltaje para obtener 2V. (Romeo Rivadeneira, 2012)

Como resultado final tenemos debemos sumar V_{out1} y V_{out2} y resolver la ecuación representada y notada según el circuito en la Figura 27.

$$V_{outx} = V_{out1} + V_{out2}$$

$$V_{outx} = V_x \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) - V_d \left(\frac{R_f}{R_1}\right)$$

$$V_{outx} = V_x \times 2,5 - 2$$

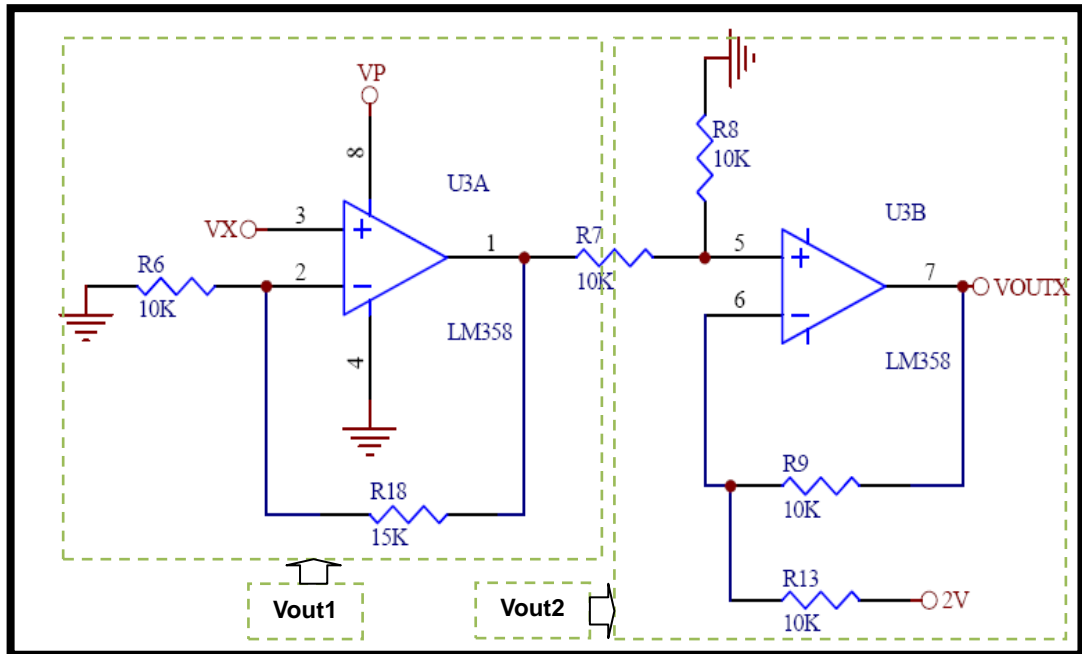


Figura 27. Sistema de Amplificación Eje X. (Romeo Rivadeneira, 2012)

- Eje Y

Realizamos el mismo procedimiento en el eje Y para calcular los datos de amplificación. Rango de Operación de 0.9V a 2.6V, teniendo solo una histéresis de 1.7V. Estos datos son los valores máximos y mínimos que nos puede dar el acelerómetro tomando en cuenta los límites que el acelerómetro puede sensar.

Para la amplificación del eje X se va a utilizar dos circuitos amplificadores un inversor y un no inversor por eje, que serán representados por la fórmula de la ecuación lineal como se nota en la Ecuación 3.1. Los valores finales amplificados se los demuestra en la Tabla 8.

Dónde:

V_f = Voltaje final o voltaje amplificado

V_i =Voltaje de entrada del acelerómetro

a =Valor de amplificación

b =Valor de amplificación.

Debemos encontrar los valores de “a” y “b” que serán encontrados mediante un sistema de ecuaciones de dos incógnitas usando los valores máximos y mínimos para el conversor análogo digital. Tomando como referencia que 0V va a ser el mínimo voltaje amplificado y 4V el valor máximo amplificado, y tendríamos una histéresis de 4V, entonces con la fórmula de la ecuación lineal sacamos dos ecuaciones.

$$V_h = V_a \times a + b$$

$$V_l = V_b \times a + b$$

Dónde:

V_a = Voltaje máximo del acelerómetro. (2.6V)

V_b =Voltaje mínimo del acelerómetro. (0.9V)

V_h =Voltaje máximo que queremos obtener con la amplificación- 4v.

V_l =Voltaje mínimo que queremos obtener con la amplificación- 0V.

Reemplazando obtenemos:

$$4V = 2,6V \times a + b$$

$$0V = 0,9V \times a + b$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones obtenemos:

$$a=2.4$$

$$b=-2.1$$

Reemplazando en la Ecuación 3.1 para el Eje Y obtenemos los valores de voltajes finales como se muestra en la Tabla 6.

$$Vf = Vi \times a + b$$

$$Vf = Vi \times 2.4 - 2.1$$

Tabla 8. Valores de voltaje amplificados ejeY.

Vi	Vf
0,9	0,0
1	0,2
1,2	0,7
1,3	0,9
1,4	1,2
1,5	1,4
1,6	1,6
1,7	1,9
1,8	2,1
1,9	2,4
2	2,6
2,1	2,8
2,2	3,1
2,3	3,3
2,4	3,5
2,5	3,8
2,6	4,0

(Romeo Rivadeneira, 2012)

Una vez habiendo obtenido la ecuacion que nos da los valores de voltaje amplificado, se lo debe representar en electronica, esto lo hace con amplificadores operacionales, los cuales son usados para operaciones

matemáticas, para este caso se los usara para una multiplicación y una suma o resta. Se va a utilizar el integrado LM358 que internamente tiene dos amplificadores operacionales. Para cualquier configuración de los amplificadores es importante el diseño de los valores de las resistencias conectados a los amplificadores, lo cual debemos representar con valores de “a” y “b” con configuración de resistores.

Entonces debemos multiplicar el valor VY que es el voltaje sensado en el eje Y por a=2.4 como indica la Ecuación 1, se debe usar el primer amplificador operacional no inversor ya que solo se requiere multiplicar por un valor.

Usando la Ecuación 3.4 se obtiene:

$$V_{out1} = V_y \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

Donde Vout1 será el resultado de la primera parte de la amplificación, es decir la multiplicación del VY por “a”.

Donde $\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$ debe ser igual a a=2.4 entonces $R_2=14k \approx R_2=10k+3.3k$ (debido a que no existe una resistencia de 14k) y $R_1=10k$. Luego esta señal va conectada al segundo amplificador, este amplificador es un inversor (Ecuación 3.5), en este caso tenemos un valor de b=-2.1, pero ya tenemos una señal de 2V que se aproxima al valor requerido, es por eso que vamos a usar el mismo valor usado en el amplificador del eje X. La aproximación sería $b=-2.1 \approx b=-2$.

$$V_{out2} = -V_d \left(\frac{R_f}{R_1}\right)$$

Donde Vout2 será el resultado de la segunda parte de la amplificación, es decir la operación matemática de restar el valor de “b”. Donde $V_d \left(\frac{R_f}{R_1}\right)$ debe ser igual a b=2 entonces necesitamos una entrada de 2V que lo hacemos mediante un divisor de voltaje (Figura 25). Luego debemos multiplicar por resistencias que me den igual a 1, es decir $R_f=10k$ y $R_1=10k$. (Coughlin &

Driscoll, 1993)

$$V_{out2} = -2\left(\frac{10k}{10k}\right)$$

Como resultado final debemos sumar V_{out1} y V_{out2} y resolver la ecuación representada.

$$V_{outy} = V_{out1} + V_{out2}$$

$$V_{outy} = V_y\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) - V_d\left(\frac{R_f}{R_1}\right)$$

Debido al cambio de los valores reales por los valores aproximados se va a tener una pequeña variación en los datos, según esto tenemos la siguiente fórmula y los valores de voltajes amplificados se los demuestra en la Tabla 9.

$$V_{outy} = V_y \times 2,33 - 2$$

Tabla 9. Valores de voltaje reales amplificados ejeY.

V_i	V_f
0,9	0,1
1	0,3
1,1	0,6
1,2	0,8
1,3	1,0
1,4	1,3
1,5	1,5
1,6	1,7
1,7	2,0
1,8	2,2
1,9	2,4
2	2,7
2,1	2,9
2,2	3,1
2,3	3,4
2,4	3,6
2,5	3,8
2,6	4,1

(Romeo Rivadeneira, 2012)

El circuito final de los amplificadores y el sistema de amplificación del Eje Y se lo puede notar en la Figura 28.

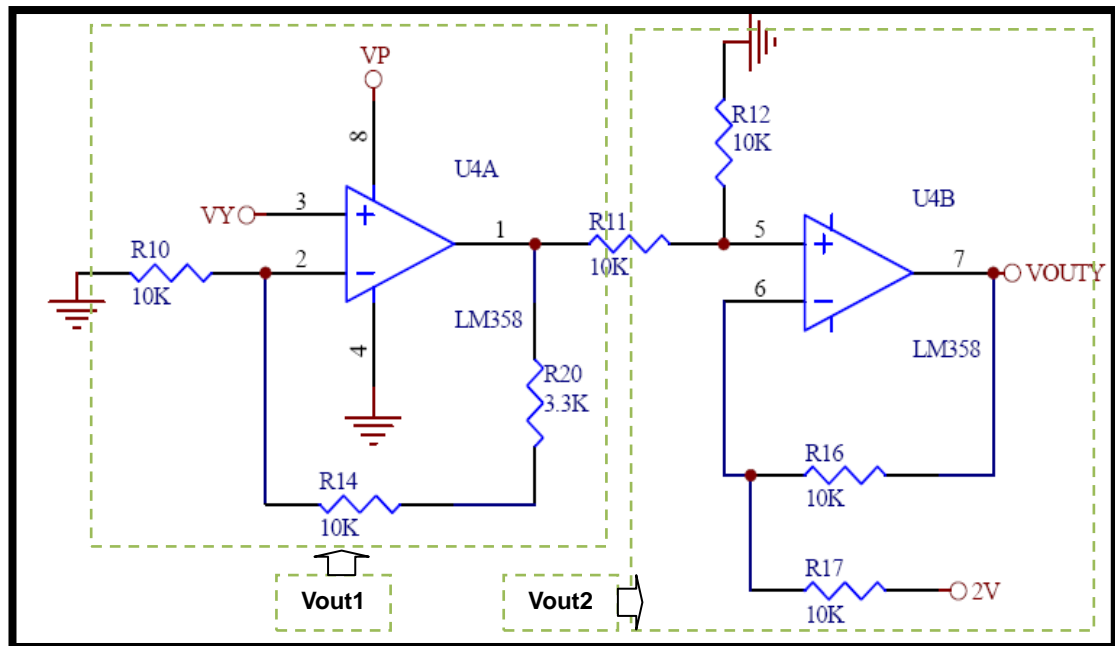


Figura 28. Sistema de Amplificación Eje Y. (Romeo Rivadeneira, 2012)

Los dos integrados LM358 usados para la amplificación de las señales del acelerómetros están alimentados por $V_P=7.4V$ que es el valor de voltaje de entrada de las baterías, debido a que necesitan valor de voltaje de alimentación superior al que se va a amplificar.

3.2.4 Diseño comunicación Inalámbrica

Para el análisis y diseño de la comunicación inalámbrica se debe tomar en cuenta diferentes criterios requeridos en el sistema, para ello se usa el método de criterios ponderados demostrado a continuación en la Tabla 10.

Tabla 10. Criterios Ponderados Comunicación Inalámbrica

Criterios Comunicación Inalámbrica	Fácil Programación	Alcance	Peso	Ancho de Banda	Funcionalidad	Consumo Eléctrico	Stock en el Mercado	Respuesta del Sistema	Costo	$\Sigma + 1$	Ponderación
1. Fácil Programación		1	0	1	1	0,5	0	1	0	5	0,110
2. Alcance	0,5		0	1	1	0,5	0	1	0	5	0,110
3. Peso	0	0		0	1	0	0	0,5	1	3	0,073
4. Ancho de Banda	0,5	1	0		1	0,5	0	1	0	5	0,122
5. Funcionalidad	1	1	1	1		1	1	1	0,5	8	0,195
6. Consumo Eléctrico	0,5	1	0	1	1		0	0,5	1	5	0,122
7. Stock en el Mercado	0	0	0	0	0	0		0	1	2	0,049
8. Respuesta del Sistema	0,5	1	0	1	1	0,5	0		0	5	0,110
9. Costo	0	0	1	0	1	1	1	0		5	0,110
SUMA										41	1

Criterios Comunicación Inalámbrica	Fácil Programación	Alcance	Peso	Ancho de Banda	Funcionalidad	Consumo Eléctrico	Stock en el Mercado	Respuesta del Sistema	Costo	Σ	Prioridad
Xbee	0,55	0,44	0,22	0,61	0,59	0,49	0,15	0,44	0,44	3,91	1
WiFi	0,33	0,33	0,22	0,49	0,78	0,37	0,15	0,33	0,55	3,54	2
Bluetooth	0,33	0,22	0,29	0,37	0,78	0,24	0,15	0,33	0,33	3,04	3

Tabla 10. Criterios Ponderados Comunicación Inalámbrica continuación...

Tecnologías Inalámbricas	Fácil Programación	Alcance	Peso	Ancho de Banda	Funcionalidad	Consumo Eléctrico	Stock en el Mercado	Respuesta del Sistema	Costo	Suma
Xbee	5	4	3	5	3	4	3	4	4	35
WiFi	3	3	3	4	4	3	3	3	5	31
BlueTooth	3	2	4	3	4	2	3	3	3	27

Nota: Donde 5 es el valor óptimo o más alto y 1 es el menor.

(Romeo Rivadeneira, 2012)

Según los criterios tomados en cuenta para escoger la tecnología inalámbrica más óptima para el uso en el proyecto, fue el de la tecnología inalámbrica, la cual cumple con los requerimientos del usuario y del sistema. Se puede notar que Xbee tiene la mayor ponderación con 35 siendo esta la usada en el proyecto, 31 para WiFi y 27 para Bluetooth. Estas tecnologías podrían ser de igual manera utilizadas, sin embargo, los criterios considerados son los principales indicadores para utilizar la tecnología de los módulos Xbee.

Una vez sabiendo que el envío de información hacia los modelos 3D se lo va a hacer mediante los módulos Xbee, entonces se debe considerar el voltaje de alimentación que es de 3.3V y las conexiones para la comunicación (Rx y Tx) como se muestran en la Figura 29. También se utiliza dos LED indicadores como son, D1 que va conectado al puerto 6 del Xbee, e indica con un estado alto cuando se recibe información por el puerto 3 DIN. El segundo LED (D2) está conectado al puerto #13 e indica si el Xbee está funcionando o está en modo Sleep.

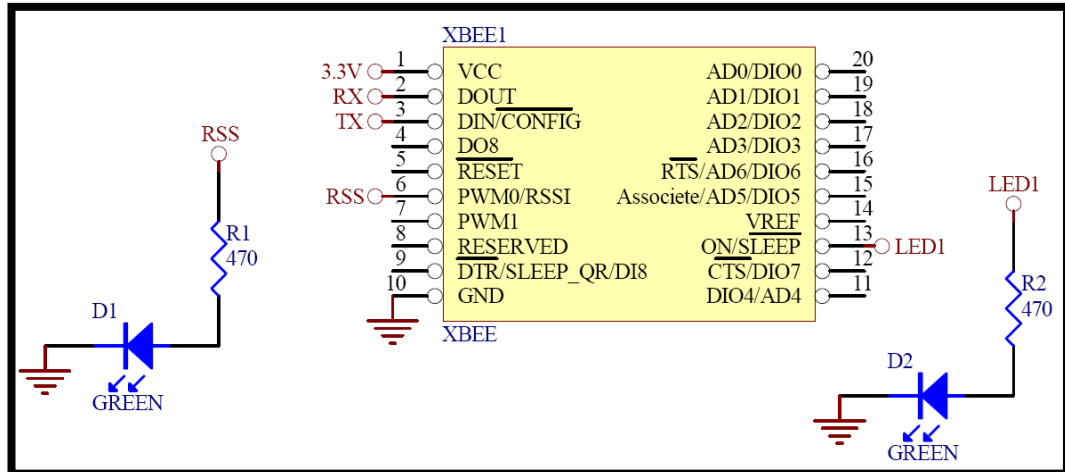


Figura 29. Diagrama de conexión del módulo Xbee con el sistema. (Romeo Rivadeneira, 2012)

3.2.4.1 Configuración de los módulos Xbee.

La configuración de los Xbee se lo puede hacer mediante el Hyperterminal o mediante el software XCTU que permite programar de una manera más sencilla y fácil para el usuario.

La recepción de los datos en el computador se lo hace mediante un Xbee Xplorer que recibe los datos y se conecta vía USB con el computador y envía la información de forma serial. Se debe diseñar la comunicación programando el Xbee Esclavo y el Xbee Maestro como muestra la Figura 30.

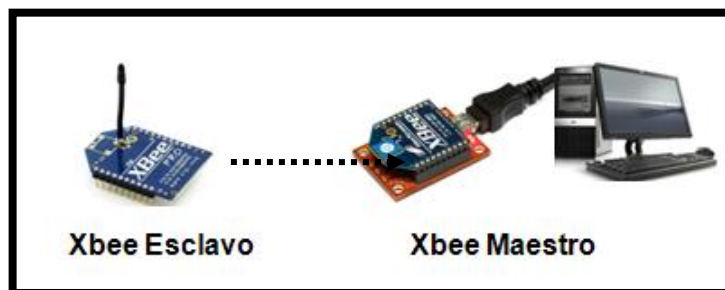


Figura 30. Red Xbee Maestro-Esclavo. (Romeo Rivadeneira, 2012)

Fuente: Publicaciones e Internet.

Primero se debe inicializar el software X-CTU, luego en la pestaña de PC-Settings se configura el puerto que se va a utilizar y la velocidad del puerto que está configurado en 9600 Baudios sin flujo de control y ninguna paridad. Con la función Test/Query se puede identificar si la comunicación es correcta ya que esta función visualiza la información del módulo Xbee y la versión del Firmware.

La programación o configuración de los módulos Xbee es similar a la de un Micro-Controlador, se lo hace mediante el software X-CTU en la pestaña Modem Configuration. Es aquí donde se programa o se configuran los comandos AT.

Para el diseño de la red Xbee se debe identificar cuál es el maestro y cuál el esclavo. Primero se configura el Xbee Maestro, para ello se usa el comando MY; el valor a emplearse será uno arbitrario que va en un rango de 0x0 hasta 0xFFFFE (porque la configuración es de 16 bits). El comando MY seteado es "1", que será el valor o el medio al cual se va a comunicar el esclavo como en la Figura 31.

También se debe configurar los comandos DL en el maestro (ATDL-DestinationAddressLow) donde igualmente el rango de configuración es de 0x0 hasta 0xFFFFE (siendo una configuración de 16 bits). Este comando va a ser fijado en "2", en donde su destino (módulo al que se va a enviar los datos) tiene este parámetro de configuración.

La configuración del esclavo se lo hace de manera similar, se debe establecer el comando MY y el DL. El comando MY se lo setea en "2" debe ser diferente al del maestro y fácil de identificar para la red. El comando DL será el destino a donde se envían los datos, que es el módulo Xbee Maestro seteado MY "1". El comando DL del esclavo tiene el valor de "1" como muestra la Figura 31 que es el valor de direccionamiento del módulo maestro. En caso de tener un tercer Xbee que se debería comunicar con el mismo maestro, sus comandos serían MY "3" y DL "1".

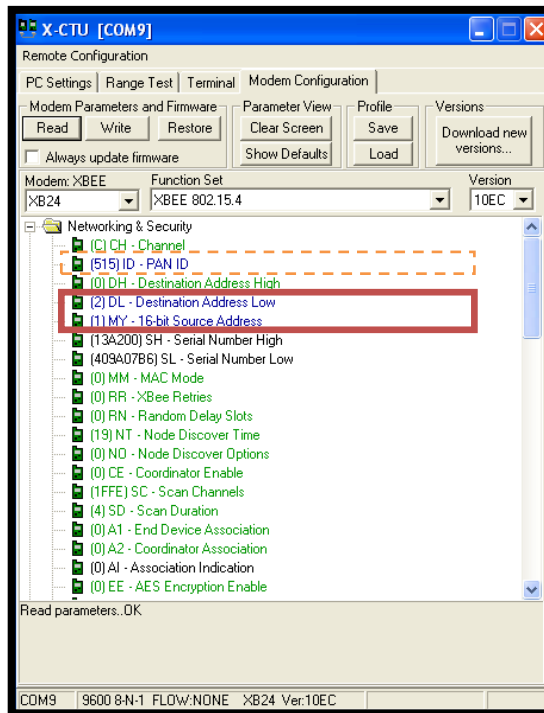


Figura 31. Configuración de los comandos DL y MY del Xbee Maestro.
(MaxStream, 2007)

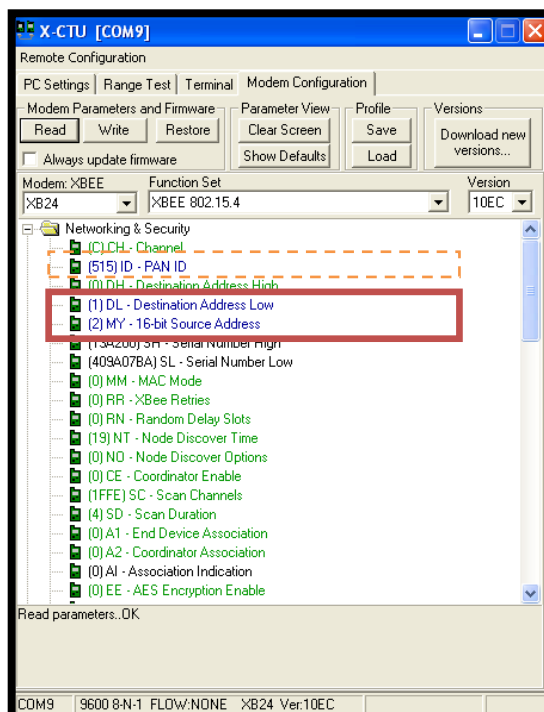


Figura 32. Configuración de los comandos DL y MY del Xbee Esclavo.
(MaxStream, 2007)

Los módulos Xbee deben estar configurados con el mismo PAN (Personal Área Network) ID "515", que es el identificador de red, para que los módulos se puedan reconocer entre ellos, ambos el maestro y el esclavo deben tener el mismo valor que es escogido arbitrariamente. Como se muestra en la Figura 31 y Figura 32. Cuando se cambia un valor en esta pestaña se pone de color amarillo con el nuevo valor.

3.3 Diseño del software (Programación del Micro-Controlador).

El siguiente código está hecho en lenguaje Basic para el PIC 16F870 y su principal función es leer los datos del acelerómetro (par ordenado X, Y) a través de las entradas analógicas del Micro-Controlador. Además, permite ubicar la imagen (cursor) en el origen (0,0) para los dos ejes; esto se lo realiza mediante una instrucción de calibración, que nos va a dar como resultado los valores de X_i y Y_i , con el objetivo de tener estos valores seteados en "0".

Estos son los valores iniciales del sistema y deben ser tomados sin movimiento del acelerómetro.

A continuación se realiza una nueva lectura de los datos de los dos ejes, luego se debe obtener la brecha entre estos últimos valores y los correspondientes a X_i y Y_i para obtener el valor de X_1 y Y_1 , si estos valores son menores o iguales a "2" son fijados e impresos directamente en "0"; esto se lo realiza con la finalidad de que a veces cuando el acelerómetro no está en movimiento y esta seteado en 0 suelen haber pequeñas variaciones lo cual el sistema puede interpretar como variación de los datos sin existir movimiento es por eso que debemos setear los datos con variación de 2 en "0".

También se realiza esta calibración para tener el modelo sin movimiento en el punto inicial y el usuario sin realizar movimiento de la cabeza pueda navegar fácilmente en el entorno 3D.

Si estos valores no son iguales a cero (0) se realiza una tercera lectura con el objetivo de encontrar la variación de cada uno de los ejes. Estos datos tomados son igualmente restados de los valores X_i y Y_i e igual se realiza la comparación si son menores o iguales a "2" para setearlos en "0", con esta operación obtenemos X_2 y Y_2 .

Se realiza la comparación de $X_1=X_2$ y $Y_1=Y_2$ si estos son iguales quiere decir que no hubo variación y se imprime X_1 y Y_1 de no ser así se compara cual es mayor, de ser $X_1>X_2$ se imprime el rango de valores desde X_2 hasta X_1 teniendo los valores ordenados de forma ascendente, y si $X_1<X_2$ se imprime los valores desde X_2 hasta X_1 por lo que los valores están ordenados descendientemente; lo mismo para el eje Y.

Toda esta explicación se muestra en el siguiente diagrama de flujo en la Tabla 11.

Tabla 11. Diagrama de Flujo del sistema

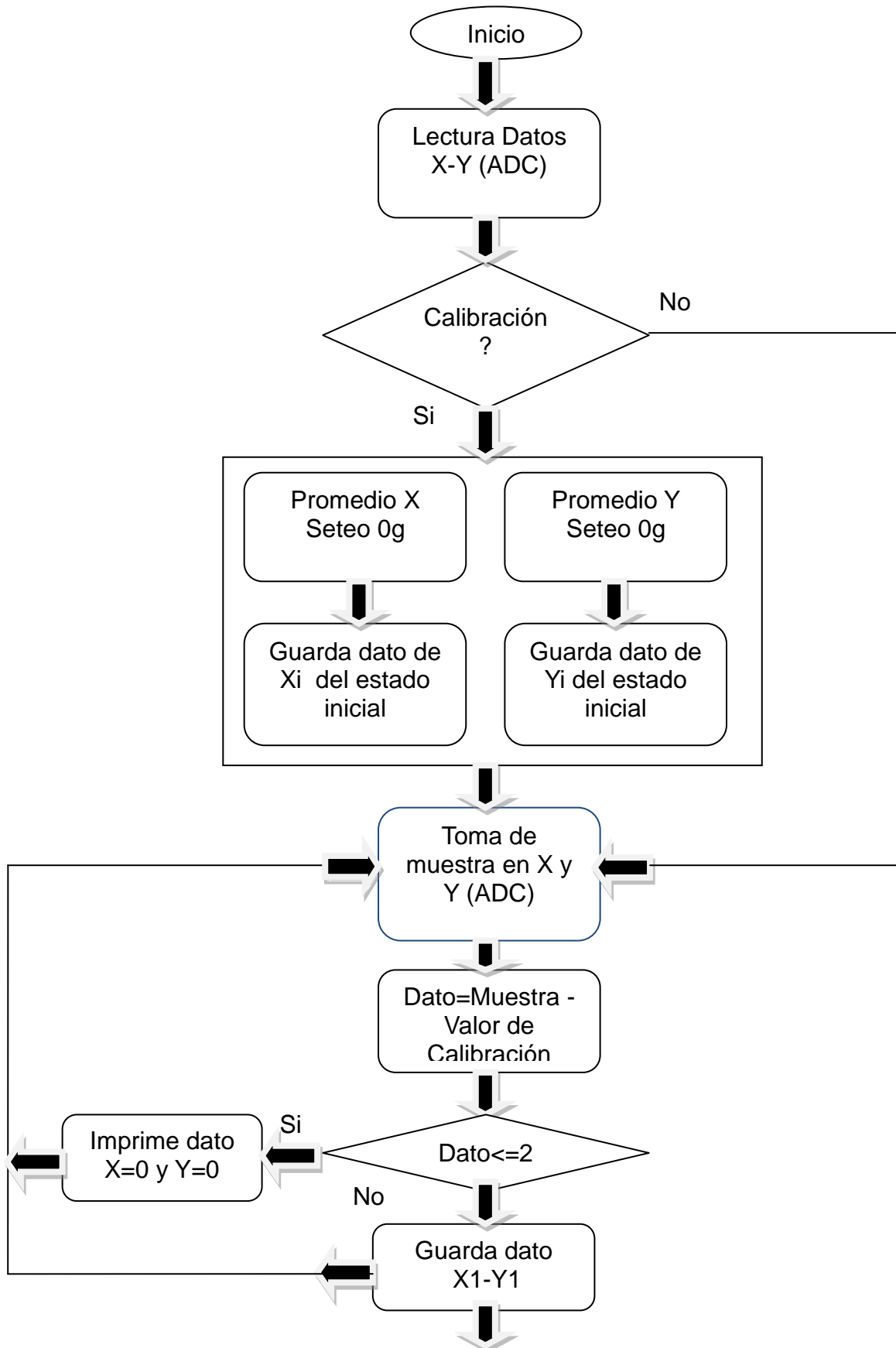
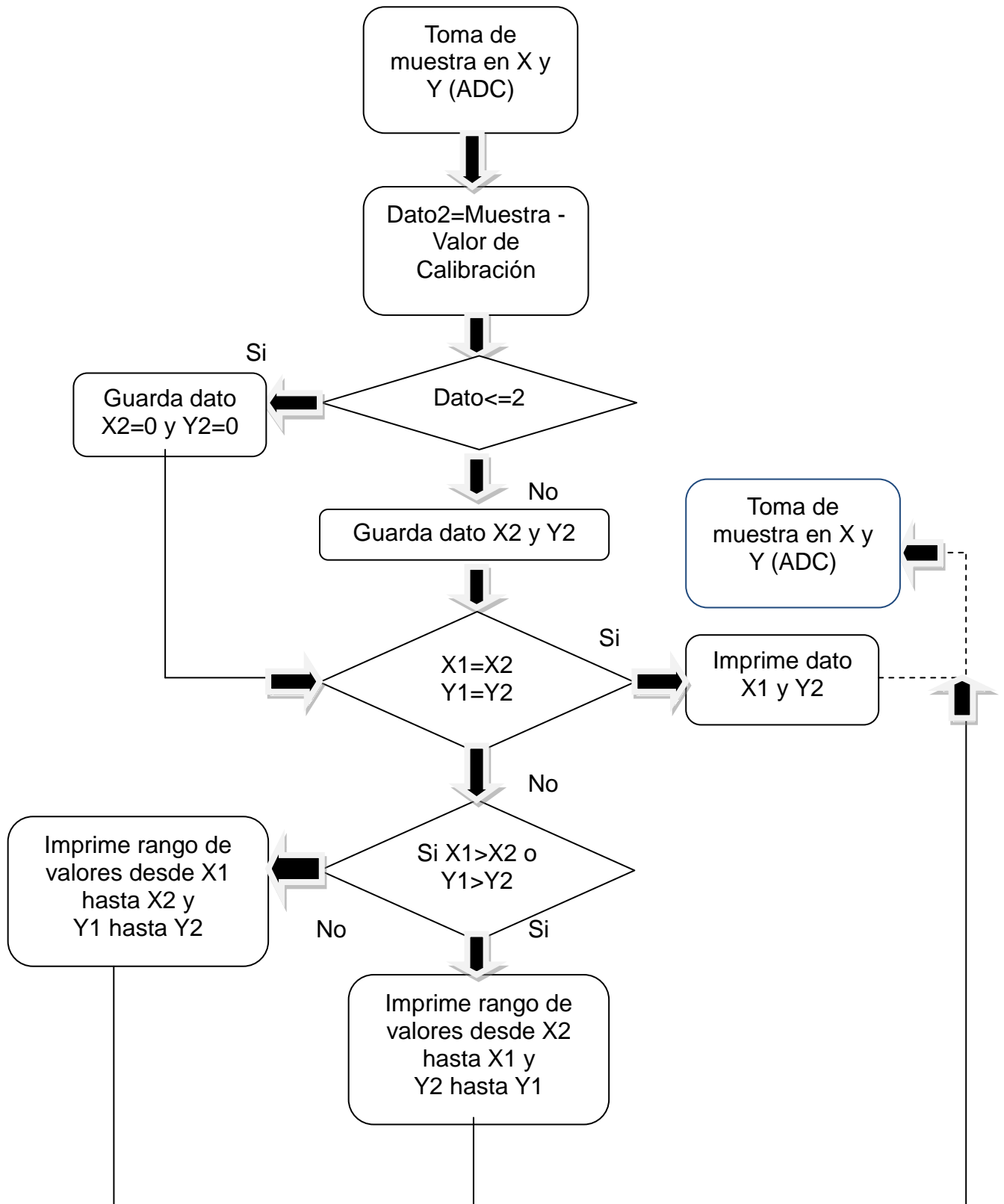


Tabla 11. Diagrama de Flujo del Sistema continuación...



(Romeo Rivadeneira, 2012)

Para visualizar al modelo correctamente sin tener movimientos bruscos y saltos largos del cuerpo humano, se debe imprimir todo el rango de datos cuando haya un movimiento rápido, por ejemplo, si hay un movimiento de la cabeza en donde varíe el eje X de un valor al azar (random) de X_{i20} a X_{i30} , los modelos deben recibir todo el rango de valores es decir X_{i20} , X_{i21} , X_{i22} , X_{i23} , X_{i24} , X_{i25} , X_{i26} , X_{i27} , X_{i28} , X_{i29} , X_{i30} . Esto es igual si se tiene valores descendentes o que cambien de más a menos, por ejemplo en la misma variación, se tendría; X_{i30} , X_{i29} , X_{i28} , X_{i27} , X_{i26} , X_{i25} , X_{i24} , X_{i23} , X_{i22} , X_{i21} , X_{i20} .

3.4 Diseño y construcción del circuito impreso.

El circuito está desarrollado en montaje superficial ya que permite reducir el peso y las dimensiones de la placa, tomando en cuenta que el circuito va a ir acoplado en el casco VR1280, por lo cual no debe ser tan pesado para no incomodar al usuario y a su vez también el montaje superficial es más preciso al momento de ensamblar. El diagrama del circuito completo se muestra en la Figura 33.

El circuito fue diseñado según las dimensiones de la caja tomando en cuenta que debe haber un espacio para las baterías, es por eso que el circuito tiene dos caras como se muestra a continuación en la Figuras 34 y Figura 35. El espacio asignado para las baterías se lo puede notar en la Figura 34, en la parte izquierda de la figura.

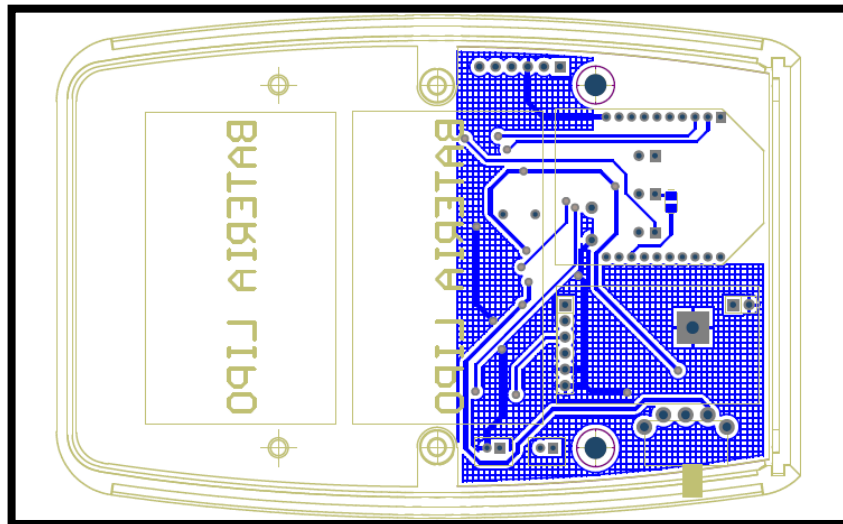


Figura 34.Vista inferior circuito impreso. (Romeo Rivadeneira, 2012)

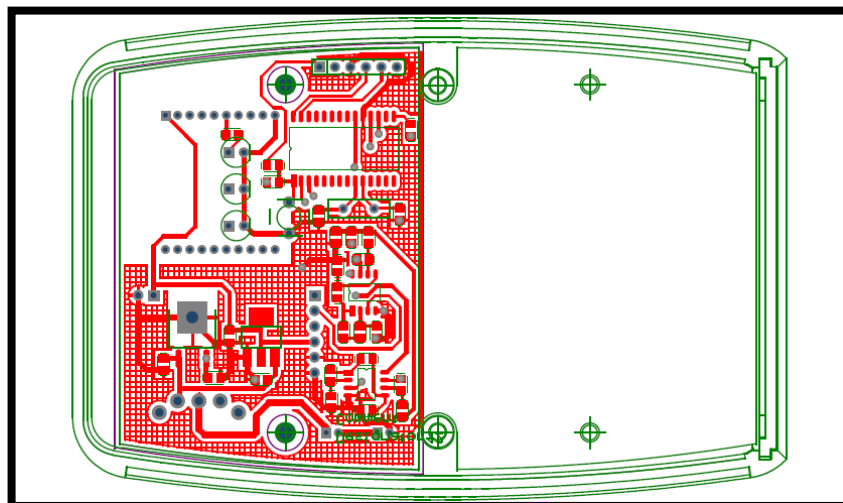


Figura 35.Vista superior circuito impreso. (Romeo Rivadeneira, 2012)

3.1.6.1 Lista de elementos usados en el sistema

A continuación en la Tabla 12 están los elementos usados en el sistema.

Tabla 12. Lista de elementos usados en el sistema.

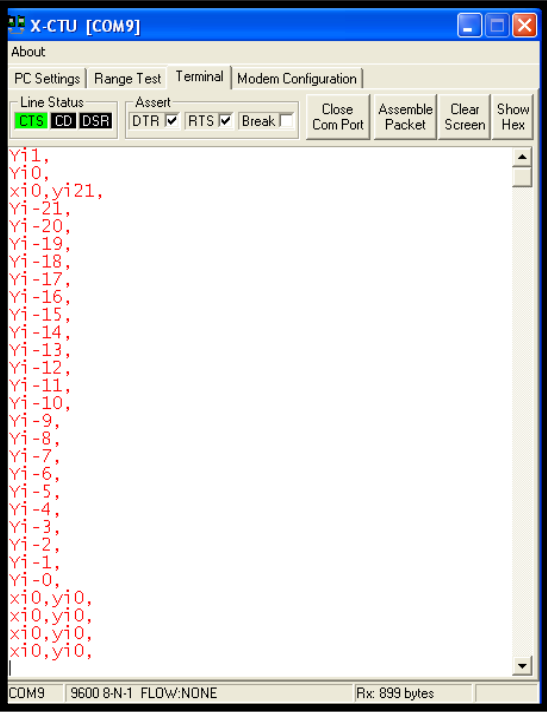
ELEMENTO	CANTIDAD
Baterías Lipo	2
Caja 1553B	1
Capacitor 0.33uF	2
Capacitor 0.1uF	2
Capacitor 22pF	2
Resistor 470Ω	3
Resistor 1KΩ	1
Resistor 10KΩ	13
Resistor 15KΩ	2
Resistor 3.3KΩ	1
Interruptor	1
Pulsador	1
Diodo Emisor Luz	3
Oscilador 4MHz	1
Regulador LM7805	1
Regulador LM1117t	1
Amplificador LM358	4
Xbee	2
Xbee Socket 10p	2
Xbee Xplorer	1
Caja Xbee Xplorer	1
Cable USB A/B	1
Acelerómetro MMA7260QT	1
PIC 16F870	1

(Romeo Rivadeneira, 2012)

3.5 Descripción del sistema

Este sistema de realidad virtual envía los datos tomados por el acelerómetro ubicado en el casco que va a sensor el movimiento de la cabeza en dos ejes (Eje X y Eje Y) cuando exista movimiento, mediante una comunicación de módulos Xbee con el computador. Los comandos son enviados en una línea

separados por una coma (,) o en diferentes líneas pero siempre con la coma (,) al final, ya que Java el lenguaje de programación donde está desarrollado el modelo 3D necesita de un identificador o un separador de los comandos como se visualiza en la captura de imagen de la pestaña terminal del software X-CTU en la Figura 36. Como se tienen dos ejes (X y Y) y como se comparte el mismo Xbee Explorer (receptor de datos) con el guante que envía también información para la navegación, es por eso que para el casco se enviarán los datos como X_i y Y_i . Para la diferenciación de los otros comandos del guante (X_j y Y_j) Los valores tanto para X como para Y van a variar de 0 a -90 como se muestra en la Figura 36, estos datos fueron tomados al azar para tener como referencia. Para mejorar el envío de los datos y para que sea real la navegación es necesario enviar todos los datos de cada movimiento. Para que el movimiento en cada eje sea independiente, cuando haya desplazamiento el sistema enviará la variación, es decir, si cambia el eje X, primero se debe imprimir esta diferencia para que el programa tome como prioridad al eje que esté cambiando. Estos datos son enviados a una velocidad de 9600 Baudios, sin paridad y sin flujo de datos.



```
X-CTU [COM9]
About
PC Settings | Range Test | Terminal | Modem Configuration
Line Status: CTS, CD, DSR
Assert: DTR, RTS, Break
Close Com Port | Assemble Packet | Clear Screen | Show Hex
Y1,
Y0,
X10, Y121,
Y1-21,
Y1-20,
Y1-19,
Y1-18,
Y1-17,
Y1-16,
Y1-15,
Y1-14,
Y1-13,
Y1-12,
Y1-11,
Y1-10,
Y1-9,
Y1-8,
Y1-7,
Y1-6,
Y1-5,
Y1-4,
Y1-3,
Y1-2,
Y1-1,
Y1-0,
X10, Y10,
X10, Y10,
X10, Y10,
X10, Y10,
COM9 9600 8-N-1 FLOW:NONE Rx: 893 bytes
```

Figura 36.Comandos enviados a los modelos. (Romeo Rivadeneira, 2012)

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se muestra la calibración y el desempeño del sistema, así como también la respuesta con los modelos tridimensionales según el movimiento de la cabeza, la interacción que tiene el usuario con la realidad virtual. El sistema está diseñado para trabajar con los modelos 3D programados en Java desarrollados en NetBeans, en entorno Centos sistema operativo Linux.

4.1 Especificación de requisitos para el sistema.

El sistema de navegación virtual, recrea el movimiento de la cabeza para dar una visión más realista de los modelos 3D. Para realizar esto se va a colocar el acelerómetro con su circuito de amplificación de señal, unidad de procesamiento y el módulo de comunicación Xbee, colocado en el casco VR1280 tomando el movimiento de la cabeza en dos ejes que serían X y Y. Es decir que el movimiento de la cabeza ya sea horizontal (X) o vertical (Y) será representado en las imágenes generadas por computadora como movimientos de lo que se está visualizando. Definiendo el concepto de este fenómeno, se plantea el siguiente comportamiento del sistema:

- Tomando como referencia cuando la posición del usuario y del casco HMD (donde se encuentra el sensor) estén en posición inicial y adecuada para empezar la navegación, se tiene el modelo proyectado en la imagen como se muestra en la Figura 37.

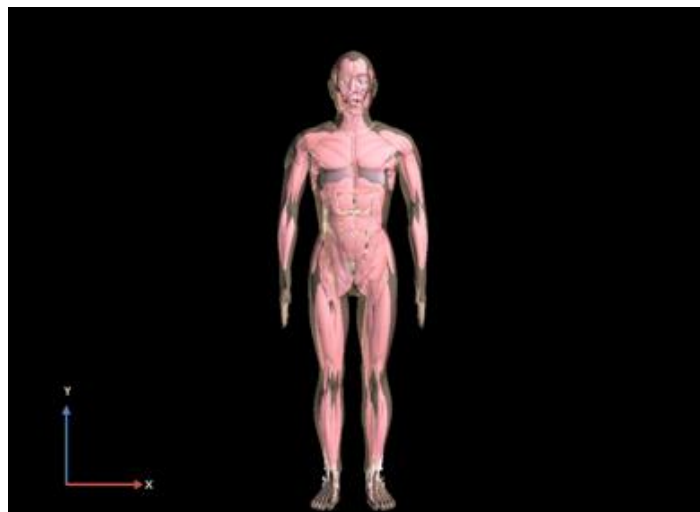


Figura 37. Cuerpo Humano posición inicial. (Romeo Rivadeneira, 2012)

- Si la cabeza se mueve en sentido horizontal como se simula en la Figura 38, entonces se va a tener un movimiento en el eje X del entorno 3D. El modelo del cuerpo humano se desplaza hacia la derecha cuando la cabeza gira a la izquierda como en la Figura 39 o se desplaza hacia la izquierda cuando la cabeza gira a la derecha como en la Figura 40.

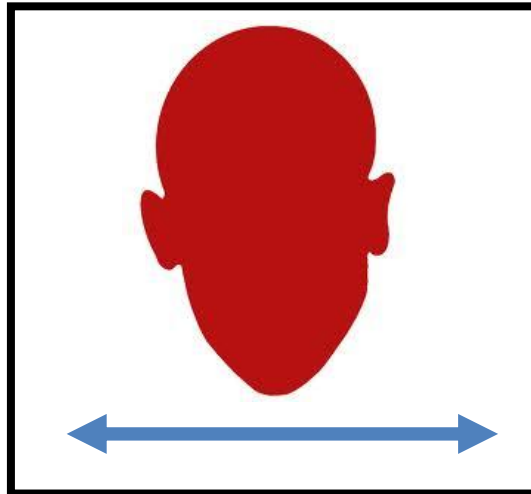


Figura 38. Movimiento Horizontal de la cabeza. (Romeo Rivadeneira, 2012)

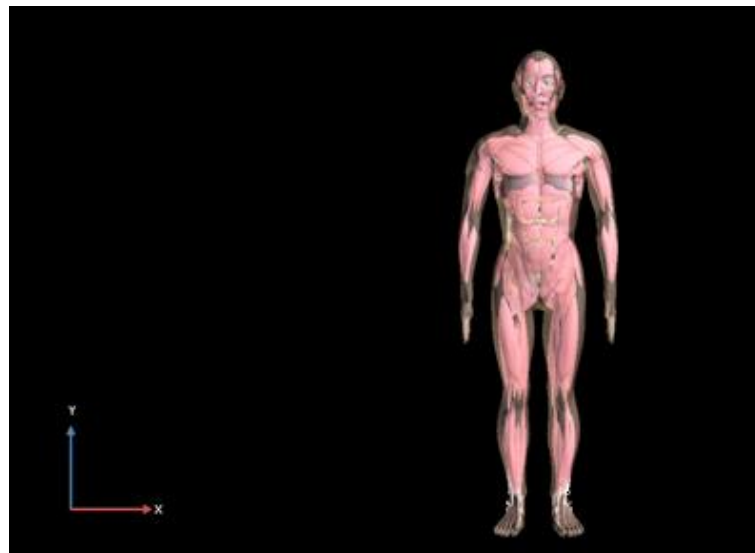


Figura 39. Movimiento de la cabeza hacia la izquierda. (Romeo Rivadeneira, 2012)

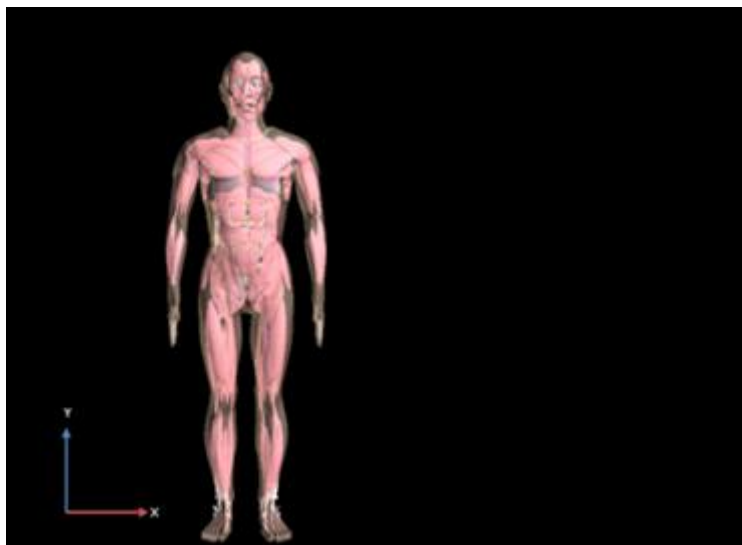


Figura 40. Movimiento de la cabeza hacia la derecha. (Romeo Rivadeneira, 2012)

- Si la cabeza se mueve en sentido vertical simulado como en la Figura 41, entonces se moverá en el eje Y del entorno 3D. El modelo del cuerpo humano se desplaza hacia la arriba cuando la cabeza va hacia abajo como en la Figura 42 o se desplaza hacia la abajo cuando la cabeza va hacia arriba como en la Figura 43.

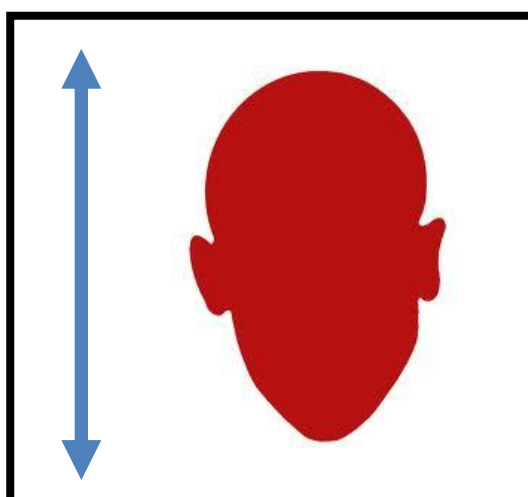


Figura 41. Movimiento vertical de la cabeza. (Romeo Rivadeneira, 2012)

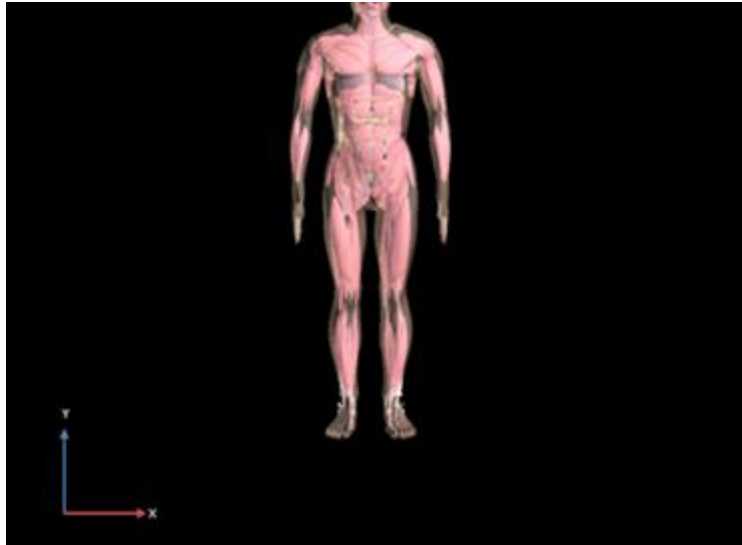


Figura 42. Movimiento de la cabeza hacia abajo. (Romeo Rivadeneira, 2012)



Figura 43. Movimiento de la cabeza hacia arriba. (Romeo Rivadeneira, 2012)

Este sistema debe desplazar la imagen 3D acorde a los movimientos de la cabeza (casco) siendo estos movimientos creados por las señales de los ejes del acelerómetro. Este sistema debe interactuar con los modelos tridimensionales desarrollados en lenguaje java mediante comunicación serial.

Se marca un punto inicial en el cual los dos ejes son igual a "0", estos datos van a variar en 180 posiciones, es decir, si se tiene el punto medio 0

entonces vamos a tener un desplazamiento en positivo y en negativo. Esto se divide en 90 para cada lado hacia donde se mueve cada eje ya sea hacia el lado positivo o negativo con el objetivo de que el modelo 3D se mueva en cuatro direcciones con una misma distancia, es decir, los puntos máximos o extremos a los cuales el modelo llegara son X_{i90} , X_{i-90} , Y_{i90} y Y_{i-90} . Como se muestra en la Figura 36, el modelo esta seteado en X_{i0} y Y_{i0} y se encuentra en la mitad de la pantalla por eso se envían datos positivos y negativos, para que el desplazamiento del modelo sea igual en los positivos y en los negativos, es así que los datos oscilaran entre -90 hasta 90. Estos datos deben ser impresos uno por uno para que el modelo tenga un movimiento uniforme y no se visualice saltos o movimientos bruscos, es decir si el modelo se traslada desde X_{i0} a X_{i10} se deben imprimir todos los datos desde X_{i0} a X_{i10} sin excepción. Este sistema como va a ser implementado en un casco, es indispensable que la información sea enviada inalámbricamente con el objetivo de que sea fácil en su manipulación y en su operación, es por eso que se usa módulos Xbee para este proyecto. El uso de módulos Xbee facilitara la interacción entre el computador y el circuito electrónico debido a su fácil implementación y operación.

Para el procesamiento de las señales se está usando un Microcontrolador PIC 16F870 que posee entradas analógicas para la lectura de los ejes y comunicación serial para la conexión el módulo Xbee el cual envía la información al receptor que está conectado al computador (Xbee Xplorer).

4.2 Calibración del sistema

Para la calibración del sistema se debe colocar el casco el usuario y encender el sistema, luego esperar cinco "5" segundos sin realizar ningún movimiento para que el acelerómetro tome como referencia el punto en el que está el acelerómetro leyendo esos datos y fijando a cero "0" los dos ejes, para ello es recomendable ponerse en una posición en la cual el usuario tenga mejor comodidad al trabajar, ésta debe ser una postura recta para tomar como punto inicial en la cual los modelos 3D se van a visualizar Figura 44. En caso de calibrar en una posición con una postura difícil al

momento de la navegación virtual, esto dificultara la navegación y por ende será incorrecta la navegación como se puede notar en la Figura 45 la posición del casco.



Figura 44. Posición correcta para ajustar los ejes X y Y en 0. (Romeo Rivadeneira, 2012)



Figura 45. Posición incorrecta para ajustar los ejes X y Y en 0. (Romeo Rivadeneira, 2012)

Durante estos cinco “5” segundos el LED indicador del Microcontrolador va a encenderse y apagarse dos veces y al final se queda encendido por un tiempo más largo indicando que la calibración ha terminado hasta entrar al

modo de trabajo y de intermitencia constante del LED de 100milisegundos, este es el indicador de que el sistema está enviando los datos de los dos ejes al computador.

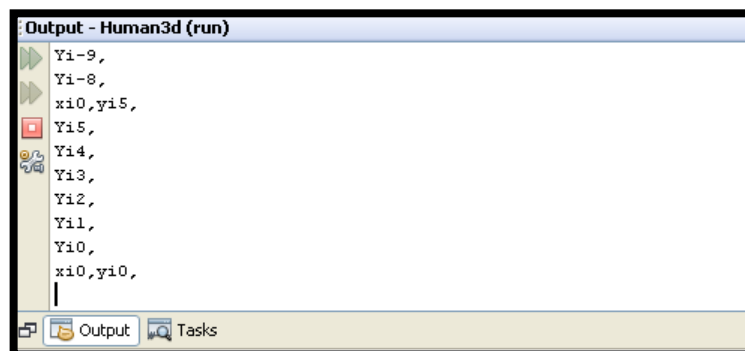
4.3 Prueba de envío y recepción de datos

Para verificar que los modelos 3D de java están recibiendo los comandos enviados se debe realizar una prueba, remitiendo los datos e imprimiéndolos en la salida del NetBeans, Esto se lo hace con la siguiente función (Figura 45) dentro del programa del cuerpo Humano desarrollado en lenguaje Java en entorno NetBeans.

```
479 private void sendData(String data) {  
480     try {  
481         out.write(data.getBytes());  
482     } catch (IOException e) {  
483         System.out.println(e);  
484     }  
}
```

Figura 46.Función para imprimir los datos recibidos en Java. (Romeo Rivadeneira, 2012)

Una vez aplicada la función se procede a imprimir datos al azar para comprobar que se está recibiendo información del sistema y que existe variación de los ejes. La Figura 46 muestra un ejemplo de datos enviados.



```
Output - Human3d (run)  
Yi-9,  
Yi-8,  
xi0,yi5,  
Yi5,  
Yi4,  
Yi3,  
Yi2,  
Yi1,  
Yi0,  
xi0,yi0,
```

Figura 47.Impresión de los datos enviados por el sistema. (Romeo Rivadeneira, 2012)

4.4 Respuestas del sistema

Para saber si el modelo está haciendo alguna acción o de alguna manera se

ha desplazado desde su punto inicial, se imprime junto con los datos recibidos dos indicadores (uno por eje) que muestren si ha existido algún movimiento y cuanto fue este movimiento con respecto al punto inicial.

Estos indicadores son Xaction y Yaction, seguidos del valor del movimiento del modelo.

En caso de que el sistema no realice ninguna acción o no reciba ningún comando de acción que permita dar movimiento al cuerpo humano, el programa NetBeans no imprime los valores ni de Xi ni de Yi, pero se imprime en la salida dos indicadores con el valor del movimiento de cada eje que son Xaction: 0.0 y Yaction: 0.0 como se muestra en la Figura 48, como el programa en Java no recibe los valores de Xi y Yi entonces no existe ninguna interacción entre los modelos y el sistema es por eso que los indicadores están en "0".

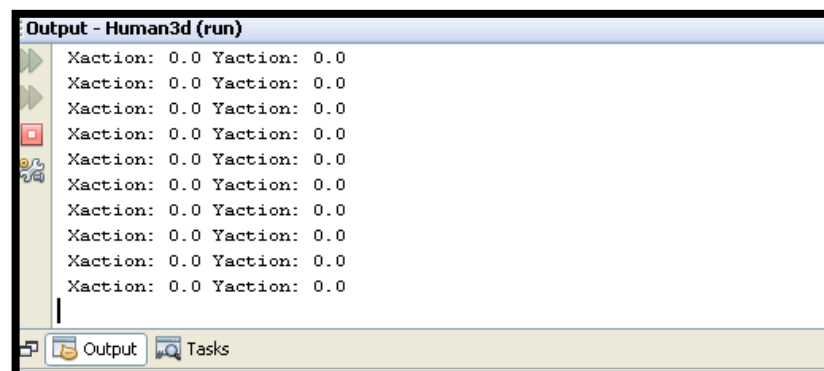
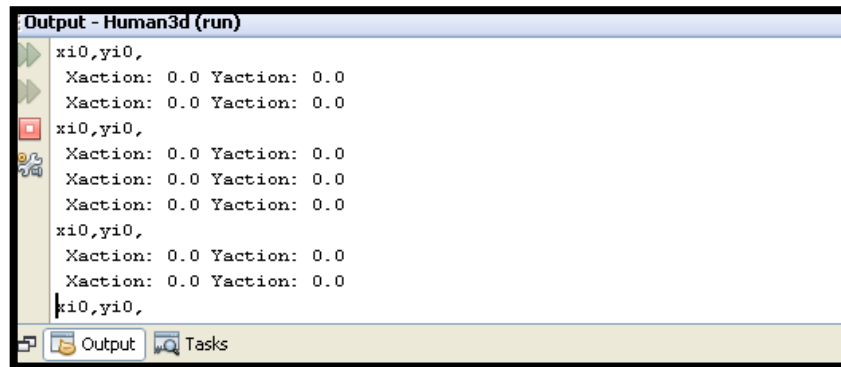


Figura 48. Acción realizada en los modelos 3D. (Romeo Rivadeneira, 2012)

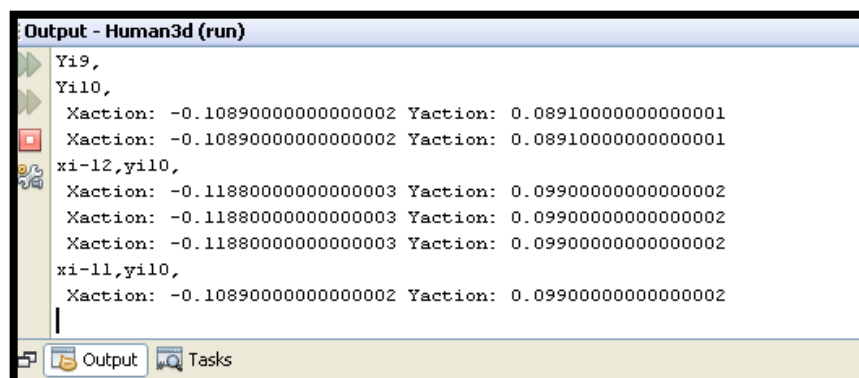
Para comprobar que existe movimiento en el sistema, que se está recibiendo datos y que hay variación de los ejes se debe imprimir los indicadores de cada eje, en conjunto con los datos de los ejes que van a dar el movimiento al modelo como se muestra en la Figura 49. Esta figura muestra cuando el sistema no está en movimiento pero los datos son leídos e impresos, los valores de los ejes están en Xi0 y Yi0, es decir el modelo está en su punto inicial. En caso de que el sistema envíe datos de los ejes al programa

NetBeans, pero con una variación como se muestra en la Figura 50 es decir, el modelo del cuerpo humano (existe interacción) tiene movimiento y va a cambiar de su posición inicial.



```
Output - Human3d (run)
xi0,yi0,
Xaction: 0.0 Yaction: 0.0
xi0,yi0,
Xaction: 0.0 Yaction: 0.0
xi0,yi0,
Xaction: 0.0 Yaction: 0.0
xi0,yi0,
Xaction: 0.0 Yaction: 0.0
xi0,yi0,
Xaction: 0.0 Yaction: 0.0
xi0,yi0,
Xaction: 0.0 Yaction: 0.0
xi0,yi0,
Xaction: 0.0 Yaction: 0.0
```

Figura 49. Acción realizada en los modelos 3D sin movimiento-estado inicial. (Romeo Rivadeneira, 2012)



```
Output - Human3d (run)
Yi9,
Yi10,
Xaction: -0.108900000000000002 Yaction: 0.089100000000000001
Xaction: -0.108900000000000002 Yaction: 0.089100000000000001
xi-l2,yi10,
Xaction: -0.118800000000000003 Yaction: 0.099000000000000002
Xaction: -0.118800000000000003 Yaction: 0.099000000000000002
Xaction: -0.118800000000000003 Yaction: 0.099000000000000002
xi-l1,yi10,
Xaction: -0.108900000000000002 Yaction: 0.099000000000000002
```

Figura 50. Acción realizada en los modelos 3D con movimiento. (Romeo Rivadeneira, 2012)

Hay que tomar en cuenta que el modelo puede no tener movimiento, sin embargo sus indicadores no necesariamente deberán estar en 0. Es decir que el modelo esté estático en otra posición diferente a la inicial.

4.5 Pruebas al sistema en modo de trabajo

Una vez comprobada que la comunicación es correcta y que los datos se están enviando correctamente se procede a visualizar el movimiento de los modelos con el casco. Tomando como referencia el punto cero calibrado

como se muestra en la Figura 51, se va a realizar todos los movimientos posibles y visualizando el movimiento de los modelos.



Figura 51. Posición de calibración para el modelo ejes X y Y en "0". (Romeo Rivadeneira, 2012)

En la caja de control del casco VR1280 existe un puerto de salida al cual está conectado un monitor (Figura 50), que sirve para proyectar lo que el usuario visualiza en el casco, esto también se lo va a usar para comprobar el movimiento con el modelo 3D. El movimiento de la cabeza en sentido horizontal se puede notar como el modelo realiza un desplazamiento en el Eje X mostrando la variación y movimiento en la Figura 52 y Figura 53 dando una respuesta inmediata mediante a los comandos que se están enviando.



Figura 52. Variación del Eje X de 0 a 90 generado por el movimiento de la cabeza. (Romeo Rivadeneira, 2012)



Figura 53.Variación del Eje X de 0 a -90 generado por el movimiento de la cabeza. (Romeo Rivadeneira, 2012)

Movimiento de la cabeza en sentido vertical se puede notar como el modelo realiza un movimiento en el Eje Y mostrando la variación y movimiento en la Figura 54 y Figura 55 dando una respuesta inmediata mediante los comandos que se están enviando.

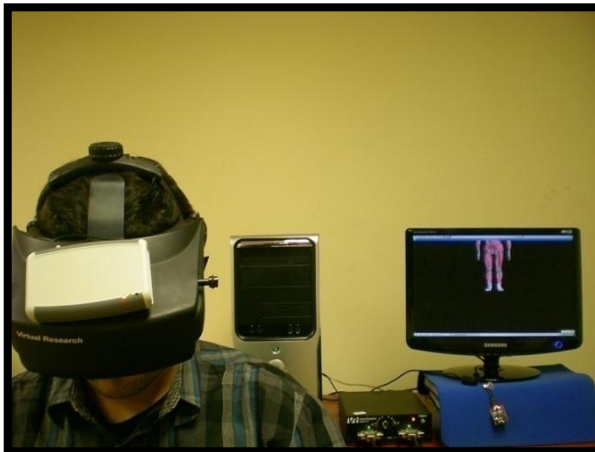


Figura 54.Variación del Eje Y de 0 a 90 generado por el movimiento de la cabeza. (Romeo Rivadeneira, 2012)



Figura 55.Variación del Eje Y de 0 a -90 generado por el movimiento de la cabeza. (Romeo Rivadeneira, 2012)

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Los modelos 3D están desarrollados en entorno NetBeans siendo una plataforma de software libre que usa lenguaje Java capaz de correr en cualquier sistema operativo.
- Para el envío de los datos de forma inalámbrica se lo realiza mediante una red ZigBee, ya que los módulos Xbee mostraron durante su utilización y aplicación ser fáciles de usar y óptimos para este tipo de aplicaciones.
- Este sistema por su tamaño y peso permite ocupar poco espacio y ser más ergonómico para el usuario.
- La práctica y el constante uso del sistema mejora la navegación, ya que como todo sistema de realidad virtual depende del usuario que se encuentra manipulando dentro del entorno tridimensional
- El sistema no presenta complicaciones de interferencia de señales y puede trabajar correctamente durante horas, ya que tiene baja exigencia de recursos.

5.2 Recomendaciones

- Para el correcto funcionamiento del sistema, es necesario tener un procesador rápido con una tarjeta aceleradora de gráficos externa en el computador.
- Para dar más realidad al sistema se podría utilizar una IMU que es una Unidad Inercial de Medida, que contiene un acelerómetro y un giroscopio. Este dispositivo mide velocidad, orientación y fuerzas gravitacionales, posee una unidad de procesamiento interna que ayuda a enviar la información. O simplemente el uso de otro acelerómetro que permita medir otro movimiento.
- Existen hoy en día en el mercado cascos con mejor imagen y más ergonómicos, sin embargo se necesita más dinero para adquirirlos. Este tipo de cascos ayudan a que el usuario este más conforme y se sienta cómodo al momento de usar el sistema, ya que el casco VR1280 es un poco pesado e incómodo luego de que el usuario lo haya usado durante un tiempo largo de trabajo, esto le da una sensación de cansancio y siente la necesidad de retirar el casco de su cabeza.
- Tomar medidas del voltaje de las baterías cada cierto tiempo de trabajo y cargarlas para tener un correcto funcionamiento del sistema.
- Es importante realizar la calibración correcta del sistema, para que éste trabaje en sus óptimas condiciones.
- Siendo esta una aplicación Web que trabaja directamente con un servidor, éste debe tener una capacidad de procesamiento óptima para que la navegación tenga más realidad.
- Los módulos Xbee deben tener punto de vista entre si y sin ningún tipo de cubrimiento, sin embargo esto es recomendable en

aplicaciones de larga distancia, debido a que el casco es alámbrico la distancia entre los módulos no pasa de los cuatro metros (4m), por lo cual la red ZigBee no tiene pérdidas de datos.

- Este sistema de realidad virtual no cuenta con sistema de audio el cual puede dar mejor navegación e interacción con los modelos. En el casco VR1280 vienen incorporados audífonos.

GLOSARIO

MESH	Topología de red en la que cada nodo está conectado a todos los nodos.
FHSS	Frequency Hooping- Espectro ensanchado por salto de frecuencia.
HMD	Head Mounted Display.
ASCII	American Standard Code for Information Interchange.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
MAC	Media Access Control- identificador único de 48 bits que corresponde de forma única a una tarjeta o dispositivo de red.
PAN ID	Previous Access Network Identifier-Identificador de red.
BIT	Binarydigit-Dígito del sistema de numeración binario.
BYTE	Unidad digital de informacion-8 Bits.
ISM	Industrial, Scientific& Medical-bandas reservadas para uso no comercial de radiofrecuencia.
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter
ACK	Acknowledgement-Mensaje que se envía para confirmar que un mensaje ha llegado.
AT	Comandos AT son instrucciones codificadas que conforman un lenguaje de comunicación entre el usuario y un Terminal Modem.
PIC	Peripheral Interface Controller-Control de Interfaz Periférico
LED	Light EmittingDiode-Diodo Emisor de Luz
RAM	Random Access Memory-Memoria de acceso aleatorio.
EPROM	ErasableProgrammableRead-OnlyMemory-Memoria de lectura programable borrrable.

API	Application Programming Interface-Interfaz de programación de aplicaciones.
CPU	Central Processing Unit-Unidad Central de Procesamiento.
RISC	Reduced Instruction Set Computer.
ASIC	Application-specific integrated circuit.
SXGA	Super Extended Graphics Array 1280x1024.
IMU	Inertial Measurement Unit- Unidad Inercial de medida
SMD	Surface-Mount Technology- Tecnología de montaje superficial.
HMD	Head Mounted Display- pantalla montada en la cabeza
BUFFER	Ubicación de memoria reservada para el almacenamiento temporal de información digital, hasta que se espera ser procesada la información.
SM	Configuración del módulo de Sleep Mode, 0 por default en el software X-CTU
ST	Time before Sleep- ST solo se activa solo cuando SM=4,5
AT	Comandos Hayes es un lenguaje de comandos desarrollado por la compañía "Hayes Communication", comandos para configurar módems.
FRAME	Estructura de datos que contiene unas descripciones generales o características específicas de datos.
MEMS	Microelectromechanical Systems hace referencia a la tecnología electromecánica y micrométrica, conocido como Micro-maquinas.
ASIC	Application-Specific Integrated Circuit -Circuito integrado para aplicaciones específicas. Es un circuito para un uso en particular hecho a la medida y para la aplicación requerida.

- OBLEA** Es una fina plancha de material semiconductor sobre la que se construye microcircuitos. Son muy importantes en la fabricación de dispositivos semiconductores tales como los circuitos integrados.
- G-CELL** Células de detección capacitiva.
- SXGA** Super Extended GraphicsArray, resolución 1280x1024 60Hz, 1.3 millones de píxeles.

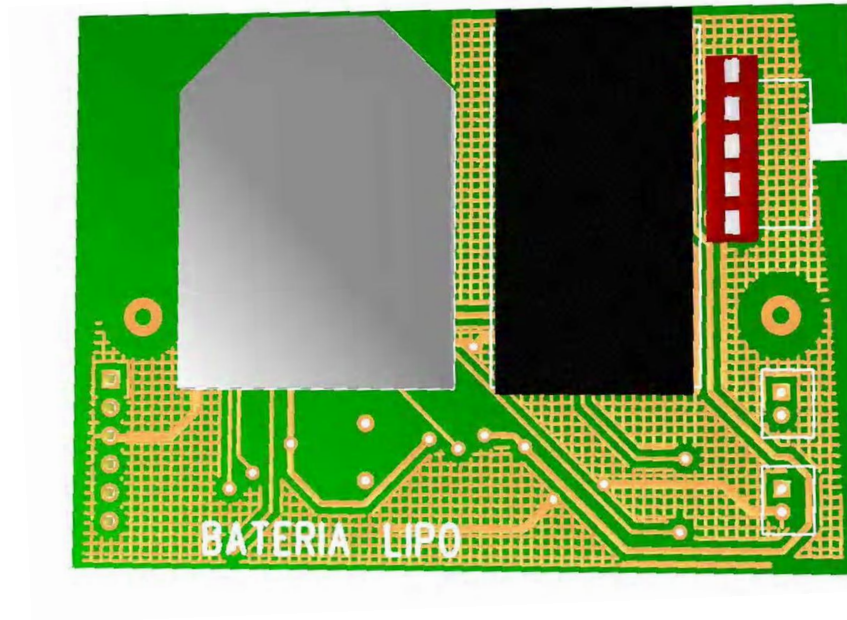
BIBLIOGRAFIA

- Angulo Usategui, J. M. (2003). *Microcontroladores PIC Diseño práctico de aplicaciones*. España: Mc Graw Hill.
- Inc., M. T. (2003). PIC16F87XA Datasheet.
- Oyace, A. (2010). *Guia del Usuario Xbee Series 1*. Santiago de Chile: Ingeniería MCI Ltda.
- Reyes, C. (2008). *Microcontroladores PIC- Programacion en BASIC*. Quito: RISPERGRAF.
- Inc., M. T. (2011). *Microchip Technology Inc*. Recuperado el 15 de Enero de 2012, de <http://www.microchip.com>
- Inc., M. T. (2008). *Miniature Single-Cell, Fully Integrated Li-Ion*. Recuperado el 2012
- Wikipedia. (16 de Septiembre de 2011). *Wikipedia*. Recuperado el 8 de Noviembre de 2011, de http://es.wikipedia.org/wiki/comunicacion_inalambrica.
- Virtual Research Systems, I. (Agosto de 2005). *Virtual Research Systems*. Recuperado el 12 de Agosto de 2012, de <http://www.virtualresearch.com>
- Corporation, F. S. (2002). *Fairchild Semiconductor*. Recuperado el 2012, de LM358, Dual Operational Amplifier: www.fairchildsemi.com
- Freescale Semiconductor, I. (2005). *Freescale Semiconductor*. Recuperado el 2012, de $\pm 1.5g - 6g$ Three Axis Low-g, Micromachined Accelerometer, MMA7260QT.
- Ltd., H. M. (2012). *Hammond Manufacturing*. Recuperado el 2012, de <http://www.hamfmg.com/literature>
- Virtual Research Systems, I. (Agosto de 2005). *Virtual Research Systems*. Recuperado el 12 de Agosto de 2012, de <http://www.virtualresearch.com>
- MaxStream, I. (2007). *MaxStream*. Obtenido de XBee™/XBee-PRO™ OEM RF Modules: www.maxstream.net

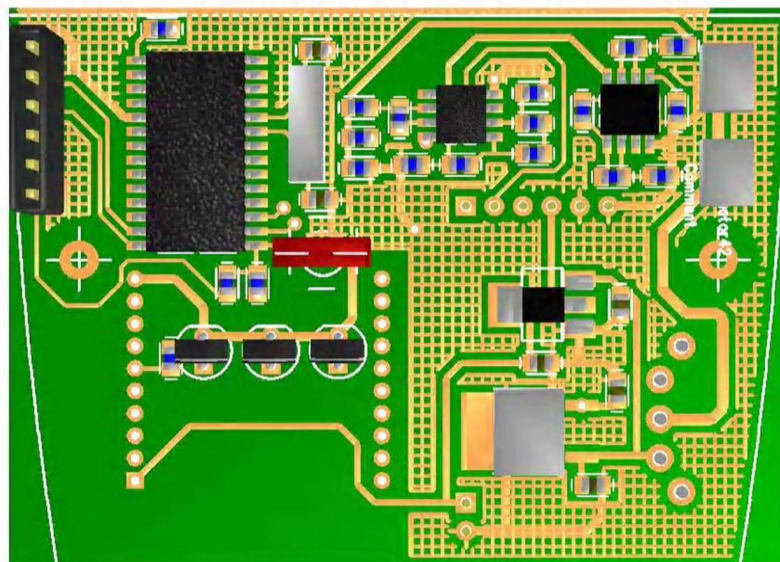
- Angulo Usategui, JoséMaría; S. Romero Yesa, I. Angulo Martínez (2006). *Microcontroladores PIC. Diseñopráctico de aplicaciones*. (2a edición). McGraw-Hill.
- Coughlin, R., & Driscoll, F. (1993). *Amplificadores operacionales y circuitos integrales lineales*. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A.
- Steven, B., & Daniel, P. (2006). *Microcontrollers Fundamentals for Engineers and Scientists*. Morgan & Claypool Publishers.

ANEXOS

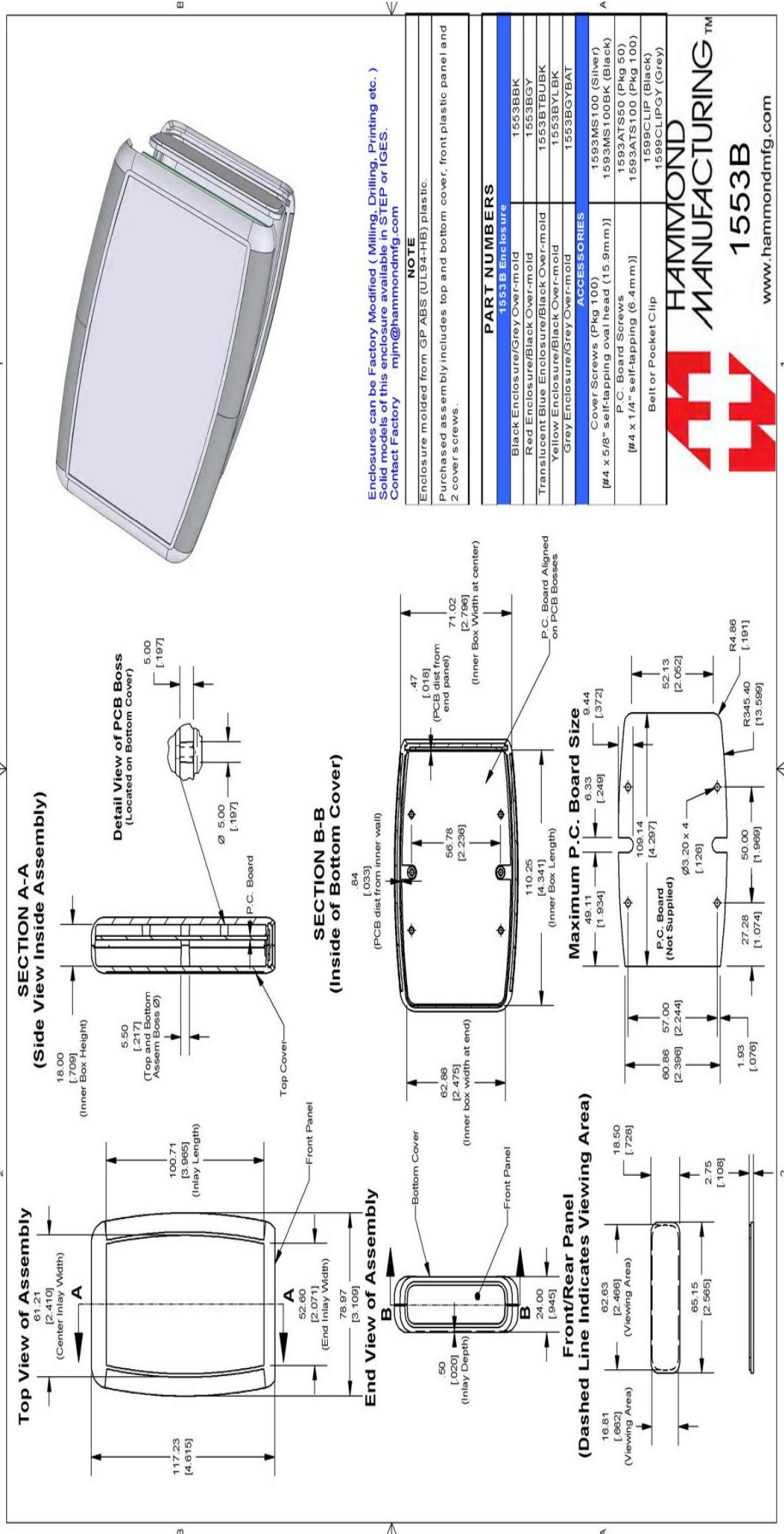
Anexo 1. Figura 3D parte superior de la Placa hechos en Protel99



Anexo 2. Figura 3D parte inferior de la Placa hechos en Protel99.



Anexo 3. Dimensiones de la Caja 1553B.



Anexo 4. Ajustes mecánicos del casco VR1280.

Mechanical Adjustments

Donning the VR1280

There are several things to consider when first donning the VR1280.

1. The top ratchet should be adjusted to bring the sides of the headband down to the base of the ear.
2. The rear ratchet should sit below the base of the skull.
3. The cables should fall down the user's back (not in front). The cable weight provides important counterbalancing for the display weight.
4. It is easier to don the VR1280 with the earphones in an up position--out of the way. After the other adjustments are made, it is easy to bring the earphones down. While pulling them down, pull them out away from the head to avoid bending your ear.
5. IPD and fore/aft motion adjustments are performed together to optimize the view.

Interpupillary Distance (IPD)

Interpupillary distance is the distance between the right and left pupils. Adjustments are made via the dual function knobs located at the front of the VR1280 HMD shell. Twist knobs until both images are evenly visible. Close one eye at a time to confirm the image is centered in front of each eye. Incorrect positioning of the IPD adjustment may lead to eyestrain. Range = 52-74mm

Fore/Aft motion

Fore/Aft motion allows the distance between the eyes and the displays (eye relief) to be adjusted, thus allowing the VR1280 to be worn with glasses. This motion is controlled with the IPD knobs. It is best to don the HMD with the displays in the fully forward position. Grasp both IPD knobs together and slide them toward the front of the HMD. After the HMD is on the head, pull IPD toward the face until a suitable distance is set.

Ratchet Knobs

The ratchet knobs adjust the size of the HMD making it possible to secure the HMD snugly to your head. To open turn the ratchet knobs counter clockwise and to close turn ratchet knobs clockwise. Tension of ratchet knobs is adjustable by turning the Phillips screw at center of knob.

Headphones

Headphones are designed to pivot on the sides of the headband. When donning the VR1280 unit, rotate the headphones above the headband. After video is adjusted, pull the headphones down. This makes fitting faster and easier.

Cable Positioning

VR1280 is designed to be lightweight and well balanced. The cable bundle provides a significant counterbalancing effect without adding weight to the product. The cable bundle should drop directly down the user's back. If the cable is draped over the user's shoulder, VR1280 will be front heavy. The position sensor cable should follow the cable bundle to add additional counterbalance weight and to minimize the tangle of separate cables.

Some Technical Information

Headphone removal

If you are not using your system with audio, you can remove your headphones to make the V8 simpler to use. The earphone will snap off the end of the detented rod that it slides on. First remove the capture screw at the bottom of the rod, unplug the signal connection at the earphone, and pull down. Tuck the cable into the end of the padded leather on the headband to keep it from dangling and flip the arm upward.

Optics and Fogging

VR1280 is supplied with a no-fog cloth to reduce fogging of lenses. To use it, breathe on the lens to create a fog, then gently wipe off with no-fog cloth. Keep no-fog cloth in closed pouch so it doesn't dry out. Reapply if fog reappears.

VR1280 optics are custom diamond turned acrylic and are prone to scratching. Rubber bumpers around lenses provide protection, however, if you wear glasses, it is possible to scratch the lenses or your glasses if they come in contact. Try to avoid this contact when donning the VR1280.

Anexo 5. Características operativas del acelerómetro MMA7260QT

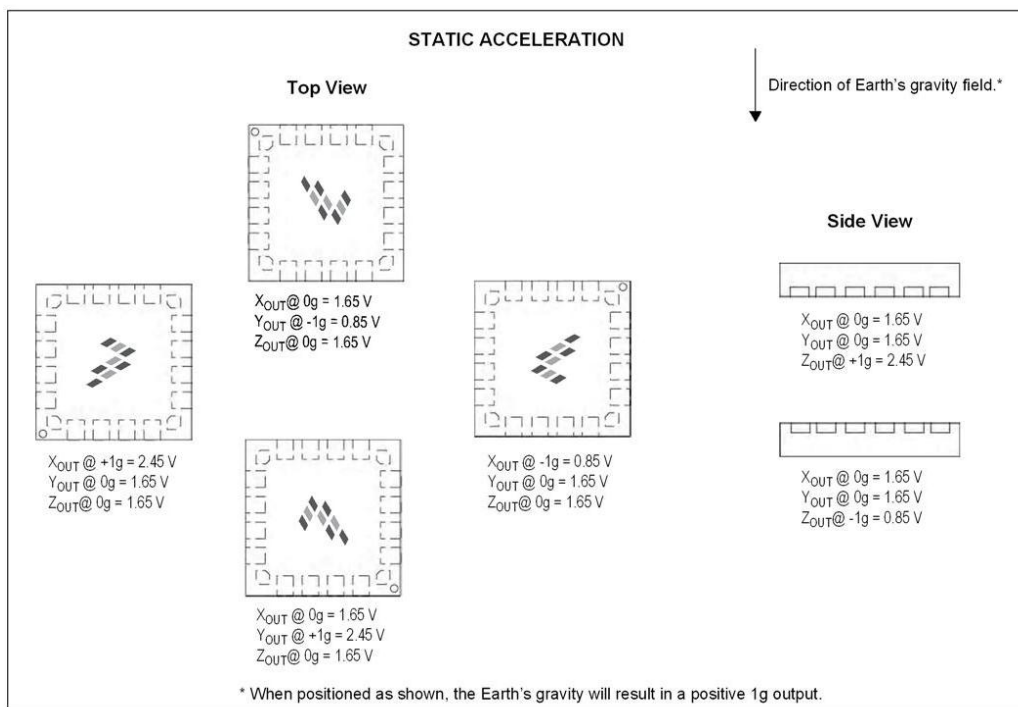
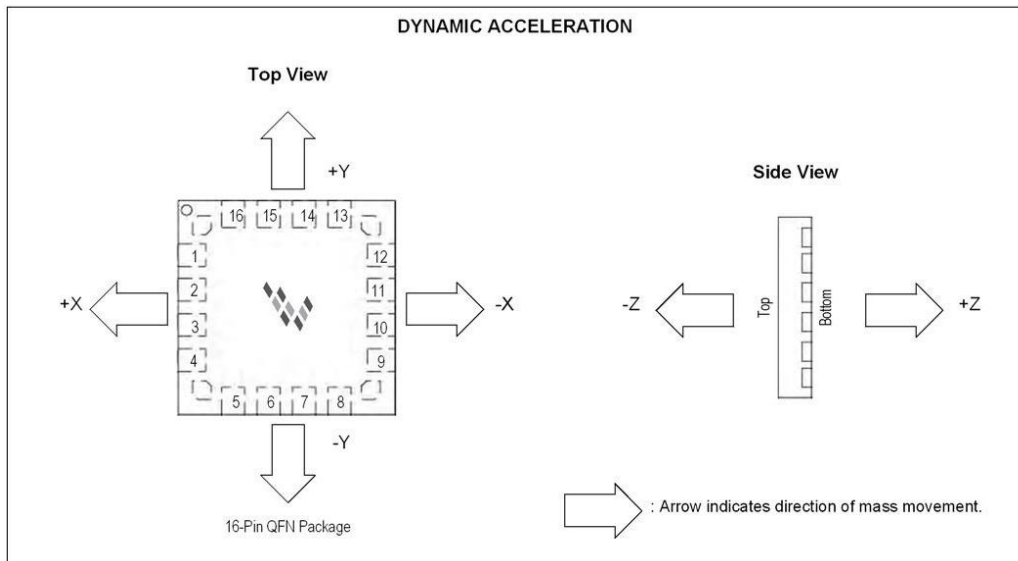
Table 2. Operating Characteristics

Unless otherwise noted: $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq 105^{\circ}\text{C}$, $2.2\text{ V} \leq V_{\text{DD}} \leq 3.6\text{ V}$, Acceleration = 0g, Loaded output⁽¹⁾

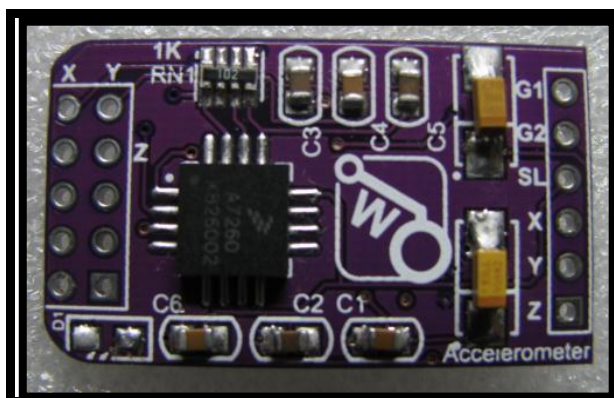
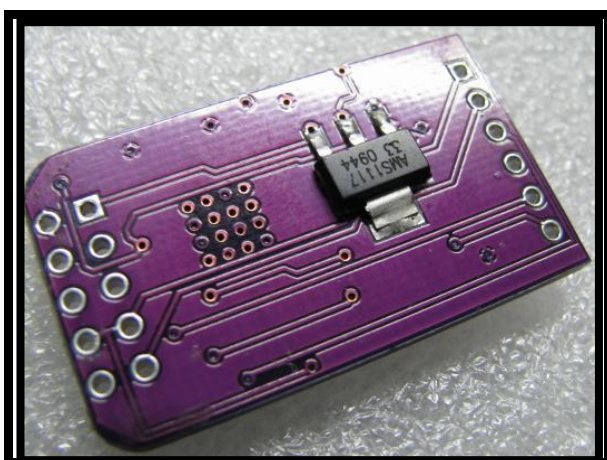
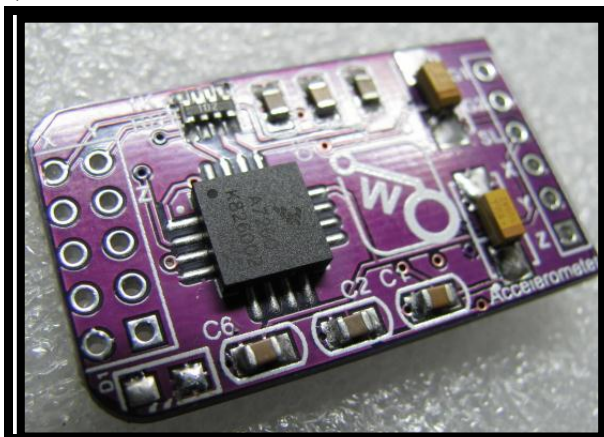
Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Operating Range ⁽²⁾					
Supply Voltage ⁽³⁾	V_{DD}	2.2	3.3	3.6	V
Supply Current	I_{DD}	—	500	800	μA
Supply Current at Sleep Mode ⁽⁴⁾	I_{DD}	—	3.0	10	μA
Operating Temperature Range	T_A	-40	—	+105	$^{\circ}\text{C}$
Acceleration Range, X-Axis, Y-Axis, Z-Axis					
g-Select1 & 2: 00	9FS	—	± 1.5	—	g
g-Select1 & 2: 10	9FS	—	± 2.0	—	g
g-Select1 & 2: 01	9FS	—	± 4.0	—	g
g-Select1 & 2: 11	9FS	—	± 6.0	—	g
Output Signal					
Zero-g ($T_A = 25^{\circ}\text{C}$, $V_{\text{DD}} = 3.3\text{ V}$) ⁽⁵⁾	V_{OFF, T_A}	1.485	1.65	1.815	V
Zero-g ⁽⁴⁾					$\text{mg}/^{\circ}\text{C}$
X-axis		$\pm 2.6^{(6)}$	± 0.6	$\pm 3.8^{(7)}$	
Y-axis		$\pm 5.8^{(6)}$	± 5.8	$\pm 5.9^{(7)}$	
Z-axis		$\pm 1.0^{(6)}$	± 0.8	$\pm 0.8^{(7)}$	
Sensitivity ($T_A = 25^{\circ}\text{C}$, $V_{\text{DD}} = 3.3\text{ V}$)					
1.5g	$S_{1.5g}$	740	800	860	mV/g
2g	S_{2g}	555	600	645	mV/g
4g	S_{4g}	277.5	300	322.5	mV/g
6g	S_{6g}	185	200	215	mV/g
Sensitivity ⁽⁴⁾	S_{T_A}				$\%/^{\circ}\text{C}$
X-axis		$\pm 0.02^{(6)}$	± 0.02	$\pm 0.02^{(7)}$	
Y-axis		$\pm 0.01^{(6)}$	± 0.01	$\pm 0.01^{(7)}$	
Z-axis		$\pm 0.01^{(6)}$	± 0.00	$\pm 0.01^{(7)}$	
Bandwidth Response					
XY	f_{-3dB}	—	350	—	Hz
Z	f_{-3dB}	—	150	—	Hz
Noise					
RMS (0.1 Hz – 1 kHz) ⁽⁴⁾	n_{RMS}	—	4.7	—	mVrms
Power Spectral Density RMS (0.1 Hz – 1 kHz) ⁽⁴⁾	n_{PSD}	—	350	—	$\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$
Control Timing					
Power-Up Response Time ⁽⁶⁾	t_{RESPONSE}	—	1.0	2.0	ms
Enable Response Time ⁽⁹⁾	t_{ENABLE}	—	0.5	2.0	ms
Sensing Element Resonant Frequency					
XY	f_{GCELL}	—	6.0	—	kHz
Z	f_{GCELL}	—	3.4	—	kHz
Internal Sampling Frequency	f_{CLK}	—	11	—	kHz
Output Stage Performance					
Full-Scale Output Range ($I_{\text{OUT}} = 30\ \mu\text{A}$)	V_{FSO}	$V_{\text{SS}}+0.25$	—	$V_{\text{DD}}-0.25$	V
Nonlinearity, X_{OUT} , Y_{OUT} , Z_{OUT}	NL_{OUT}	-1.0	—	+1.0	%FSO
Cross-Axis Sensitivity ⁽¹⁰⁾	$V_{\text{XY, XZ, YZ}}$	—	—	5.0	%
Ratiometric Error ⁽¹¹⁾	error	—	—	—	%

1. For a loaded output, the measurements are observed after an RC filter consisting of a 1.0 k Ω resistor and a 0.1 μF capacitor on $V_{\text{DD}}-\text{GND}$.
2. These limits define the range of operation for which the part will meet specification.
3. Within the supply range of 2.2 and 3.6 V, the device operates as a fully calibrated linear accelerometer. Beyond these supply limits the device may operate as a linear device but is not guaranteed to be in calibration.
4. This value is measured with g-Select in 1.5g mode.
5. The device can measure both + and - acceleration. With no input acceleration the output is at midsupply. For positive acceleration the output will increase above $V_{\text{DD}}/2$. For negative acceleration, the output will decrease below $V_{\text{DD}}/2$.
6. These values represent the 10th percentile, not the minimum.
7. These values represent the 90th percentile, not the maximum.
8. The response time between 10% of full scale V_{DD} input voltage and 90% of the final operating output voltage.
9. The response time between 10% of full scale Sleep Mode input voltage and 90% of the final operating output voltage.
10. A measure of the device's ability to reject an acceleration applied 90 from the true axis of sensitivity.
11. Zero-g offset ratiometric error can be typically >20% at $V_{\text{DD}} = 2.2\text{ V}$. Sensitivity ratiometric error can be typically >3% at $V_{\text{DD}} = 2.2$. Consult factory for additional information

MMA7260QT



Anexo 6. Acelerómetro MMA7260QT



1. XBee/XBee-PRO OEM RF Modules

The XBee and XBee-PRO OEM RF Modules were engineered to meet IEEE 802.15.4 standards and support the unique needs of low-cost, low-power wireless sensor networks. The modules require minimal power and provide reliable delivery of data between devices.

The modules operate within the ISM 2.4 GHz frequency band and are pin-for-pin compatible with each other.



1.1. Key Features

Long Range Data Integrity

XBee

- Indoor/Urban: up to 100' (30 m)
- Outdoor line-of-sight: up to 300' (100 m)
- Transmit Power: 1 mW (0 dBm)
- Receiver Sensitivity: -92 dBm

XBee-PRO

- Indoor/Urban: up to 300' (100 m)
- Outdoor line-of-sight: up to 1 mile (1500 m)
- Transmit Power: 100 mW (20 dBm) EIRP
- Receiver Sensitivity: -100 dBm

RF Data Rate: 250,000 bps

Advanced Networking & Security

Retries and Acknowledgements
 DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
 Each direct sequence channels has over 65,000 unique network addresses available
 Source/Destination Addressing
 Unicast & Broadcast Communications
 Point-to-point, point-to-multipoint and peer-to-peer topologies supported
 Coordinator/End Device operations

Low Power

XBee

- TX Current: 45 mA (@3.3 V)
- RX Current: 50 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 10 µA

XBee-PRO

- TX Current: 215 mA (@3.3 V)
- RX Current: 55 mA (@3.3 V)
- Power-down Current: < 10 µA

ADC and I/O line support

Analog-to-digital conversion, Digital I/O
 I/O Line Passing

Easy-to-Use

No configuration necessary for out-of box RF communications
 Free X-CTU Software (Testing and configuration software)
 AT and API Command Modes for configuring module parameters
 Extensive command set
 Small form factor

Free & Unlimited RF-XPert Support

1.1.1. Worldwide Acceptance

FCC Approval (USA) Refer to Appendix A [p59] for FCC Requirements. Systems that contain XBee/XBee-PRO RF Modules inherit MaxStream Certifications.

ISM (Industrial, Scientific & Medical) **2.4 GHz frequency band**

Manufactured under **ISO 9001:2000** registered standards

XBee/XBee-PRO RF Modules are optimized for use in the **United States, Canada, Australia, Israel and Europe**. Contact MaxStream for complete list of government agency approvals.



1.2. Specifications

Table 1-01. Specifications of the XBee/XBee-PRO OEM RF Modules

Specification	XBee	XBee-PRO
Performance		
Indoor/Urban Range	up to 100 ft. (30 m)	Up to 300' (100 m)
Outdoor RF line-of-sight Range	up to 300 ft. (100 m)	Up to 1 mile (1500 m)
Transmit Power Output (software selectable)	1mW (0 dBm)	60 mW (18 dBm) conducted, 100 mW (20 dBm) EIRP*
RF Data Rate	250,000 bps	250,000 bps
Serial Interface Data Rate (software selectable)	1200 - 115200 bps (non-standard baud rates also supported)	1200 - 115200 bps (non-standard baud rates also supported)
Receiver Sensitivity	-92 dBm (1% packet error rate)	-100 dBm (1% packet error rate)
Power Requirements		
Supply Voltage	2.8 – 3.4 V	2.8 – 3.4 V
Transmit Current (typical)	45mA (@ 3.3 V)	If PL=0 (10dBm): 137mA(@3.3V), 139mA(@3.0V) PL=1 (12dBm): 155mA (@3.3V), 153mA(@3.0V) PL=2 (14dBm): 170mA (@3.3V), 171mA(@3.0V) PL=3 (16dBm): 188mA (@3.3V), 195mA(@3.0V) PL=4 (18dBm): 215mA (@3.3V), 227mA(@3.0V)
Idle / Receive Current (typical)	50mA (@ 3.3 V)	55mA (@ 3.3 V)
Power-down Current	< 10 µA	< 10 µA
General		
Operating Frequency	ISM 2.4 GHz	ISM 2.4 GHz
Dimensions	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)	0.960" x 1.297" (2.438cm x 3.294cm)
Operating Temperature	-40 to 85° C (industrial)	-40 to 85° C (industrial)
Antenna Options	Integrated Whip, Chip or U.FL Connector	Integrated Whip, Chip or U.FL Connector
Networking & Security		
Supported Network Topologies	Point-to-point, Point-to-multipoint & Peer-to-peer	
Number of Channels (software selectable)	16 Direct Sequence Channels	12 Direct Sequence Channels
Addressing Options	PAN ID, Channel and Addresses	
Agency Approvals		
United States (FCC Part 15.247)	OUR-XBEE	OUR-XBEEPRO
Industry Canada (IC)	4214A XBEE	4214A XBEEPRO
Europe (CE)	ETSI	ETSI (Max. 10 dBm transmit power output)*
Japan	n/a	005NYCA0378 (Max. 10 dBm transmit power output)**

* When operating in Europe: XBee-PRO RF Modules must be configured to operate at a maximum transmit power output level of 10 dBm. The power output level is set using the PL command. The PL parameter must equal "0" (10 dBm).

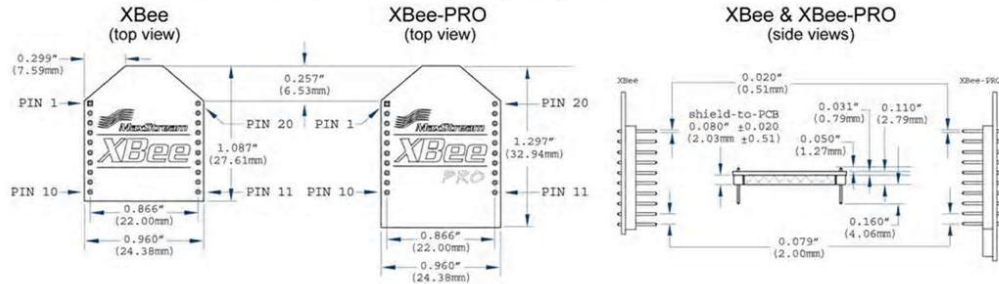
Additionally, European regulations stipulate an EIRP power maximum of 12.86 dBm (19 mW) for the XBee-PRO and 12.11 dBm for the XBee when integrating high-gain antennas.

** When operating in Japan: Transmit power output is limited to 10 dBm. A special part number is required when ordering modules approved for use in Japan. Contact MaxStream for more information [call 1-801-765-9885 or send e-mails to sales@maxstream.net].

Antenna Options: The ranges specified are typical when using the integrated Whip (1.5 dBi) and Dipole (2.1 dBi) antennas. The Chip antenna option provides advantages in its form factor; however, it typically yields shorter range than the Whip and Dipole antenna options when transmitting outdoors. For more information, refer to the "XBee Antenna" application note located on MaxStream's web site (<http://www.maxstream.net/support/knowledgebase/article.php?kb=153>).

1.3. Mechanical Drawings

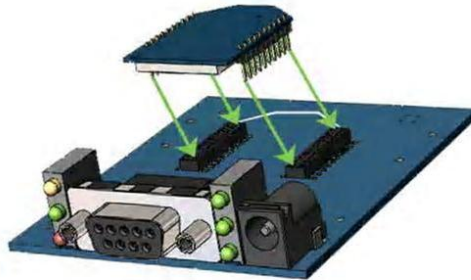
Figure 1-01. Mechanical drawings of the XBee/XBee-PRO OEM RF Modules (antenna options not shown)
The XBee and XBee-PRO RF Modules are pin-for-pin compatible.



1.4. Mounting Considerations

The XBee/XBee-PRO RF Module was designed to mount into a receptacle (socket) and therefore does not require any soldering when mounting it to a board. The XBee Development Kits contain RS-232 and USB interface boards which use two 20-pin receptacles to receive modules.

Figure 1-02. XBee Module Mounting to an RS-232 Interface Board.



The receptacles used on MaxStream development boards are manufactured by Century Interconnect. Several other manufacturers provide comparable mounting solutions; however, MaxStream currently uses the following receptacles:

- Through-hole single-row receptacles - Samtec P/N: MMS-110-01-L-SV (or equivalent)
- Surface-mount double-row receptacles - Century Interconnect P/N: CPRMSL20-D-0-1 (or equivalent)
- Surface-mount single-row receptacles - Samtec P/N: SMM-110-02-SM-S

MaxStream also recommends printing an outline of the module on the board to indicate the orientation the module should be mounted.

1.5. Pin Signals

Figure 1-03. XBee/XBee-PRO RF Module Pin Numbers
(top sides shown - shields on bottom)

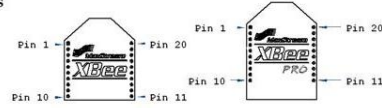


Table 1-02. Pin Assignments for the XBee and XBee-PRO Modules
(Low-asserted signals are distinguished with a horizontal line above signal name.)

Pin #	Name	Direction	Description
1	VCC	-	Power supply
2	DOUT	Output	UART Data Out
3	DIN / CONFIG	Input	UART Data In
4	DO8*	Output	Digital Output 8
5	RESET	Input	Module Reset (reset pulse must be at least 200 ns)
6	PWM0 / RSSI	Output	PWM Output 0 / RX Signal Strength Indicator
7	PWM1	Output	PWM Output 1
8	[reserved]	-	Do not connect
9	DTR / SLEEP_RQ / DI8	Input	Pin Sleep Control Line or Digital Input 8
10	GND	-	Ground
11	AD4 / DIO4	Either	Analog Input 4 or Digital I/O 4
12	CTS / DIO7	Either	Clear-to-Send Flow Control or Digital I/O 7
13	ON / SLEEP	Output	Module Status Indicator
14	VREF	Input	Voltage Reference for A/D Inputs
15	Associate / AD5 / DIO5	Either	Associated Indicator, Analog Input 5 or Digital I/O 5
16	RTS / AD6 / DIO6	Either	Request-to-Send Flow Control, Analog Input 6 or Digital I/O 6
17	AD3 / DIO3	Either	Analog Input 3 or Digital I/O 3
18	AD2 / DIO2	Either	Analog Input 2 or Digital I/O 2
19	AD1 / DIO1	Either	Analog Input 1 or Digital I/O 1
20	AD0 / DIO0	Either	Analog Input 0 or Digital I/O 0

* Function is not supported at the time of this release

Design Notes:

- Minimum connections: VCC, GND, DOUT & DIN
- Minimum connections for updating firmware: VCC, GND, DIN, DOUT, RTS & DTR
- Signal Direction is specified with respect to the module
- Module includes a 50k Ω pull-up resistor attached to RESET
- Several of the input pull-ups can be configured using the PR command
- Unused pins should be left disconnected

1.6. Electrical Characteristics

Table 1-03. DC Characteristics (VCC = 2.8 - 3.4 VDC)

Symbol	Characteristic	Condition	Min	Typical	Max	Unit
V _{IL}	Input Low Voltage	All Digital Inputs	-	-	0.35 * VCC	V
V _{IH}	Input High Voltage	All Digital Inputs	0.7 * VCC	-	-	V
V _{OL}	Output Low Voltage	I _{OL} = 2 mA, VCC ≥ 2.7 V	-	-	0.5	V
V _{OH}	Output High Voltage	I _{OH} = -2 mA, VCC ≥ 2.7 V	VCC - 0.5	-	-	V
I _{IN}	Input Leakage Current	V _{IN} = VCC or GND, all inputs, per pin	-	0.025	1	μA
I _{OZ}	High Impedance Leakage Current	V _{IN} = VCC or GND, all I/O High-Z, per pin	-	0.025	1	μA
TX	Transmit Current	VCC = 3.3 V	-	45 (XBee) 215 (PRO)	-	mA
RX	Receive Current	VCC = 3.3 V	-	50 (XBee) 55 (PRO)	-	mA
PWR-DWN	Power-down Current	SM parameter = 1	-	< 10	-	μA

Table 1-04. ADC Characteristics (Operating)

Symbol	Characteristic	Condition	Min	Typical	Max	Unit
V _{REFH}	VREF - Analog-to-Digital converter reference range		2.08	-	V _{DDAD}	V
I _{REF}	VREF - Reference Supply Current	Enabled	-	200	-	μA
		Disabled or Sleep Mode	-	< 0.01	0.02	μA
V _{INDC}	Analog Input Voltage ¹		V _{SSAD} - 0.3	-	V _{DDAD} + 0.3	V

1. Maximum electrical operating range, not valid conversion range.

Table 1-05. ADC Timing/Performance Characteristics¹

Symbol	Characteristic	Condition	Min	Typical	Max	Unit
R _{AS}	Source Impedance at Input ²		-	-	10	kΩ
V _{AIN}	Analog Input Voltage ³		V _{REFL}		V _{REFH}	V
RES	Ideal Resolution (1 LSB) ⁴	2.08V ≤ V _{DDAD} ≤ 3.6V	2.031	-	3.516	mV
DNL	Differential Non-linearity ⁵		-	±0.5	±1.0	LSB
INL	Integral Non-linearity ⁶		-	±0.5	±1.0	LSB
E _{ZS}	Zero-scale Error ⁷		-	±0.4	±1.0	LSB
F _{FS}	Full-scale Error ⁸		-	±0.4	±1.0	LSB
E _{IL}	Input Leakage Error ⁹		-	±0.05	±5.0	LSB
E _{TU}	Total Unadjusted Error ¹⁰		-	±1.1	±2.5	LSB

1. All ACCURACY numbers are based on processor and system being in WAIT state (very little activity and no IO switching) and that adequate low-pass filtering is present on analog input pins (filter with 0.01 μF to 0.1 μF capacitor between analog input and VREFL). Failure to observe these guidelines may result in system or microcontroller noise causing accuracy errors which will vary based on board layout and the type and magnitude of the activity.

Data transmission and reception during data conversion may cause some degradation of these specifications, depending on the number and timing of packets. It is advisable to test the ADCs in your installation if best accuracy is required.

2. R_{AS} is the real portion of the impedance of the network driving the analog input pin. Values greater than this amount may not fully charge the input circuitry of the ATD resulting in accuracy error.

3. Analog input must be between V_{REFL} and V_{REFH} for valid conversion. Values greater than V_{REFH} will convert to \$3FF.

4. The resolution is the ideal step size or 1LSB = (V_{REFH} - V_{REFL}) / 1024

5. Differential non-linearity is the difference between the current code width and the ideal code width (1LSB). The current code width is the difference in the transition voltages to and from the current code.

6. Integral non-linearity is the difference between the transition voltage to the current code and the adjusted ideal transition voltage for the current code. The adjusted ideal transition voltage is (Current Code - 1/2) * (1 / (V_{REFH} + E_{FS}) - (V_{REFL} + E_{ZS})).

7. Zero-scale error is the difference between the transition to the first valid code and the ideal transition to that code. The ideal transition voltage to a given code is (Code - 1/2) * (1 / (V_{REFH} - V_{REFL})).

8. Full-scale error is the difference between the transition to the last valid code and the ideal transition to that code. The ideal transition voltage to a given code is (Code - 1/2) * (1 / (V_{REFH} - V_{REFL})).

9. Input leakage error is error due to input leakage across the real portion of the impedance of the network driving the analog pin. Reducing the impedance of the network reduces this error.

10. Total unadjusted error is the difference between the transition voltage to the current code and the ideal straight-line transfer function. This measure of error includes inherent quantization error (1/2LSB) and circuit error (differential, integral, zero-scale, and full-scale) error. The specified value of E_{TU} assumes zero E_{IL} (no leakage or zero real source impedance).

Anexo 8. Características Operativas de las baterías LiPo

UNIONFORTUNE PRODUCT SPECIFICATION	Doc. No.	2006.3.16
	Edition No.	2.0
	Sheet	1/5

1、 Scope

This product specification describes UNIONFORTUNE polymer lithium-ion battery. Please using the test methods that recommend in this specification. If you have any opinions or advices about the test items and methods, please contact us. Please read the cautions recommended in the specifications first, take the credibility measure of the cell's using.

2、 Product Type, Model and Dimension

2.1 Type: Polymer lithium-ion battery

2.2 Model: 063048

2.3 Cell Dimension(Max. Thickness×Width×Length, mm³): 6×30×48

Pack Dimension(Max. Thickness×Width×Length, mm³): None

3、 Specification

Item	Specifications	Remark	
Nominal Capacity	<u>860</u> mAh	0.2C ₅ A discharge	
Nominal Voltage	3.7V	Average Voltage at 0.2C ₅ A discharge	
Charge Current	Standard: 0.2 C ₅ A; Max: 1C ₅ A	Working temperature: 0~40℃	
Charge cut-off Voltage	4.20±0.03V		
Standard Discharge Current	0.2C ₅ A	Working temperature: -20~60℃	
Max Discharge Current	2.0C ₅ A	Working temperature: 0~60℃	
Discharge cut-off Voltage	2.75 V		
Cell Voltage	3.7-3.9 V	When leave factory	
Impedance	≤ <u>300</u> mΩ	AC 1KHz after 50% charge	
Weight	Approx: <u>15</u> g		
Storage temperature	≤1month	-20~45℃	Best 20±5℃ for long-time storage
	≤3month	0~30℃	
	≤6month	20±5℃	
Storage humidity	65±20% RH		

4、 General Performance

Definition of Standard charging method: At 20±5℃, charging the cell initially with constant current 0.2C₅A till voltage 4.2V, then with constant voltage 4.2V till current declines to 0.05C₅A.

Item	Test Methods	Performance	
4.1	0.2C Capacity	After standard charging, laying the battery 0.5h, then discharging at 0.2C ₅ A to voltage 2.75V, recording the discharging time.	≥300min
4.2	1C Capacity	After standard charging, laying the battery 0.5h, then discharging at 1C ₅ A to voltage 2.75V, recording the discharging time.	≥51min
4.3	Cycle Life	Constant current 1C ₅ A charge to 4.2V, then constant voltage charge to current declines to 0.05C ₅ A, stay 5min, constant current 1C ₅ A discharge to 2.75V, stay 5min. Repeat above steps till continuously discharging time less than 36min.	≥300times
4.4	Capability of keeping electricity	20±5℃, After standard charging, laying the battery 28days, discharging at 0.2C ₅ A to voltage 2.75V, recording the discharging time.	≥240min

UNIONFORTUNE PRODUCT SPECIFICATION	Doc. No.	2006.3.16
	Edition No.	2.0
	Sheet	2/5

5、 Environment Performance

Item		Test Methods	Performance
5.1	High temperature	After standard charging, laying the battery 4h at 60℃, then discharging at 0.2C ₅ A to voltage 2.75V, recording the discharging time.	≥270min
5.2	Low temperature	After standard charging, laying the battery 4h at 0.2C ₅ A, then discharging at 0.2C ₅ A to voltage 2.75V, recording the discharging time.	≥210min
5.3	Constant humidity and temperature	After standard charging, laying the battery 48h at 40±2℃, RH 93±2%. Recording 0.2C ₅ A discharging time	No distortion No electrolytes leakage ≥270 min
5.4	Temperature shock	After standard charging, battery stored at -20℃ for 2 hours, then stored at 50℃ for 2 hours. Repeat 10 times.	No electrolytes leakage

6、 Mechanical Performance

Item		Test Methods	Performance
6.1	Vibration	After standard charging, put battery on the vibration table. 30 min experiment from X,Y,Z axis. Scan rate: 1 oct/min; Frequency 10-30Hz, Swing 0.38mm; Frequency 30-55Hz, Swing 0.19mm.	No influence to batteries' electrical performance and appearance.
6.2	Collision	After vibration test, batteries were laying on the vibration table about X, Y, Z axis. Max frequency acceleration: 100m/s ² ; collision times per minutes: 40~80; frequency keeping time 16ms; all collision times 1000±10.	No influence to batteries' electrical performance and appearance.
6.3	Drop	Random drop the battery from 10m height onto concrete one times.	No explosion or fire

7、 Safety Test

Test conditions: The following tests must be measured at flowing air and safety protection conditions. All batteries must standard charge and lay 24h.

Item		Test Methods	Performance
7.1	Over charge	At 20±5℃, charging batteries with constant current 3C ₅ A to voltage 4.8V, then with constant voltage 4.8V till current decline to 0. Stop test till batteries' temperature 10℃ lower than max temperature.	No explosion or fire
7.2	Over discharge	At 20 ± 5℃, discharge battery with 0.2C ₅ A continuously 12.5h.	No explosion or fire
7.3	Short-circuit	At 20±5℃, connect batteries' anode and cathode by wire which impedance less than 50mΩ, keep 6h.	No explosion or fire
7.4	Extrusion	At 20±5℃, put the battery in two parallel steal broad, add pressure 13kN.	No explosion or fire
7.5	Thermal shock	Put the battery in the oven. The temperature of the oven is to be raised at 5±1℃ per minute to a temperature of 130±2℃ and remains 60 minutes.	No explosion or fire

UNIONFORTUNE PRODUCT SPECIFICATION	Doc. No.	2006.3.16
	Edition No.	2.0
	Sheet	3/5

8、Cautions

1. Cautions of batteries' operation

The batteries must be careful of proceed the operation for it's soft package.

1. Aluminum packing materials

The aluminum packing material was easily damaged by the sharp edge part, such as nickel-tabs.

- (1) forbid to use the sharp part touching the battery;
- (2) should cleaning working condition, avoiding the sharp edge part existence;
- (3) forbid to pierce the battery with nail and other sharp items;
- (4) the battery was forbidden with metal, such as necklace, hairpin etc in transportation and storage.

2. Sealed edge

Sealing edge is very easily damaged and don't bend it.

The Al interlayer of package has good electric performance. It's forbidden to connect with exterior component for preventing short-circuits.

3. Folding edge

The folding edge is formed in batteries' processes and passed all hermetic tests, don't open or deform it. The Al interlayer of package has good electric performance. It's forbidden to connect with exterior component for preventing short-circuits.

4. Tabs

The batteries' tabs are not so stubborn especially for aluminum tabs. Don't bend tabs.

5. Mechanical shock

Don't fall, hit, bent the batteries' body.

6. Short-circuit

Short-circuit is strictly prohibited. It should damage batteries badly.

2. Standard Test Environment for polymer lithium-ion batteries

Environment temperature: $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$

Humidity: 45-85%

3. Cautions of charge & discharge

1. charge

Charging current should be lower than values that recommend below. Higher current and voltage charging may cause damage to cell electrical, mechanical, safety performance and could lead heat generation or leakage.

- (1) Batteries charger should charging with constant current and constant voltage mode;
- (2) Charging current should be lower than (or equal to) $1C_5A$;
- (3) Temperature $0 \sim 40^{\circ}\text{C}$ is preferred when charging;
- (4) Charging voltage must be lower than 4.25V.

UNIONFORTUNE PRODUCT SPECIFICATION	Doc. No.	2006.3.16
	Edition No.	2.0
	Sheet	4/5

2. discharge

- (1) Discharging current must be lower than (or equal to) $0.2C_2A$;
- (2) Temperature $0\sim 60^{\circ}C$ is preferred when discharging;
- (3) Discharging voltage must not be lower than 2.75V.

3. over-discharge

It should be noted that the cell would be at an over-discharge state by its self-discharge. In order to prevent over-discharge, the cell shall be charged periodically to keeping voltage between 3.6-3.9V. Over-discharge may cause loss of cell performance. It should be noted that the cell would not discharge till voltage lower than 2.5V.

4.Storage of polymer lithium-ion batteries

The environment of long-time storage:

Temperature: $20\pm 5^{\circ}C$;

Humidity: 45-85%;

Batteries were 40~60% charged.

5.Transportation of polymer lithium-ion batteries

The batteries should transportation with 10~50% charged states.

6.Others

Please note cautions below to prevent cells' leakage, heat generation and explosion.

Prohibition of disassembly cells;

Prohibition of cells immersion into liquid such as water or seawater;

Prohibition of dumping cells into fire;

Prohibition of using damaged cells. The cells with a smell of electrolyte or leakage must be placed away from fire to avoid firing.

In case of electrolyte leakage contact with skin, eye, physicians shall flush the electrolyte immediately with fresh water and medical advise is to be sought.

9. Notice of Designing Battery Pack

9.1 Pack design

Battery pack should have sufficient strength and battery should be protected from mechanical shock. No sharp edge components should be inside the pack contain the battery.

9.2 PCM design

The overcharge threshold voltage should not be exceed 4.25V.

The over-discharge threshold voltage should not be lower than 2.75V.

The PCM should have short protection function built inside.

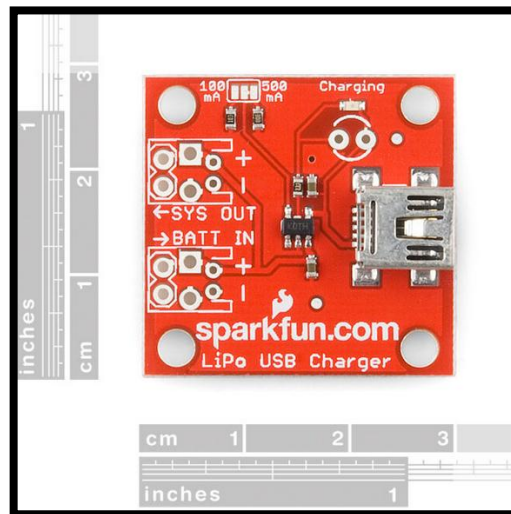
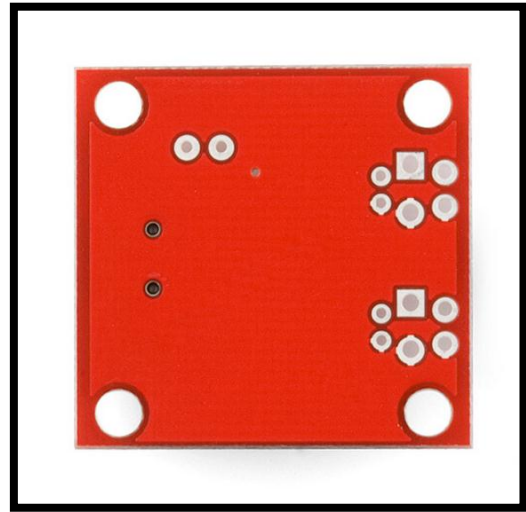
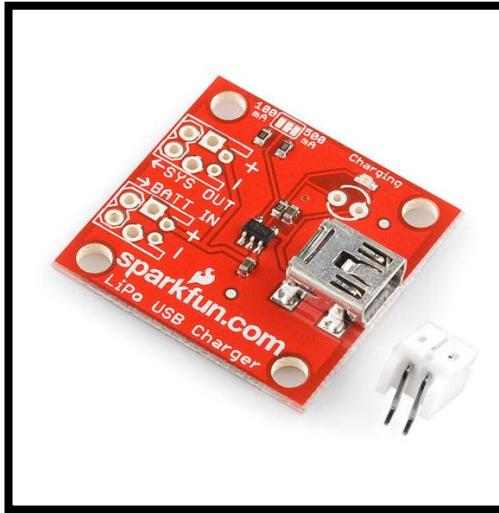
9.3 Tab connection

Ultrasonic welding or spot welding is recommended to connect battery with PCM or other parts.

If apply manual solder method to connect tab with PCM, the notice below is very important to ensure battery performance.

- (1) The electric iron should be temperature controlled and ESD safe;
- (2) Soldering temperature should not exceed $350^{\circ}C$;
- (3) Soldering time should not be longer than 3s, keep battery tab cold down before next soldering;
- (4) Soldering times should not exceed 5 times;
- (5) Directly heat cell body is strictly prohibited, battery may be damaged by heat above approx. $100^{\circ}C$.

Anexo 9. Cargador USB para las baterías LiPo



Anexo 10. Características técnicas del cargador de baterías LiPo



MCP73831/2

Miniature Single-Cell, Fully Integrated Li-Ion, Li-Polymer Charge Management Controllers

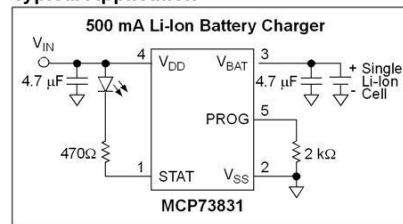
Features

- Linear Charge Management Controller:
 - Integrated Pass Transistor
 - Integrated Current Sense
 - Reverse Discharge Protection
- High Accuracy Preset Voltage Regulation: $\pm 0.75\%$
- Four Voltage Regulation Options:
 - 4.20V, 4.35V, 4.40V, 4.50V
- Programmable Charge Current: 15 mA to 500 mA
- Selectable Preconditioning:
 - 10%, 20%, 40%, or Disable
- Selectable End-of-Charge Control:
 - 5%, 7.5%, 10%, or 20%
- Charge Status Output
 - Tri-State Output - MCP73831
 - Open-Drain Output - MCP73832
- Automatic Power-Down
- Thermal Regulation
- Temperature Range: -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$
- Packaging:
 - 8-Lead, 2 mm x 3 mm DFN
 - 5-Lead, SOT-23

Applications

- Lithium-Ion/Lithium-Polymer Battery Chargers
- Personal Data Assistants
- Cellular Telephones
- Digital Cameras
- MP3 Players
- Bluetooth Headsets
- USB Chargers

Typical Application



Description:

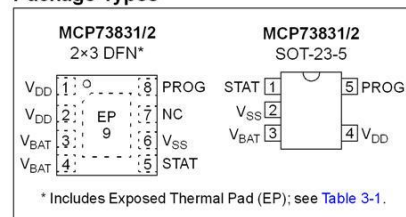
The MCP73831/2 devices are highly advanced linear charge management controllers for use in space-limited, cost-sensitive applications. The MCP73831/2 are available in an 8-Lead, 2 mm x 3 mm DFN package or a 5-Lead, SOT-23 package. Along with their small physical size, the low number of external components required make the MCP73831/2 ideally suited for portable applications. For applications charging from a USB port, the MCP73831/2 adhere to all the specifications governing the USB power bus.

The MCP73831/2 employ a constant-current/constant-voltage charge algorithm with selectable preconditioning and charge termination. The constant voltage regulation is fixed with four available options: 4.20V, 4.35V, 4.40V or 4.50V, to accommodate new, emerging battery charging requirements. The constant current value is set with one external resistor. The MCP73831/2 devices limit the charge current based on die temperature during high power or high ambient conditions. This thermal regulation optimizes the charge cycle time while maintaining device reliability.

Several options are available for the preconditioning threshold, preconditioning current value, charge termination value and automatic recharge threshold. The preconditioning value and charge termination value are set as a ratio, or percentage, of the programmed constant current value. Preconditioning can be disabled. Refer to **Section 1.0 "Electrical Characteristics"** for available options and the **"Product Identification System"** for standard options.

The MCP73831/2 devices are fully specified over the ambient temperature range of -40°C to $+85^{\circ}\text{C}$.

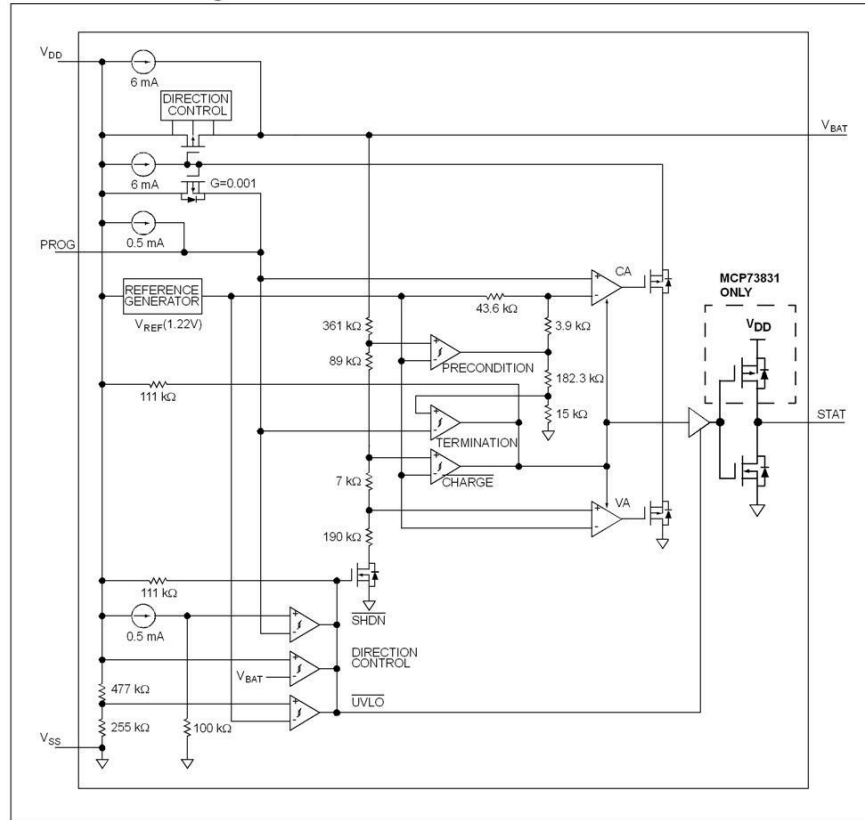
Package Types



* Includes Exposed Thermal Pad (EP); see Table 3-1.

MCP73831/2

Functional Block Diagram



Anexo 11.Datasheet Amplificador LM358



www.fairchildsemi.com

LM2904,LM358/LM358A,LM258/ LM258A

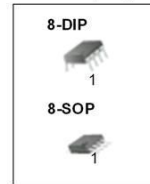
Dual Operational Amplifier

Features

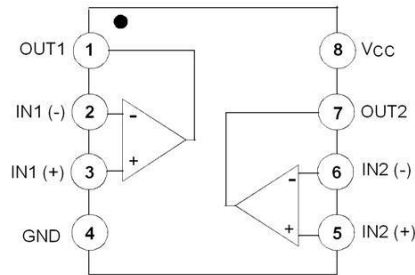
- Internally Frequency Compensated for Unity Gain
- Large DC Voltage Gain: 100dB
- Wide Power Supply Range:
 - LM258/LM258A, LM358/LM358A: 3V~32V (or $\pm 1.5V \sim 16V$)
 - LM2904 : 3V~26V (or $\pm 1.5V \sim 13V$)
- Input Common Mode Voltage Range Includes Ground
- Large Output Voltage Swing: 0V DC to $V_{cc} - 1.5V$ DC
- Power Drain Suitable for Battery Operation.

Description

The LM2904,LM358/LM358A, LM258/LM258A consist of two independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltage. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage. Application areas include transducer amplifier, DC gain blocks and all the conventional OP-AMP circuits which now can be easily implemented in single power supply systems.



Internal Block Diagram

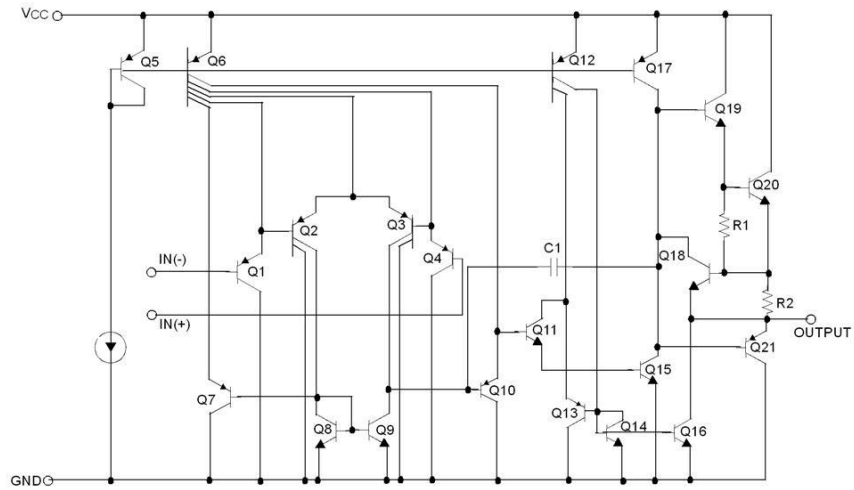


Rev. 1.0.2

©2002 Fairchild Semiconductor Corporation

Schematic Diagram

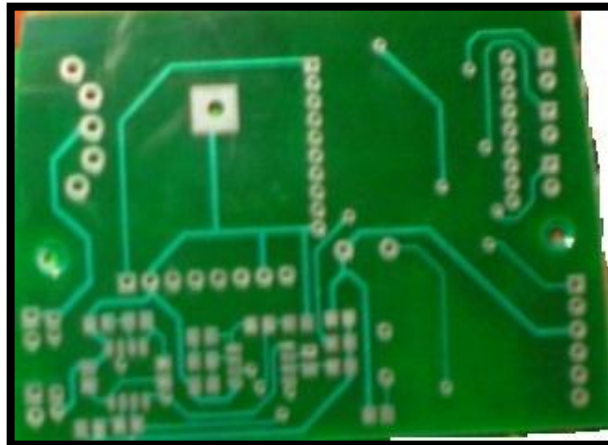
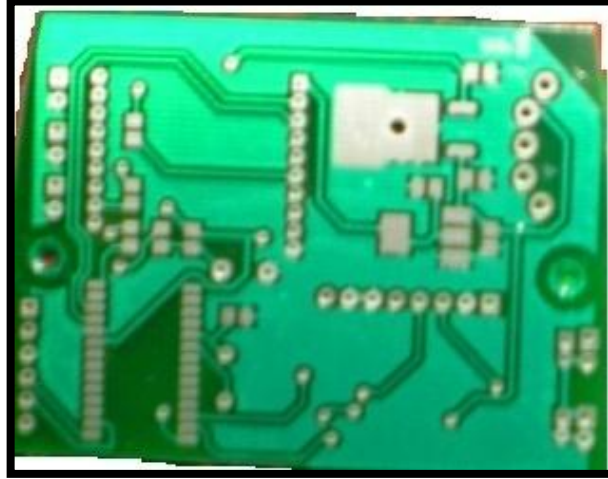
(One section only)



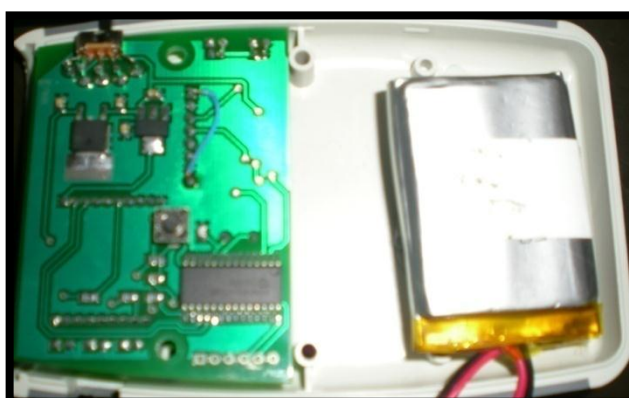
Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	LM258/LM258A	LM358/LM358A	LM2904	Unit
Supply Voltage	V _{CC}	±16 or 32	±16 or 32	±13 or 26	V
Differential Input Voltage	V _{I(DIFF)}	32	32	26	V
Input Voltage	V _I	-0.3 to +32	-0.3 to +32	-0.3 to +26	V
Output Short Circuit to GND V _{CC} ≤ 15V, T _A = 25°C (One Amp)	-	Continuous	Continuous	Continuous	-
Operating Temperature Range	T _{OPR}	-25 ~ +85	0 ~ +70	-40 ~ +85	°C
Storage Temperature Range	T _{STG}	-65 ~ +150	-65 ~ +150	-65 ~ +150	°C

Anexo 12.Placa del circuito sin elementos soldados



Anexo 13.Placa del circuito con elementos soldados



Anexo 14. Sistema implementado en el casco



Anexo 15. Imágenes del desempeño y uso del sistema





Anexo 16.Costos del proyecto

Elemento	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Baterías Lipo	2	33,25	66,5
Caja 1553B	1	13	13
Capacitor 0,33uF	2	0,25	0,5
Capacitor 0,1uF	2	0,2	0,4
Capacitor 22pF	2	0,25	0,5
Resistor 470Ω	3	0,1	0,3
Resistor 1kΩ	1	0,1	0,1
Resistor 10kΩ	13	0,1	1,3
Resistor 15kΩ	2	0,1	0,2
Resistor 3,3kΩ	1	0,1	0,1
Interruptor	1	1	1
Pulsador	1	0,2	0,2
Diodo Emisor Luz	3	0,1	0,3
Oscilador 4Mhz	1	1	1
Regulador LM7805	1	1,5	1,5
Regulador LM1117t	1	3	3
Amplificador LM358	4	1,2	4,8
Xbee	2	35,95	71,9
Xbee Socket 10p	2	1,48	2,96
Xbee Xplorer	1	37,6432	37,6432
Caja Xbee Xplorer	1	4,5	4,5
Cable USB A/B	1	3	3
Acelerómetro MMA7260QT	1	39,89	39,89
PIC 16F870	1	5	5
Cargador baterías LiPo	1	19,096	19,096
Placa SMD	1	29,06	29,06
Total			307,7492

Nota: Todos los costos están en dólares e incluidos el IVA.