



Instituto Tecnológico de San Juan del Río

**TESIS DE RESIDENCIA
PROFESIONAL**

**Robot Móvil WildThumper 6WD[®] para exploración,
supervisión y detección de gas metano en minas subterráneas
de carbón.**

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico de San Juan del Río**

P R E S E N T A:

**Brandon Martínez Hernández
Ingeniería Electrónica
NO. DE CONTROL: 13590339**

ASESOR: M. en C. Juan Gabriel Rodríguez Ortiz

PERIODO ENERO – JUNIO 2018



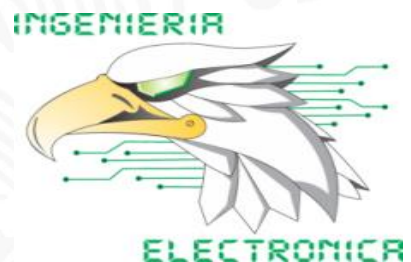
AGRADECIMIENTOS

Al **Tecnológico Nacional de México (TECNM)** organismo rector del Instituto Tecnológico de San Juan Del Río.

Al **Consejo de Ciencia y Tecnología de Estado de Querétaro (CONCYTEQ)** quien promueve la investigación científica en las instituciones de educación pública en el estado de Querétaro y quien aporto financiamiento para el desarrollo del proyecto.

Al **Instituto Tecnológico de San Juan del Río (ITSJR)** quien como alma mater se preocupa por el fomento de la investigación y desarrollo tecnológico gestionando los recursos necesarios para encontrar fuentes de financiamiento.

A la **H. Academia de Ingeniería Eléctrica y Electrónica** del Instituto Tecnológico de San Juan del Río formada por los docentes del área académica.



RESUMEN

La Robótica móvil es un área de gran desarrollo tecnológico hoy en día, ocupando un lugar importante dentro de los sectores industrial, doméstico y de servicios. La robótica móvil se caracteriza por ayudar al ser humano en el desarrollo de múltiples tareas que suelen ser repetitivas o de riesgo para el usuario, tal es el caso de los robots de exploración.

Actualmente las nuevas tecnologías nos permiten utilizar a los robots para realizar tareas específicas. Los diseños son cada vez más complejos ya que se deben de adaptar a las necesidades humanas

El trabajo que a continuación se presenta tiene como objetivo el construir un vehículo robotizado tipo todoterreno, con fines de exploración y de seguridad en la industria minera. El capítulo 1 muestra los antecedentes del proyecto, como son los datos de la institución donde se desarrolló, el objetivo del proyecto, su justificación y el alcance estimado.

El capítulo 2 da un marco de referencia para adentrarse en la robótica móvil, mostrando sus antecedentes, los tipos de robot que existen, las características esenciales que debe tener un robot y su modelado cinemático.

El Capítulo 3 entra de lleno en la descripción general y específica del robot móvil de cada uno de sus componentes y da un vistazo sobre las especificaciones del robot.

En el capítulo 4 nos narra los resultados obtenidos de dicho proyecto en ambientes controlados, así como las pruebas realizadas en minas en el Estado de Querétaro y el impacto social que tuvo el proyecto.

Finalmente se presentan las conclusiones y las fuentes de información.



ÍNDICE

RESUMEN.....	3
PROYECTO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO TECNOLÓGICO.....	13
DESARROLLADOR:.....	13
DIRECTOR DE TESIS:.....	13
ANTECEDENTES.....	14
CAPITULO I.....	16
“ANTECEDENTES”	16
1.1 Datos generales de la empresa.	17
1.1.1 Nombre de la empresa.....	17
1.1.2 Dirección y ubicación.....	17
1.1.3 Giro empresarial.....	17
1.1.4 Área Específica del proyecto.....	18
1.1.5 Misión y Visión de la Institución.	18
1.2 Objetivos.	18
1.2.1 Objetivo general.	18
1.2.2 Objetivos específicos.....	19
1.3. Justificación.....	19
1.4 Alcance del proyecto.	21
CAPITULO II	22
“MARCO TEORICO”	22
2.1 Introducción.	23
2.2 Robots Móviles.	26
2.3 Sistemas de locomoción para un robot móvil.	27
2.4 Robots móviles con ruedas tipo diferencial.	28
2.5 Modelo matemático del robot diferencial.	29
2.6 Microcontrolador PIC 16F88A	31
2.6.1 Esquema de diseño de Un Microcontrolador.	32
2.6.2 El catálogo actual de Familias de Microcontroladores PIC	33
2.7 Pantalla LCD 16x2	34

2.7.1 Pines de control: 35

2.7.2 Pines de Bus de datos: 35

2.7.3 La librería del LCD 35

2.8 Comunicación ZigBee y Módulo XBee S1® 37

2.8.1 Modos de operación de un XBee® 39

2.8.1.1 Modo Recibir/Transmitir..... 40

2.8.1.2 Modo Bajo Consumo (Sleep Mode)..... 41

2.8.1.3 Modo Comando..... 41

2.8.1.4 Modo Transparente 42

2.8.1.5 Modo de Operación API 43

2.8.1.6 Modo IDLE 44

2.9 Software XCTU..... 44

2.10 Antena Omnidireccional del Módulo XBee® S1..... 45

2.10.1 Patrones de Radiación 46

2.10.2 Ganancia..... 47

2.10.3 Directividad..... 47

2.10.4 Polarización..... 47

2.10.5 Tipos de antenas..... 48

2.10.6 Decibeles 48

2.11 Software PIC C Compiler 49

CAPITULO III 51

“DESARROLLO” 51

3.1 Metodología del proyecto..... 52

3.2. Descripción de la estructura mecánica. 54

3.2.1 Chasis WildThumper 6WD® 54

3.2.2 Controlador de motores TRex..... 57

3.3 Control inalámbrico RC. 61

3.4 Sistema de visión..... 63

3.4.1 Sistema de transmisión de video. 66

3.5 Monitor de video. 68

3.6 Sistema de iluminación LED..... 71



3.7 Sistema de iluminación Luz Laser.....	72
3.8 Cinta reflejante.....	73
3.9 Alimentación eléctrica del robot móvil.....	74
3.10 Módulo de adquisición de datos.....	77
3.10.1 Módulo sensor de temperatura.....	78
3.10.2 Módulo sensor de humedad relativa.....	79
3.10.3 Módulo sensor de gas metano.....	81
3.10.4 Microcontrolador PIC 16F88.....	82
3.10.5 Modulo XBee S1®.....	85
3.10.6 Explorador XBee Regulado.....	86
3.10.7 Software XCTU.....	88
3.10.7.1 Configuración de emisor y receptor de XBee con software Xctu.....	88
3.11 Antena Omnidireccional del Módulo XBee S1®.....	105
3.12 Módulo receptor portátil.....	106
3.12.1 Pantalla LCD 16x2.....	107
3.12.2 Microcontrolador PIC 16F88.....	108
3.12.2.1 Configuración de la pantalla lcd en PIC C Compiler.....	108
3.12.3 Modulo XBee S1 Receptor.....	113
3.12.4 Antena Omnidireccional Receptora del Módulo XBee S1®.....	114
CAPITULO IV.....	117
“RESULTADOS”.....	117
4.1 Prueba en Mina la Trinidad ubicada en Tequisquiapan, Querétaro, México.....	118
4.1.1 Dimensiones.....	118
4.1.2 Características eléctricas y mecánicas.....	119
4.1.3 Alcance.....	120
4.2 Prueba en Mina “la Negra” ubicada en Cadereyta de Montes Querétaro.....	123
CONCLUSIONES.....	135
CONCLUSIONES FINALES.....	136
REFERENCIAS.....	138
ANEXOS.....	139



Índice de Imágenes

<i>Imagen 1.0.1 Ubicación del INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SAN JUAN DEL RÍO</i>	17
<i>Imagen 2.0.1 Naturaleza multidisciplinaria de la Robótica</i>	23
<i>Imagen 2.0.0.2 Karel Capek (1890-1930)</i>	24
<i>Imagen 2.0.3 Robot industrial para soldadura</i>	25
<i>Imagen 2.0.4 Robots aéreo, terrestre, marino</i>	26
<i>Imagen 2.0.5 Robots con ruedas, con orugas con patas</i>	26
<i>Imagen 2.0.6 Configuraciones del sistema de locomoción de un robot móvil</i>	27
<i>Imagen 2.0.7 Movimientos avanzar, girar izq. /der y girar sobre sí mismo</i>	28
<i>Imagen 2.0.8 Parámetros cinemáticos básicos del robot diferencial</i>	29
<i>Imagen 2.0.9 Representación de desplazamientos del robot diferencial</i>	29
<i>Imagen 2.0.10 Arquitectura Von Neumann</i>	33
<i>Imagen 2.0.11 Arquitectura Harvard</i>	33
<i>Imagen 2.0.12 Pantalla LCD 16x2 extraída del software Proteus</i>	34
<i>Imagen 2.0.13 Conexión típica usando Módulo XBee</i>	38
<i>Imagen 2.0.14 Módulo XBee</i>	39
<i>Imagen 2.0.15 Modos de Operación de un módulo XBee</i>	40
<i>Imagen 2.0.16 Pines de Transmisión y Recepción de datos del Módulo XBee</i>	42
<i>Imagen 2.0.17 Logo Xctu Software</i>	45
<i>Imagen 2.0.18 a) Patrón de elevación de un dipolo genérico b) Patrón de azimuth de un dipolo genérico c) Patrón de radiación 3D</i>	46
<i>Imagen 2.0.19 Software PIC C Compiler</i>	50
<i>Imagen 3.0.1 Pictografía del robot móvil</i>	52
<i>Imagen 3.0.2 Sistema de control y monitoreo</i>	53
<i>Imagen 3.0.3 Receptor inalámbrico de datos (Temperatura, humedad, gas monóxido de carbono)</i>	53
<i>Imagen 3.0.4 Chasis WildThumper 6WD®</i>	54



<i>Imagen 3.0.5 Chasis WildThumper 6WD® para armar.</i>	55
<i>Imagen 3.0.6 Compartimientos interiores y cableados eléctricos.</i>	55
<i>Imagen 3.0.7 Ruedas y sistema de suspensión mecánica.</i>	56
<i>Imagen 3.0.8 Chasis WildThumper 6WD.</i>	56
<i>Imagen 3.0.9 TRex dual motor controller Pololu® DMC01.</i>	57
<i>Imagen 3.0.10 Conexión eléctrica motores de cd.</i>	58
<i>Imagen 3.0.11 Conexión de la fuente de alimentación al controlador.</i>	59
<i>Imagen 3.0.12 Módulo Receptor HITEC® OPTIMA 6.</i>	60
<i>Imagen 3.0.13 Conexión de tarjeta DMC01 con receptor RC.</i>	60
<i>Imagen 3.0.14 Sistema de RC OPTIC 6 SPORT</i>	61
<i>Imagen 3.0.15 Control de movimiento adelante/atrás con el transmisor RC.</i>	62
<i>Imagen 3.0.16 Control de movimiento izquierda/derecha del robot.</i>	62
<i>Imagen 3.0.17 Control diferencial para el giro del robot.</i>	63
<i>Imagen 3.0.18 Cámara de visión nocturna</i>	64
<i>Imagen 3.0.19 Montaje del sistema Pant&Tilt para la cámara de visión.</i>	64
<i>Imagen 3.0.20 Control de rotación sistema Pant&Tilt sistema de visión.</i>	65
<i>Imagen 3.0.21 Control de elevación sistema Pant&Tilt sistema de visión.</i>	65
<i>Imagen 3.0.22 Conexión eléctrica de los servomotores del control Pant&Tilt.</i>	66
<i>Imagen 3.0.23 Transmisor de video AOMWAY®.</i>	67
<i>Imagen 3.0.24 Conexión eléctrica del transmisor AOMWAY®.</i>	67
<i>Imagen 3.0.25 Configuración del transmisor a frecuencia de 5860 MHz.</i>	68
<i>Imagen 3.0.26 Monitor SKY-700D de 7" para la recepción de video.</i>	69
<i>Imagen 3.0.27 Configuración del receptor-monitor de video.</i>	70
<i>Imagen 3.0.28 Soporte de aluminio para montaje de monitor FPV.</i>	71
<i>Imagen 3.0.29 Iluminación LED.</i>	71
<i>Imagen 3.0.30 Montaje de la lámpara de iluminación LED sobre el soporte Pant&Tilt.</i>	72
<i>Imagen 3.0.31 Luz laser trasera de seguridad.</i>	73
<i>Imagen 3.0.32 Cinta reflejante frontal.</i>	73
<i>Imagen 3.0.33 Diagrama pictográfico de la batería LiPo 7.4V a 5200 mAh y accesorios.</i>	74



<i>Imagen 3.0.34 Batería LiPo 11.1V a 2200 mAh.</i>	75
<i>Imagen 3.0.35 Indicador de carga para batería LiPo.</i>	75
<i>Imagen 3.0.36 Conexión eléctrica del indicador de batería.</i>	76
<i>Imagen 3.0.37 Cargador/Balanceador iMax B6.</i>	76
<i>Imagen 3.0.38 Diagrama pictográfico del sistema de instrumentación electrónica del robot.</i>	77
<i>Imagen 3.0.39 Sensor de temperatura LM35.</i>	78
<i>Imagen 3.0.40 Diagrama de conexión eléctrica del sensor LM35 al microcontrolador.</i>	79
<i>Imagen 3.0.41 Sensor de Humedad Relativa HMZ433a1.</i>	80
<i>Imagen 3.0.42 Diagrama de conexión eléctrica del sensor HMZ433A 1.</i>	80
<i>Imagen 3.0.43 Sensor de Gas Metano MQ-4.</i>	82
<i>Imagen 3.0.44 Diagrama y dimensiones del Sensor de Gas Metano MQ-4.</i>	82
<i>Imagen 3.0.45 PIC 16F88A.</i>	83
<i>Imagen 3.0.46 Puertos del PIC 16F88A.</i>	84
<i>Imagen 3.0.47 Conexión de los sensores LM35, HMZ y MQ-4 del PIC 16F88A.</i>	84
<i>Imagen 3.0.48 Módulo XBee® S1.</i>	85
<i>Imagen 3.0.49 Conexión del Módulo XBee S1® con PIC.</i>	86
<i>Imagen 3.0.50 Explorador XBee Regulado.</i>	87
<i>Imagen 3.0.51 Explorador XBee Regulado con XBee S1®.</i>	87
<i>Imagen 3.0.52 Interface Software XCTU.</i>	89
<i>Imagen 3.0.53 Interface Software XCTU.</i>	90
<i>Imagen 3.0.54 Interface Software XCTU.</i>	91
<i>Imagen 3.0.55 Interface Software XCTU.</i>	92
<i>Imagen 3.0.56 Interface Software XCTU.</i>	93
<i>Imagen 3.0.57 Interface Software XCTU.</i>	95
<i>Imagen 3.0.58 Interface Software XCTU.</i>	96
<i>Imagen 3.0.59 Interface Software XCTU.</i>	97
<i>Imagen 3.0.60 Interface Software XCTU.</i>	98
<i>Imagen 3.0.61 Interface Software XCTU.</i>	99



<i>Imagen 3.0.62 Interface Software XCTU.....</i>	<i>100</i>
<i>Imagen 3.0.63 Interface Software XCTU.....</i>	<i>101</i>
<i>Imagen 3.0.64 Interface Software XCTU.....</i>	<i>102</i>
<i>Imagen 3.0.65 Interface Software XCTU.....</i>	<i>103</i>
<i>Imagen 3.0.66 Interface Software XCTU.....</i>	<i>104</i>
<i>Imagen 3.0.67 Antena omnidireccional TP-LINK®.....</i>	<i>105</i>
<i>Imagen 3.0.68 Diagrama Pictográfico del Módulo Receptor Portátil.....</i>	<i>106</i>
<i>Imagen 3.0.69 Pantalla LCD 16x2.....</i>	<i>107</i>
<i>Imagen 3.0.70 Logo PIC C Compiler.....</i>	<i>108</i>
<i>Imagen 3.0.71 Hacer un nuevo archivo en PIC C Compiler.....</i>	<i>109</i>
<i>Imagen 3.0.72 Interfaz de Programación en PIC C Compiler.....</i>	<i>110</i>
<i>Imagen 3.0.73 Compilación Correcta en PIC C Compiler.....</i>	<i>111</i>
<i>Imagen 3.0.74 0 Errores 0 Alertas en PIC C Compiler.....</i>	<i>112</i>
<i>Imagen 3.0.75 CE Coordinator Enable.....</i>	<i>114</i>
<i>Imagen 3.0.76 Antena omnidireccional TP-LINK®.....</i>	<i>115</i>
<i>Imagen 3.0.77 Diagrama Pictográfico del Módulo Receptor Portátil en Software Proteus 8.....</i>	<i>116</i>
<i>Imagen 3.0.78 Módulo Receptor Portátil en caja plástica moldeada.....</i>	<i>116</i>
<i>Imagen 4.0.1 Robot WildThumper 6WD® en mina de ópalo.....</i>	<i>118</i>
<i>Imagen 4.0.2 Robot WildThumper a 30° de inclinación.....</i>	<i>119</i>
<i>Imagen 4.0.3 Prueba de Radiocontrol del Robot WildThumper en mina de ópalo.....</i>	<i>120</i>
<i>Imagen 4.0.4 Prueba orográfica del Robot WildThumper en mina de ópalo.....</i>	<i>121</i>
<i>Imagen 4.0.5 Prueba de video del Robot WildThumper en mina de ópalo.....</i>	<i>122</i>
<i>Imagen 4.0.6 Prueba de recepción de datos del Robot WildThumper en mina de ópalo.....</i>	<i>122</i>
<i>Imagen 4.0.7 Robot Móvil en Mina la Negra.....</i>	<i>123</i>
<i>Imagen 4.0.8 Robot Móvil en Mina la Negra.....</i>	<i>123</i>
<i>Imagen 4.0.9 Evento nuevos Talentos en el ITSJR.....</i>	<i>125</i>
<i>Imagen 4.0.10 ExpoCiencias 2015 Universidad de Durango Campus Querétaro.....</i>	<i>126</i>
<i>Imagen 4.0.11 Cecyteq Epitacio Huerta, Michoacán.....</i>	<i>127</i>



Imagen 4.0.12 Ganadores de la ExpoCiencias Nacional 2015 en Tampico Tamaulipas . 128

*Imagen 4.0.13 Foto con el secretario de educación del Estado de Querétaro en UAQ
Campus Querétaro 129*

*Imagen 4.0.14 ExpoCiencias Latinoamericana 2016 sede en el Mazatlán International
Center..... 130*

*Imagen 4.0.15 Congreso Internacional Academia Journals.com con sede en el Instituto
Tecnológico de Celaya 131*

Imagen 4.0.16 Presidencia Municipal de San Juan del Río 132

Imagen 4.0.17 Artículo publicado en el diario oficial del TecNM 133

Imagen 5.0.1 Dimensiones físicas de la estructura WildThumper 6WD® 139

Imagen 5.0.2 Dimensiones físicas de la estructura WildThumper 6WD® 140

Imagen 5.0.3 Dimensiones físicas de la estructura WildThumper 6WD® 141

Imagen 5.0.4 Constancia de primer lugar “Nuevos Talentos.” 142

Imagen 5.0.5 Reconocimiento al 1er lugar en ExpoCiencias Bajío 2015 143

*Imagen 5.0.6 Reconocimiento en la 22° Semana Nacional de Ciencia y Tecnología en
Epitacio Huerta, Michoacán..... 144*

Imagen 5.0.7 Reconocimiento en la ExpoCiencias Nacional 2015..... 145

Imagen 5.0.8 Constancia en la Feria de Divulgación Científica..... 146

Imagen 5.0.9 Reconocimiento en la ExpoCiencias Latinoamericana 2016 147



Índice de Tablas

<i>Tabla 3.1 Descripción de canales tarjeta Pololu® DMC01</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 3.2 Valores de frecuencia de operación del transmisor de video AOMWAY®.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 3.3 Descripción de las bandas y canales de recepción del monitor.</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 3.4 Valores de configuración para el módulo XBee del Receptor Portátil en XCTU.94</i>	
<i>Tabla 3.5 Características eléctricas de la LCD.....</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 3.6 Valores de configuración para el módulo XBee del Receptor Portátil en XCTU</i> <i>.....</i>	<i>113</i>
<i>Tabla 3.7 Características del Robot WildThumper.</i>	<i>124</i>



PROYECTO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

Robot Móvil WildThumper 6WD® para exploración, supervisión y detección de gas metano en minas subterráneas de carbón.

Registrado ante el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (CONCyTEQ), en el Programa de Nuevos Talentos Científicos y Tecnológicos 2016.

DESARROLLADOR:

- Brandon Martínez Hernández

DIRECTOR DE TESIS:

- M. en C. Juan Gabriel Rodríguez Ortiz

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SAN JUAN DEL RÍO

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

Av. Tecnológico No.2 Col. Centro. C.P. 76800 San Juan del Río, Querétaro, México.



ANTECEDENTES

El Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (CONCyTEQ) publica la convocatoria del Programa de Nuevos Talentos Científicos y Tecnológicos 2016 avalado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) a través del Instituto Tecnológico de San Juan del Río. En este programa, se inscribe el proyecto titulado: *“Robot Móvil WildThumper 6WD® para exploración, supervisión y detección de gas metano en minas subterráneas de carbón”* que es la etapa subsecuente del proyecto titulado: *“Vehículo robotizado de exploración para la detección de gas metano en minas de carbón”* que se desarrolló en el año 2015 bajo la misma convocatoria.

En el periodo comprendido entre el verano del 2015 y 2016 se tuvo la oportunidad de presentar el proyecto: *“Vehículo robotizado de exploración para la detección de gas metano en minas de carbón”* en diferentes foros académicos, entre los que podemos mencionar: ExpoCiencias Nacional Tampico-Madero-Altamira 2015 celebrado en el mes de diciembre del 2015, Evento Internacional ESI AMLAT 2016 celebrado en Junio del 2016, Visita guiada a la Mina “La Negra” del grupo peñoles que extrae plata, cobre y zinc en el 2016, 1er. Foro académico 2016 en la Universidad Autónoma de Querétaro, entre otros. En todos ellos, el proyecto fue sometido a riguroso escrutinio por parte de pares académicos de alto nivel e ingenieros calificados de la industria minera quienes con su sabiduría y experiencia retroalimentaron el proyecto en cuestión.

Las observaciones, recomendaciones y áreas de oportunidad hechas por profesores investigadores, académicos y gente con experiencia dentro de la minería hacia el proyecto vigente en ese tiempo, permitieron descubrir un cumulo de ideas que aportarían a un mejor desarrollo del proyecto con el fin de mejorar lo que hasta ese momento se tenía operando.



Habiendo registrado el proyecto: “*Robot Móvil WildThumper 6WD® para exploración, supervisión y detección de gas metano en minas subterráneas de carbón*” como un proyecto de desarrollo tecnológico en la convocatoria del programa de nuevos talentos científicos y tecnológicos 2016 se obtiene el financiamiento económico que permite continuar con el desarrollo del proyecto y así, atender las observaciones hechas en los eventos académicos donde se presentó el proyecto mismas que quedan plasmadas en el presente documento de tesis profesional.



CAPITULO I

“ANTECEDENTES”



1.1 Datos generales de la empresa.

1.1.1 Nombre de la empresa.

Instituto Tecnológico de San Juan del Río.

1.1.2 Dirección y ubicación.

Av. Tecnológico # 2, Col. Centro, San Juan del Río, Querétaro, C.P. 76800. Imagen 1.1

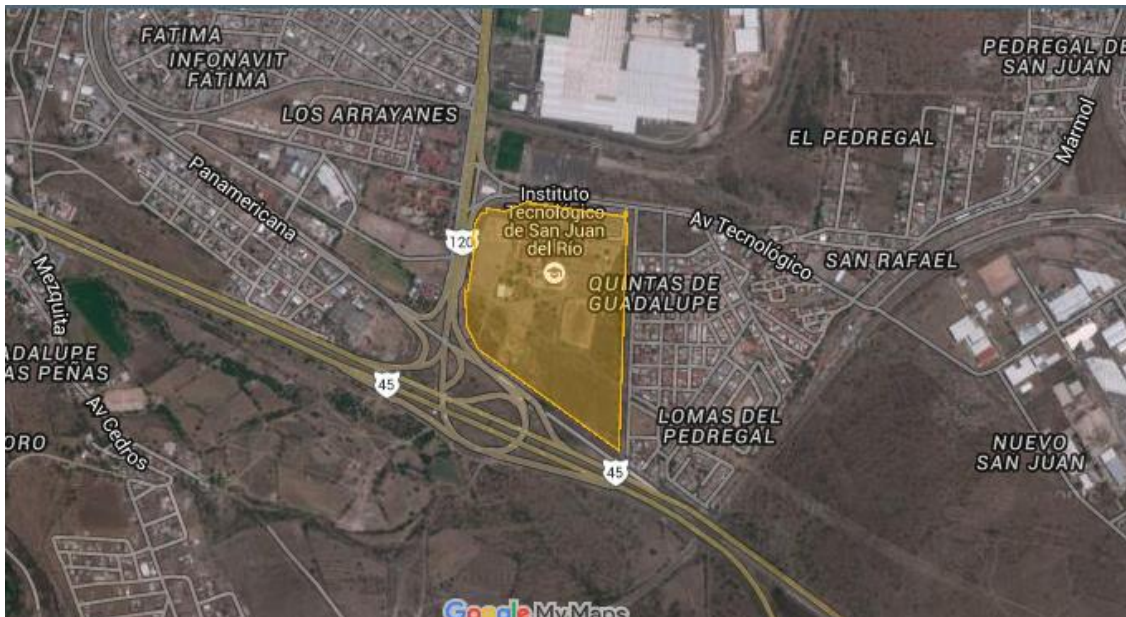


Imagen 1.0.1 Ubicación del INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SAN JUAN DEL RÍO

1.1.3 Giro empresarial.

Servicios de Educación Pública Superior.

1.1.4 Área Específica del proyecto.

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.

1.1.5 Misión y Visión de la Institución.

Misión:

Formar profesionistas competitivos basados en la educación integral y de calidad, con pertinencia y equidad que contribuyan al desarrollo científico y tecnológico con un enfoque global sostenible en beneficio de la sociedad.

Visión:

Ser una institución de educación superior tecnológica modelo y referente, formadora de profesionistas líderes y competentes a nivel global, reconocida por sus programas de vinculación, su calidad educativa y la pertinencia de las carreras en beneficio del desarrollo de la sociedad.

1.2 Objetivos.

1.2.1 Objetivo general.

Construir y poner en operación un prototipo de vehículo móvil robotizado capaz de proporcionar información en tiempo real de las condiciones orográficas, ambientales y de seguridad que guarda el interior de una mina subterránea a fin de planear protocolos de prevención de accidentes que pueden resultar fatales para un trabajador de la industria minera.



1.2.2 Objetivos específicos.

- Implementar dispositivos de instrumentación electrónica que permitan monitorear en tiempo real la temperatura (T) ambiente, la presencia de gas metano (CH₄) y el nivel de humedad (HR) en la zona a fin de determinar las condiciones ambientales presentes en la mina.
- Comunicación inalámbrica para visualizar en una consola portátil los valores en tiempo real de las variables físicas a monitorear en la zona de operación.
- Sistema de alerta visual y auditivo en caso de detección de valores extremos o peligrosos de las variables físicas a monitorear.
- Posibilidad de obtener información en tiempo real en formato de video y/o en formato fotográfico para visualizar las condiciones existentes al interior de la mina a distancia.
- Vehículo radio controlado con mando a distancia para su desplazamiento.
- Sistema de visión mediante cámara digital de alta resolución inalámbrica.
- Sistema pan/tilt para movimientos en la cámara digital.
- Luz led para operación nocturna.
- Fácil de operar y controlar.
- Eliminar el riesgo potencial para el usuario.
- Desarrollo de tecnología propia en el Instituto Tecnológico de San Juan del Río para la materia de robótica.

1.3. Justificación



El trabajo minero es una actividad de alto riesgo para el trabajador; requiere de atención permanente en cuanto a medidas de seguridad se refiere. Así, el minero siempre está expuesto a peligros de derrumbes, explosiones e inhalación de gases tóxicos que pueden resultar fatales en su actividad diaria. En estas condiciones resulta primordial contar con planes de seguridad para evitar, en todo momento, la generación de contingencias que pongan en riesgo la vida del trabajador; siendo esto, la principal preocupación y ocupación de la unidad directiva de la mina.

En esta ocasión, la preocupación se centra en el riesgo de explosión ante la presencia del gas llamado: metano (CH_4). El gas metano es un hidrocarburo alcano incoloro, inodoro, insoluble en agua, altamente explosivo y se produce de manera natural en cavidades con alto contenido de materiales minerales. En minería, el gas metano también se conoce como: “gas grisú”. Ante esto, y como medida de prevención, el cuerpo de seguridad de la mina realiza una inspección “*insitu*” utilizando unos dispositivos llamados: medidores de gas (CH_4) el cual al detectar altos niveles de concentración de gas (arriba de 100 ppm) genera una alerta visual y auditiva. Cuando esto ocurre, se ponen en marcha acciones de prevención que consisten en evacuar la mina del personal presente en la zona y proceder a ventilar la misma con el fin de disipar la acumulación de gas hasta garantizar que la mina sea segura para el trabajador.

Los medidores de gas utilizados para la inspección “*insitu*” son portátiles. Es decir, requieren que un operador los lleve consigo y se introduzca el mismo a la zona de inspección. Al estar el operador inmerso en el área de conflicto entonces siempre se mantiene el riesgo de explosión por acumulación de gas metano con las consecuencias antes descritas.

Por lo anterior, el uso de un robot móvil radio operado dotado de sensores que permitan saber a distancia las condiciones orográficas, ambientales y de seguridad al interior de la mina ayudarían a evitar tener la necesidad de que un operador sea expuesto a la exposición de gas explosivo y con ello salvaguardar su vida y la de los demás.



1.4 Alcance del proyecto.

El proyecto de desarrollo tecnológico que aquí se presenta se ha elaborado hasta la construcción de un prototipo mecánico utilizando la estructura WildThumper 6WD fabricada por DAGU Electrónicos. Esta estructura está hecha de aluminio anodizado con perforaciones de 5 mm de diámetro para sujetar tarjetas o dispositivos electrónicos al chasis. Utiliza 6 ruedas de caucho controladas cada una con un motor de cd unido a una caja de engranes para darle fuerza al movimiento. Cada rueda tiene un sistema de suspensión independiente a fin de garantizar que al menos un par de ruedas siempre estén en contacto con la superficie y con ello evitar atascamientos. El chasis se ha convertido en robot a través de un sistema de control por radio frecuencia que determina el movimiento de las ruedas en modo diferencial. Además, se le han incluido un sistema inalámbrico de instrumentación electrónica que consiste en un detector de temperatura, un sensor de humedad, un sensor de gas metano y una cámara de visión; como complemento al sistema de visión se ha incluido una lámpara de luz blanca tipo led que potencializa la definición en la imagen de la propia cámara.

Los datos provenientes de los sensores a distancia serán recibidos en un sistema portátil con pantalla LCD donde se visualizan los valores de la medición en tiempo real además de contar con un sistema de alarmas visual y audible al operador.

La fuente de alimentación al robot se ha tomado de un par de baterías tipo Li-Po debido a su alto rendimiento y reducido volumen.

Una vez integrados todos los elementos se ha obtenido un vehículo robotizado tipo todoterreno a control remoto capaz de detectar las condiciones al interior de la mina.



CAPITULO II

“MARCO TEORICO”



2.1 Introducción.

Durante los últimos cincuenta años, la robótica no sólo ha incursionado en la industria, centros de investigación, universidades y hospitales, actualmente existen fábricas completamente automatizadas mediante robots manipuladores. Hoy en día, la robótica es tan familiar que se pueden encontrar robots en el hogar realizando tareas domésticas. No obstante, se considera como un área joven en constante crecimiento. (Cortés, 2011)

La naturaleza multidisciplinaria de la robótica permite involucrar una gran cantidad de áreas del conocimiento tales como: matemáticas, informática, electricidad, ingeniería de control, electrónica, Inteligencia artificial, mecánica entre otras, como se muestra en la figura 2.0.1

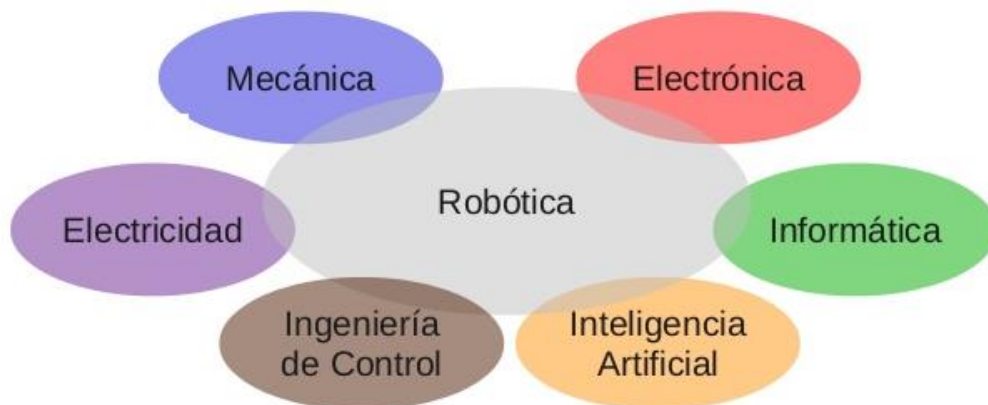


Imagen 2.0.1 Naturaleza multidisciplinaria de la Robótica

Por otro lado, aun cuando la robótica es un área eminentemente experimental todos sus resultados están sustentados con un estricto rigor científico.

Así, la **robótica** se define como una disciplina dedicada al estudio, diseño, realización y manejo de los robots. (Almeida, 2009). Por otra parte, el termino **robot** proviene de la palabra “Robota” que significa: “trabajo forzado”, se ha utilizado desde que el checo Karel Capek (figura 2.0.2) lo introdujo en su obra de teatro de ciencia ficción llamada Rossums Universal Robots (R.U.R) en 1920 para referirse a unos hombres artificiales con “inteligencia propia”.



Imagen 2.0.0.2 Karel Capek (1890-1930).

Desde entonces, el termino robot tiene varias definiciones; entre las que están:

El **Instituto de Robótica de América** (RIA) definió el robot como: un manipulador reprogramable y multifuncional diseñado para mover materiales, partes herramientas o dispositivos especializados a través de varios movimientos programados para el desarrollo de una variedad de tareas.

La **Real Academia Española** (RAE) define la palabra robot (del inglés robot, y este del checo “Robota”, (trabajo forzado)) como una máquina o ingenio electrónico programable, capaz de manipular objetos y realizar operaciones antes reservadas solo a las personas. (Española, 2015)

Desde entonces, el termino robot tiene varias definiciones; entre las que están:

La **Asociación Japonesa de Robótica Industrial (JIRA)** define robot como: Dispositivos capaces de moverse de modo flexible análogo al que poseen los organismos vivos, con o sin funciones intelectuales, permitiendo operaciones en respuesta a las ordenes humanas.

El **Instituto de Robótica de América (RIA)** define robot industrial como: Un manipulador multifuncional y programable diseñado para desplazar materiales, componentes, herramientas o dispositivos especializados por medio de movimientos programados variables con el fin de realizar tareas diversas.

Anteriormente la robótica se concentraba en la industria manufacturera del área automotriz dentro de sus líneas de producción ya que esto permite una mejor eficiencia, mayor productividad, ahorro de tiempo, menor gasto y mano de obra calificada. En los años sesenta tuvo más influencia en la industria de forma más significativa haciendo que los robots manipuladores formaran parte del proceso productivo en diferentes áreas, como se muestra en la figura 2.0.3



Imagen 2.0.3 Robot industrial para soldadura.

Hoy en día, los robots han incursionado en otras áreas como lo son: la milicia, la exploración, la minería, entre otras.

2.2 Robots Móviles.

Según el MRG (Mobile Robot Group), de la Universidad de Oxford, define a un robot móvil como una máquina automática que es capaz de trasladarse en cualquier ambiente dado.

Los robots móviles pueden ser clasificados de acuerdo con el medio en el que se desplacen siendo estos: aéreos, terrestres y marinos (figura 2.0.4).



Imagen 2.0.4 Robots aéreo, terrestre, marino.

Así mismo, los robots se clasifican en función de su sistema de locomoción mecánica (figura 2.0.5) en:

- Con ruedas
- Con orugas
- Con patas



Imagen 2.0.5 Robots con ruedas, con orugas con patas

2.3 Sistemas de locomoción para un robot móvil.

El sistema de locomoción es una de las primeras características de un robot que está condicionada por su entorno. Los robots móviles emplean diferentes tipos de locomoción; algunos más complejos que otros, pero aun así siguen siendo más comunes los sistemas que emplean ruedas debido a sus características mecánicas y propiedades referentes a la eficiencia energética, dimensiones, maniobrabilidad, entre otras. (Baturone, 2001)

En función de su sistema de locomoción, los robots móviles también se clasifican en (figura 2.0.6):

- Diferencial
- Eckermann
- Triciclo
- Skid steer
- Síncrona
- Omnidireccionales

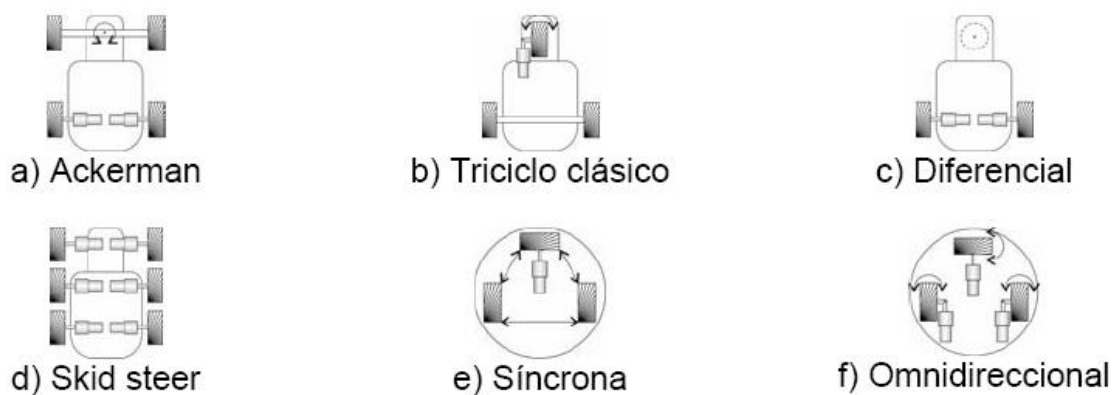


Imagen 2.0.6 Configuraciones del sistema de locomoción de un robot móvil.

En el presente documento, se hace hincapié en los robots en configuración diferencial dada la morfología mecánica del robot a desarrollar.

2.4 Robots móviles con ruedas tipo diferencial.

El sistema de locomoción más simple en muchos aspectos es el sistema diferencial. Consiste en al menos dos ruedas colocadas de manera simétrica y paralelas que permiten que una estructura pueda avanzar, retroceder, girar izq. /dar o girar sobre sí mismo (imagen 2.0.7).

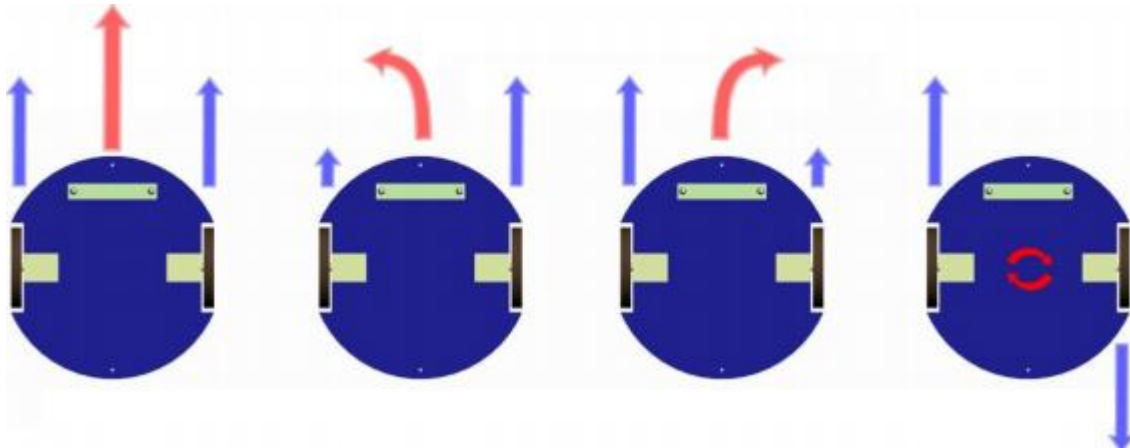


Imagen 2.0.7 Movimientos avanzar, girar izq. /der y girar sobre sí mismo.

El sistema diferencial tiene una gran ventaja respecto a otros sistemas como triciclo; su posición es independiente de su orientación, lo que supone una gran ventaja en determinadas aplicaciones. El principal problema es el equilibrio del robot y para resolverlo se utilizan uno o dos puntos de apoyo adicionales, por ejemplo, la utilización de un número mayor de ruedas dispuestas en paralelo con la estructura mecánica.

2.5 Modelo matemático del robot diferencial.

Para el análisis cinemático de un robot móvil de tracción diferencial se tiene en cuenta las dimensiones: L que es la longitud entre las dos ruedas del vehículo y r es el radio de las ruedas como se ve en la figura 2.0.8

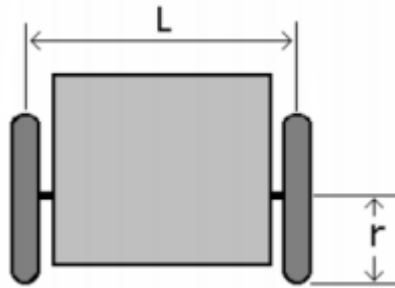


Imagen 2.0.8 Parámetros cinemáticos básicos del robot diferencial.

Para el modelo se supone que su desplazamiento es en dos dimensiones, en la figura 2.0.9 se muestra la localización del robot en el punto (x, y) donde “ v ” es la velocidad lineal del móvil y, “ v_L ” y “ v_R ” la velocidad tangencial de cada una de las ruedas. (Calandín, 2008)

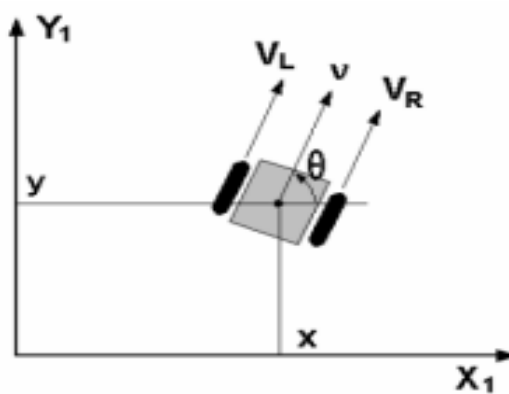


Imagen 2.0.9 Representación de desplazamientos del robot diferencial.

Para determinar la posición se pueden utilizar algunos métodos como son las matrices de rotación y translación.

Se puede obtener el modelo matemático para determinar la posición de un móvil de tracción diferencial a partir de las velocidades “Vl” y “Vr”, las cuales se obtienen con la ecuación No. 1

$$Vl = w_l \cdot r; Vr = w_r \cdot r \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 1}$$

En donde “wl” y “wr” son las velocidades angulares de cada rueda. Las velocidades lineales y angulares del robot se obtienen con las ecuaciones No. 2 y 3, respectivamente.

$$v = \frac{Vr + Vl}{2} = \frac{(w_r + w_l) \cdot r}{2} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 2}$$

$$w = \frac{Vr - Vl}{L} = \frac{(w_r - w_l) \cdot r}{L} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 3}$$

Sabiendo que el robot se mueve en una superficie plana, sin deslizamiento y que los ejes de las ruedas son perpendiculares a la superficie plana, se puede demostrar que si $p = [x \text{ y } \theta]$ es el vector de coordenadas del punto guía del robot y la orientación del mismo y si $q' = [v, w]$ es el vector de la velocidad lineal y angular del móvil, se puede escribir la ecuación No. 4

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\text{sen}(\theta) & 0 \\ \text{cos}(\theta) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} v \\ w \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 4}$$



Ahora sustituyendo la ecuación “2” y “3” en la ecuación “4” se obtiene la ecuación “5”:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r \cdot \text{sen}(\theta)/2 & -r \cdot \text{sen}(\theta)/2 \\ r \cdot \text{cos}(\theta)/2 & r \cdot \text{cos}(\theta)/2 \\ -r/L & r/L \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_l \\ w_r \end{bmatrix}$$

.....Ecuación 5

2.6 Microcontrolador PIC 16F88A

Debido a la utilización de sensores electrónicos requerimos de un circuito integrado programable que sea capaz de procesar la información de los parámetros arrojados por los sensores de temperatura (LM35), humedad relativa (HMZ433A1) y gas metano (MQ-4).

El microcontrolador (μC) es un computador completo, aunque de limitadas prestaciones, que está contenido en el chip de un circuito integrado programable y se destina a gobernar una sola tarea con el programa que reside en su memoria. Sus líneas de entrada/salida soportan el conexionado de los sensores y actuadores del dispositivo a controlar. Las partes principales de un microcontrolador son: (Inc., 1988)

- Procesador: La necesidad de conseguir elevados rendimientos en el procesamiento de las instrucciones ha desembocado en el empleo generalizado de procesadores de arquitectura Harvard frente a las tradicionales que seguían la arquitectura Von Neumann.
- Memoria no volátil para contener el programa:
Hay cinco tipos de memoria para soportar estas función, estas son:

1. ROM. Se graba el chip durante su fabricación, implica costos altos y solo se recomienda cuando se produce en serie.
2. EPROM. Se graba con un dispositivo que es gobernado mediante un computador personal.
3. OTP. Se graba por el usuario igual que la memoria EPROM, a diferencia de la EPROM la
4. OTP se puede grabar solamente una vez.
5. EEPROM. La grabación es similar a la de las memorias EPROM y OTP, la diferencia es que el borrado se efectúa de la misma forma que el grabado, o sea eléctricamente. FLASH. Posee las mismas características que la EEPROM, pero esta tiene menor consumo de energía y mayor capacidad de almacenamiento. Memoria de lectura y escritura para guardar los datos Algunos microcontroladores manejan la memoria RAM estática (SRAM), otros como el PIC16F84A disponen de una memoria de datos del tipo EEPROM. (Inc., 1988)
 - Línea de E/S para los controladores de periféricos
 - Comunicación paralelo
 - Comunicación serial

2.6.1 Esquema de diseño de Un Microcontrolador.

En las siguientes imágenes (2.0.10 y 2.0.11) se muestra los diferentes tipos de arquitecturas y el diagrama de bloque de un Microcontrolador:

Arquitectura Von Neumann

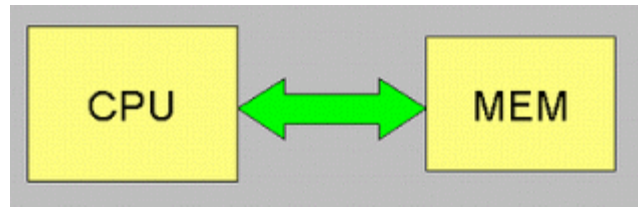


Imagen 2.0.10 Arquitectura Von Neumann

Arquitectura Harvard

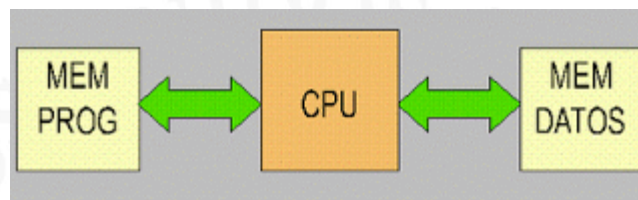


Imagen 2.0.11 Arquitectura Harvard

2.6.2 El catálogo actual de Familias de Microcontroladores PIC

- Familia PIC10F20x 4 Dispositivos
- Familia PIC12CXXX/12FXXX (12/14 bits) 8 Dispositivos
- Familia PIC16C5X (12 bits) 9 Dispositivos
- Familia PIC16CXXX/16FXXX (14 bits) 74 Dispositivos
- Familia PIC17CXXX (16 bits) 7 Dispositivos
- Familia PIC18CXXX/18FXXX (16 bits) 82 Dispositivos

2.7 Pantalla LCD 16x2

El LCD (Diodo de Cristal Líquido) o pantalla de cristal líquido (imagen 2.0.12) es un dispositivo empleado para la visualización de contenidos o información de una forma gráfica, mediante caracteres, símbolos o pequeños dibujos dependiendo del modelo. Está gobernado por un microcontrolador el cual dirige todo su funcionamiento.

En este caso vamos a emplear un LCD de 16x2, esto quiere decir que dispone de 2 filas de 16 caracteres cada una. Los píxeles de cada símbolo o carácter, varían en función de cada modelo. (Salas, 2013)

En la siguiente imagen de Proteus se puede observar la estructura de sus pines. Lo podemos dividir en los Pines de alimentación, pines de control y los pines del bus de datos bidireccional. Por lo general podemos encontrar además en su estructura los pines de Ánodo de led backlight y cátodo de led backlight.

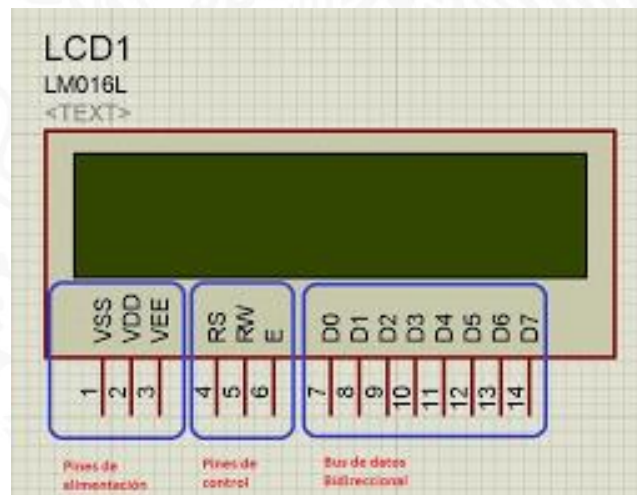


Imagen 2.0.12 Pantalla LCD 16x2 extraída del software Proteus

2.7.1 Pines de control:

RS: Corresponde al pin de selección de registro de control de datos (0) o registro de datos (1). Es decir, el pin RS funciona paralelamente a los pines del bus de datos. Cuando RS es 0 el dato presente en el bus pertenece a un registro de control/instrucción. y cuando RS es 1 el dato presente en el bus de datos pertenece a un registro de datos o un carácter.

RW: Corresponde al pin de Escritura (0) o de Lectura (1). Nos permite escribir un dato en la pantalla o leer un dato desde la pantalla.

E: Corresponde al pin Enable o de habilitación. Si E (0) esto quiere decir que el LCD no está activado para recibir datos, pero si E (1) se encuentra activo y podemos escribir o leer desde el LCD.

2.7.2 Pines de Bus de datos:

El Bus de datos bidireccional comprende desde los pines D0 a D7. Para realizar la comunicación con el LCD podemos hacerlo utilizando los 8 bits del bus de datos (D0 a D7) o empleando los 4 bits más significativos del bus de datos (D4 a D7). En este caso vamos a explicar la comunicación con el bus de 4 bits.

2.7.3 La librería del LCD

Para poder visualizar los caracteres o símbolos en el LCD es necesario que en el programa de código fuente a emplear, incluyamos la librería de este. En este caso empleamos la librería "lcd.c", la cual hemos modificado. Siempre que utilicemos una librería de este tipo tendremos que analizarla para saber cuáles son los pines de control y los pines para el Bus de datos, en este caso podemos observar que están definidos al comienzo de la misma.



```
#define LCD_ENABLE_PIN PIN_D0
#define LCD_RS_PIN    PIN_D1
#define LCD_RW_PIN    PIN_D2
#define LCD_DATA4     PIN_D4
#define LCD_DATA5     PIN_D5
#define LCD_DATA6     PIN_D6
#define LCD_DATA7     PIN_D7
```

En el resto de la librería se puede encontrar todas las estructuras necesarias, así como las funciones que nos permiten utilizar nuestro LCD. Podemos encontrar funciones como:

lcd_init: inicializa el lcd.

lcd_gotoxy: establece la posición de escritura en el lcd.

lcd_putc: nos muestra un dato en la siguiente posición del lcd, podemos emplear funciones como `\f` para limpiar el display, `\n` cambio a la segunda línea, `\b` mueve una posición atrás.

lcd_getc (x,y): devuelve caracteres a la posición x,y. Otras funciones: `lcd_send_nibble (BYTE n)`, `lcd_send_byte (BYTE address, BYTE n)`.



2.8 Comunicación ZigBee y Módulo XBee S1®

ZigBee es un protocolo de comunicaciones inalámbrico basado en el estándar de comunicaciones para redes inalámbricas IEEE_802.15.4. Creado por ZigBee Alliance, una organización, teóricamente sin ánimo de lucro, de más de 200 grandes empresas (destacan Mitsubishi, Honeywell, Philips, Invensys, entre otras), muchas de ellas fabricantes de semiconductores.

ZigBee permite que dispositivos electrónicos de bajo consumo puedan realizar sus comunicaciones inalámbricas. Es especialmente útil para redes de sensores en entornos industriales, médicos y, sobre todo, domóticos.

Las comunicaciones ZigBee se realizan en la banda libre de 2.4GHz. A diferencia de bluetooth, este protocolo no utiliza FHSS (Frequency hopping), sino que realiza las comunicaciones a través de una única frecuencia, es decir, de un canal. Normalmente puede escogerse un canal de entre 16 posibles. El alcance depende de la potencia de transmisión del dispositivo, así como también del tipo de antenas utilizadas (cerámicas, dipolos, etc.) El alcance normal con antena dipolo en línea vista es de aproximadamente (tomando como ejemplo el caso de MaxStream, en la versión de 1mW de potencia) de 100m y en interiores de unos 30m. La velocidad de transmisión de datos de una red Zigbee es de hasta 256kbps.

El uso del protocolo Zigbee va desde reemplazar un cable por una comunicación serial inalámbrica (imagen 2.0.13), hasta el desarrollo de configuraciones punto a punto, multipunto, peer-to-peer (todos los nodos conectados entre sí) o redes complejas de sensores. Una conexión típica se muestra en la figura, donde se observa que cada módulo XBee posee algún tipo de sensor, el cual entrega los datos para ser enviados a través de la red a un Centro que administre la información. (Ojeda, 2018)



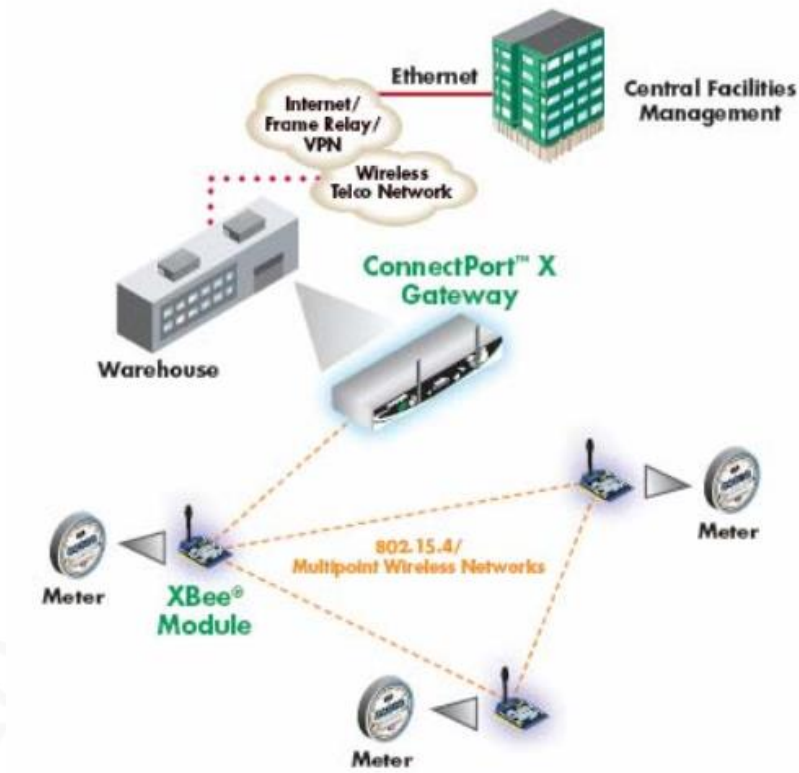


Imagen 2.0.13 Conexión típica usando Módulo XBee

Los XBee´s (imagen 2.0.14) son pequeñísimos chips azules capaces de comunicarse de forma inalámbrica unos con otros. Pueden hacer cosas simples, como reemplazar un par de cables en una comunicación serial, lo cual es genial cuando deseas crear, por ejemplo, un vehículo radiocontrolado. Integrados que brindan un medio inalámbrico para la interconexión y comunicación entre dispositivos, fueron diseñados para aplicaciones que requieren de un alto tráfico de datos, baja latencia y una sincronización de comunicación predecible.



Imagen 2.0.14 Módulo XBee

Entre las necesidades que satisface el módulo se encuentran:

- Bajo costo.
- Ultra-bajo consumo de potencia.
- Uso de bandas de radio libres y sin necesidad de licencias.
- Instalación barata y simple.
- Redes flexibles y extensibles.

2.8.1 Modos de operación de un XBee®

Los módulos XBee, pueden operar en los siguientes 5 modos (imagen 2.0.15):

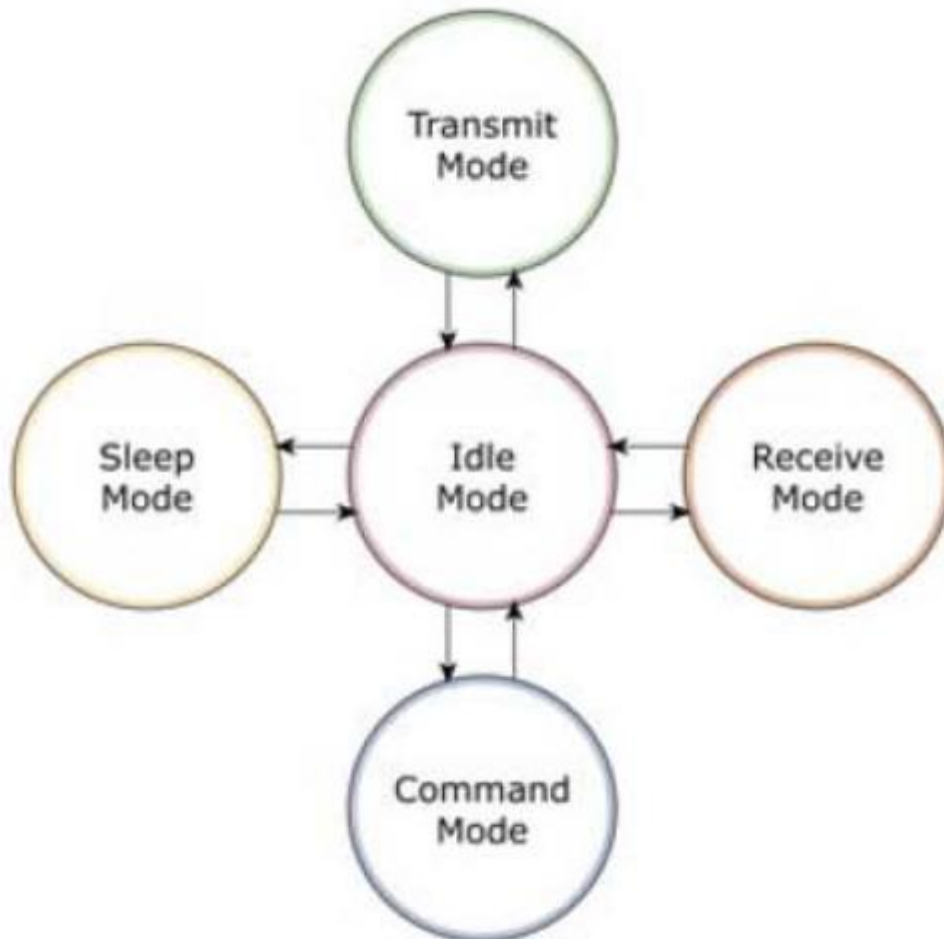


Imagen 2.0.15 Modos de Operación de un módulo XBee

2.8.1.1 Modo Recibir/Transmitir

Se encuentra en estos modos cuando el módulo recibe algún paquete RF a través de la antena (modo Receive) o cuando se envía información serial al buffer del pin 3 (UART Data in) que luego será transmitida (modo Transmit).

La información transmitida puede ser Directa o Indirecta. En el modo directo la información se envía inmediatamente a la dirección de destino. En el modo Indirecto la información es retenida por el módulo durante un período de tiempo y es enviada sólo cuando la dirección de destino la solicita.

Además, es posible enviar información por dos formas diferentes. Unicast y Broadcast. Por la primera, la comunicación es desde un punto a otro, y es el único modo que permite respuesta de quien recibe el paquete RF, es decir, quien recibe debe enviar un ACK (paquete llamado así, y que indica que recibió el paquete, el usuario no puede verlo, es interno de los módulos) a la dirección de origen. Quien envió el paquete, espera recibir un ACK, en caso de que no le llegue, reenviará el paquete hasta 3 veces o hasta que reciba el ACK.

2.8.1.2 Modo Bajo Consumo (Sleep Mode)

El modo de Bajo Consumo o modo Sleep, corresponde cuando el módulo entra en un estado de bajo consumo de energía. Esto depende de la configuración en la que se encuentra. Se debe indicar que el ahorro de energía depende enormemente del voltaje de alimentación.

2.8.1.3 Modo Comando

Este modo permite ingresar comandos AT al módulo XBee, para configurar, ajustar o modificar parámetros. Permite ajustar parámetros como la dirección propia o la de destino, así como su modo de operación entre otras cosas. Para poder ingresar los comandos AT es necesario utilizar el Hyperterminal de Windows, el programa X-CTU4 o algún microcontrolador que maneje UART y tenga los comandos guardados en memoria o los adquiera de alguna otra forma.

2.8.1.4 Modo Transparente

En este modo todo lo que ingresa por el pin 3 (Data in), es guardado en el buffer de entrada y luego transmitido y 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 por defecto 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 usa para reemplazar alguna conexión serial por cable, ya que es la configuración más sencilla posible y no requiere una mayor configuración.

En este modo, la información es recibida por el pin 3 del módulo XBee, y guardada en el buffer de entrada. Dependiendo de cómo se configure el comando RO, se puede transmitir la información apenas llegue un carácter (RO=0) o después de un tiempo dado sin recibir ningún carácter serial por el pin 3. En ese momento, se toma lo que se tenga en el buffer de entrada, se empaqueta, es decir, se integra a un paquete RF, y se transmite.

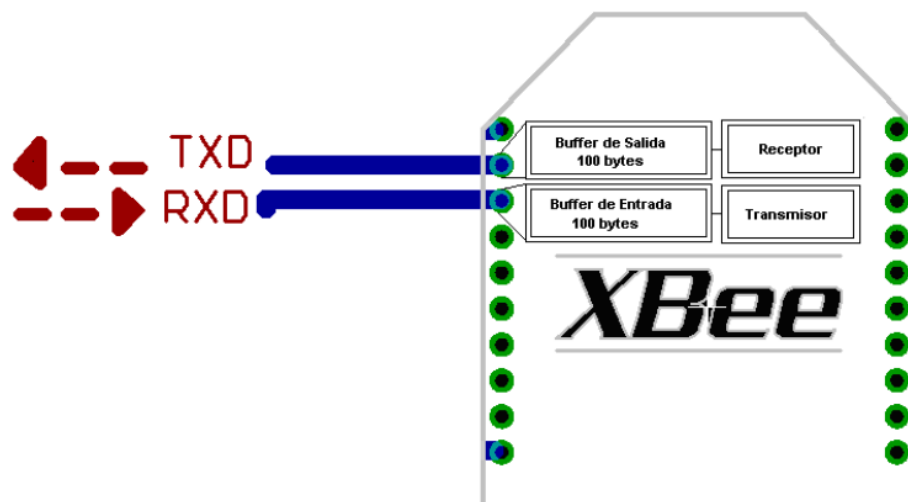


Imagen 2.0.16 Pines de Transmisión y Recepción de datos del Módulo XBee

2.8.1.5 Modo de Operación API

Este modo es más complejo, pero permite el uso de frames con cabeceras que aseguran la transmisión de los datos, al estilo TCP. Extiende el nivel en el cual la aplicación del cliente puede interactuar con las capacidades de red del módulo.

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.

Así, un frame de Transmisión de Información (información recibida por el pin 3 o DIN) 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.
- Notificaciones de eventos como Reset, ODEM do, Disassociate, etc.

Esta API, provee alternativas para la configuración del módulo y ruteo de la información en la capa de aplicación del cliente. Un cliente puede enviar información al módulo XBee. Estos datos serán contenidos en un frame cuya cabecera tendrá información útil referente al módulo.

Esta información además se podrá configurar, esto es, en vez de estar usando el modo de comandos para modificar las direcciones, la API lo realiza automáticamente. El módulo así enviará paquetes de datos contenidos en frames a otros módulos de destino, con información a sus respectivas aplicaciones, conteniendo paquetes de estado, así como el

origen, RSSI (potencia de la señal de recepción) e información de la carga útil de los paquetes recibidos.

Entre las opciones que permite la API, se tienen:

- 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.

2.8.1.6 Modo IDLE

Cuando el módulo no se está en ninguno de los otros modos, se encuentra en éste. Es decir, si no está ni transmitiendo ni recibiendo, ni ahorrando energía ni en el modo de comandos, entonces se dice que se encuentra en un estado al que se le llama IDLE.

2.9 Software XCTU

En nuestro vehículo robotizado habrá un módulo XBee® S1 que cumplirá la función de ser un transmisor de los parámetros (gas metano, humedad y temperatura) a su vez el operador del vehículo robotizado en el módulo receptor tendrá otro módulo XBee complementario que cumplirá la función de ser un receptor. Dicho esto, es necesaria la utilización de un software que nos permita programar los módulos XBee® S1 uno como emisor y el otro como receptor.

XCTU (imagen 2.0.17) es una aplicación gratuita multiplataforma diseñada para permitir a los desarrolladores interactuar con módulos Digi RF a través de una interfaz gráfica fácil de usar. Incluye nuevas herramientas que facilitan la configuración, configuración y prueba de los módulos XBee® RF. (DIGI, 1996)





Imagen 2.0.17 Logo Xctu Software

XCTU incluye todas las herramientas que un desarrollador necesita para comenzar a trabajar rápidamente con XBee®. Funciones únicas como la vista de red gráfica, que representa gráficamente la red XBee® junto con la potencia de la señal de cada conexión, y el generador de cuadros XBee® API, que ayuda a construir e interpretar marcos API para XBee's que se usan en modo API, se combinan para hacer el desarrollo en la plataforma XBee es más fácil que nunca.

2.10 Antena Omnidireccional del Módulo XBee® S1

Una antena es un dispositivo (conductor metálico) usado para las transmisiones en frecuencias AM o FM, diseñado con el objetivo de emitir y/o recibir ondas electromagnéticas hacia el espacio libre. Una antena transmisora transforma energía eléctrica en ondas electromagnéticas, y una receptora realiza la función inversa. (WINI, 2018)

Existen varias características importantes de una antena que deben de ser consideradas al momento de elegir una específica para su aplicación:

- Patrón de radiación
- Ganancia
- Directividad
- Polarización

2.10.1 Patrones de Radiación

El patrón de radiación de una antena se puede representar como una gráfica tridimensional de la energía radiada vista desde fuera de esta. Los patrones de radiación usualmente se representan de dos formas, el patrón de elevación y el patrón de azimuth. El patrón de elevación es una gráfica de la energía radiada por la antena vista de perfil. El patrón de azimuth es una gráfica de la energía radiada vista directamente desde arriba. Al combinar ambas gráficas se tiene una representación tridimensional de cómo es realmente radiada la energía desde la antena como se aprecia en la figura 2.0.18

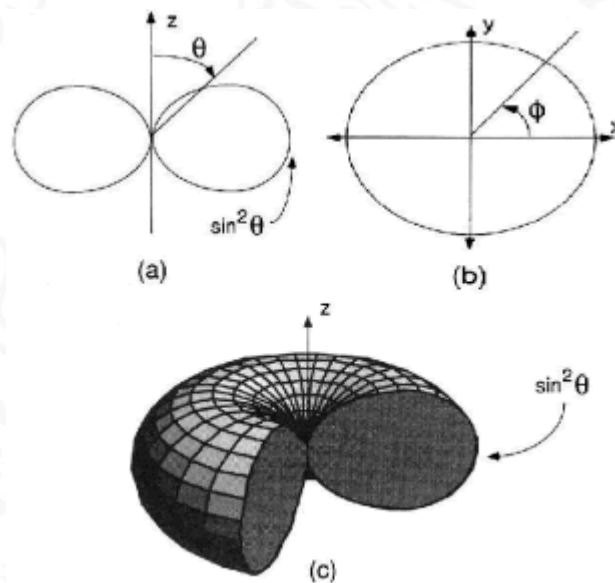


Imagen 2.0.18 a) Patrón de elevación de un dipolo genérico b) Patrón de azimuth de un dipolo genérico c) Patrón de radiación 3D

2.10.2 Ganancia

La ganancia de una antena es la relación entre la potencia que entra en una antena y la potencia que sale de esta. Esta ganancia es comúnmente referida en dBi's, y se refiere a la comparación de cuanta energía sale de la antena en cuestión, comparada con la que saldría de una antena isotrópica. Una antena isotrópica es aquella que cuenta con un patrón de radiación esférico perfecto y una ganancia lineal unitaria.

2.10.3 Directividad

La directividad de la antena es una medida de la concentración de la potencia radiada en una dirección particular. Se puede entender también como la habilidad de la antena para direccionar la energía radiada en una dirección específica. Es usualmente una relación de intensidad de radiación en una dirección particular en comparación a la intensidad promedio isotrópica.

2.10.4 Polarización

Es la orientación de las ondas electromagnéticas al salir de la antena. Hay dos tipos básicos de polarización que aplican a las antenas, como son: Lineal (incluye vertical, horizontal y oblicua) y circular (que incluye circular derecha, circular izquierda, elíptica derecha, y elíptica izquierda). No olvide que tomar en cuenta la polaridad de la antena es muy importante si se quiere obtener el máximo rendimiento de esta. La antena transmisora debe de tener la misma polaridad de la antena receptora para máximo rendimiento.



2.10.5 Tipos de antenas

Hay varios tipos de antenas. Los más relevantes para aplicaciones en bandas libres son:

- Antenas Dipolo
- Antenas Dipolo multi-elemento
- Antenas Yagi
- Antenas Panel Plano (Flat Panel)
- Antenas parabólicas (plato parabólico)

2.10.6 Decibeles

La razón básica de utilizar antenas es porque tienen "ganancia" en otras palabras, incrementan la fuerza de la señal. Nótese que no crean energía mágicamente, solo dirigen o enfocan las señales de radio en un haz más estrecho del mismo modo que una lámpara sorda lo hace. A mayor ganancia, se obtiene un haz más estrecho con potencia concentrada, pero solo en cierta zona.

La ganancia de una antena se puede entender en términos de la relación entre entrada y salida - de 1 a 2, 1 a 3, 1 a 4, etc. - esto es debido a que la ganancia es independiente de la potencia. En otras palabras, una antena que duplica la fuerza de la señal de un amplificador de un watt también duplicará la fuerza de la señal de un amplificador de 10 watts.

Del mismo modo, las atenuaciones o pérdidas también son independientes de la potencia y así un mal cable que atenúa la mitad convertirá un watt en medio watt y diez watts en cinco watts.

Como vimos antes es fácil entender las ganancias y atenuaciones en términos de cuanto se gana o pierde comparado contra un valor inicial. Con el fin de simplificar el problema anterior se utilizan los decibeles (dB), los cuales son una representación de la relación de ganancia o pérdida en un sistema. Lo bueno de usar decibeles es que en vez de multiplicar y dividir ganancias y pérdidas respectivamente solo sumamos o restamos



decibeles. (Ganancia es un número positivo en decibeles y Pérdida es un número negativo en decibeles). Así pues, si tengo una antena de 15 dB de ganancia con una pérdida de 3 decibeles en el cable y 2 decibeles en conectores, la ganancia de mi sistema es de un total de 10 dBs (15 dBs (antena) -3 (cable) -2 (conectores) = 10 dB (total)).

2.11 Software PIC C Compiler

PIC C Compiler es un inteligente y muy optimizado compilador C que contienen operadores estándar del lenguaje C y funciones incorporados en bibliotecas que son específicas a los registros de PIC, proporcionando a los desarrolladores una herramienta poderosa para el acceso al hardware las funciones del dispositivo desde el nivel de lenguaje C. (Silva, 2016)

El compilador CCS contiene más de 307 funciones integradas que simplifiquen el acceso al hardware, mientras que la producción eficiente y altamente optimizado código. Se incluyen funciones de hardware del dispositivo de características tales como:

- Temporizadores y módulos PWM
- Convertidores A / D de datos on-chip EEPROM
- LCD controladores
- Memoria externa buses



Imagen 2.0.19 Software PIC C Compiler

CAPITULO III

“DESARROLLO”



3.1 Metodología del proyecto.

El proyecto de desarrollo tecnológico que ahora se expone se representa a través de un par de pictografías donde se muestran los diferentes elementos mecánicos, eléctricos, electrónicos, telemétricos y de control que integran el robot móvil. A partir de estas pictografías se procede a realizar la descripción correspondiente. La figura 3.0.1 muestra los elementos que integran el robot móvil.

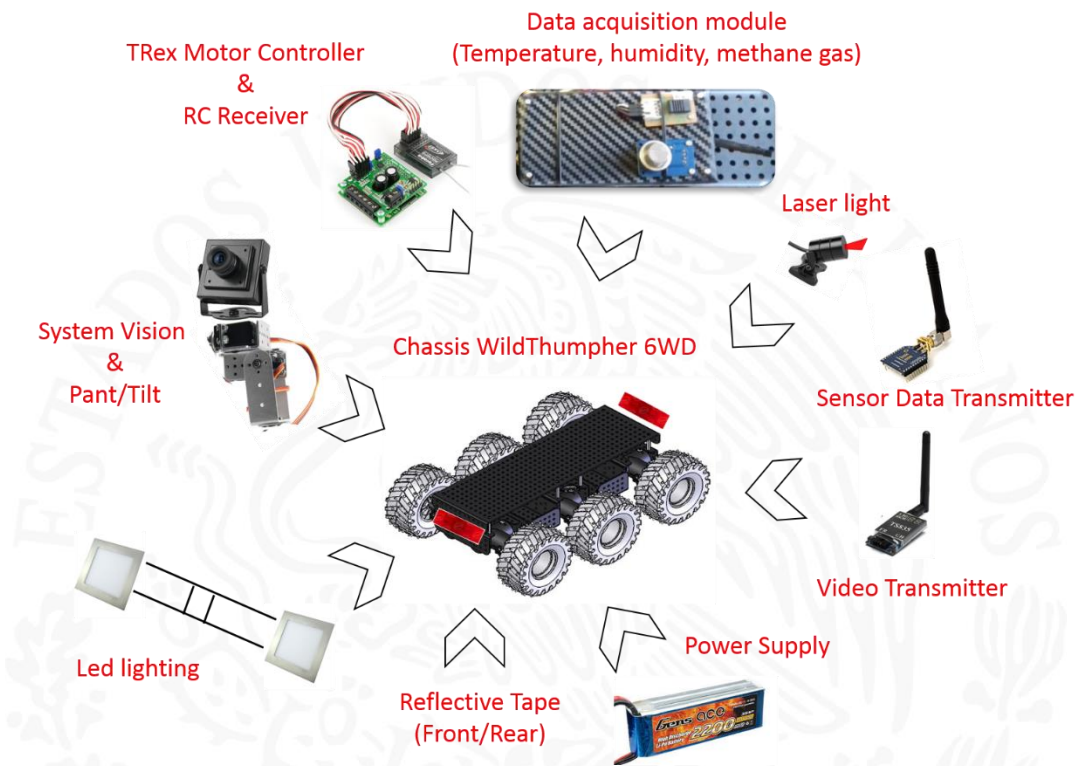


Imagen 3.0.1 Pictografía del robot móvil.

El robot móvil es controlado por un operador a través de un sistema de radio control comercial donde se tiene instalado un monitor a fin de observar en tiempo real el formato de video y así lograr la manipulación del robot, según se muestra en la figura 3.0.2



Imagen 3.0.2 Sistema de control y monitoreo.

Finalmente, la figura 3.0.3 muestra el módulo portátil con pantalla LCD donde se reciben y se muestran los datos de los sensores instalados en el robot móvil.

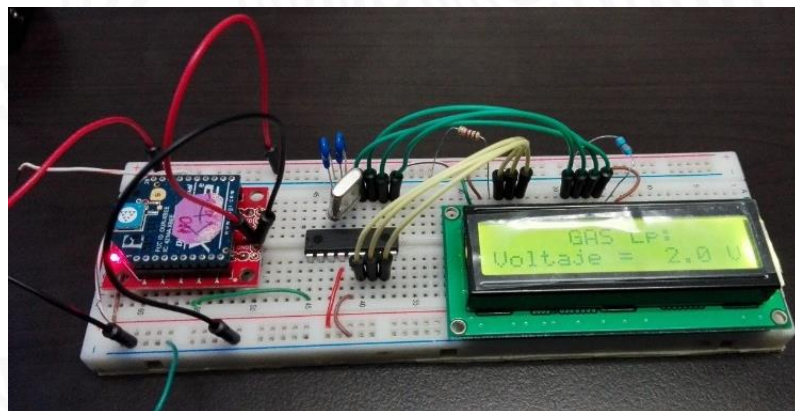


Imagen 3.0.3 Receptor inalámbrico de datos (Temperatura, humedad, gas monóxido de carbono)

3.2. Descripción de la estructura mecánica.

3.2.1 Chasis WildThumper 6WD®

El chasis por utilizar que se muestra en la figura 3.0.4, se adquiere a través del portal mexicano de internet identificado como Robo acta (www.robodacta.com.mx) y lo comercializa la compañía DAGU Electronics®.



Imagen 3.0.4 Chasis WildThumper 6WD®

El chasis viene preparado para armar según se muestra en la figura 3.0.5 y consiste en una placa de aluminio anodizado de 2 mm de espesor, con resistencia a la corrosión. Todo el chasis está perforado con agujeros de montaje de 4 mm de diámetro a fin de que se pueda soportar la electrónica de control, sensores y hardware adicional; con una capacidad de carga máxima recomendada de 5 kg (11 lb).

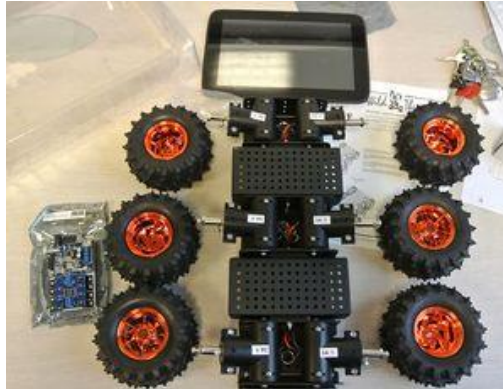


Imagen 3.0.5 Chasis WildThumper 6WD® para armar.

En el interior del chasis existen dos compartimentos diseñados para albergar las baterías recargables que se utilizan comúnmente en los coches de radio control (RC). Adicionalmente, el chasis viene pre cableado desde los motores eléctricos hacia un conjunto de terminales de tornillo como se muestra en la figura 3.0.6



Imagen 3.0.6 Compartimientos interiores y cableados eléctricos.

El chasis WildThumper 6WD® es una estructura tipo todo terreno ya que utiliza 6 ruedas de 120mm de diámetro que se pueden acoplar mecánicamente a un sistema de suspensión totalmente independiente en cada rueda, según se muestra en la figura 3.0.7



Imagen 3.0.7 Ruedas y sistema de suspensión mecánica.

Una vez armado el chasis se obtuvo la plataforma que se muestra en la figura 3.0.8 que se convierte en la base del robot. Información adicional técnica se muestra en el anexo 1.



Imagen 3.0.8 Chasis WildThumper 6WD.

3.2.2 Controlador de motores TRex.

El TRex dual motor controller (por su nombre original en inglés) es una tarjeta electrónica de la marca Pololu® modelo DMC01 capaz de controlar hasta dos motores de corriente directa (cd) con un consumo máximo de 13 Amps continuos por motor. Esta tarjeta de control es ideal para el control bidireccional de motores de cd a través de un sistema inalámbrico de radio control (RC). Esta característica la hace el elemento idóneo para el control de velocidad y giro del robot móvil en cuestión. La figura 3.0.9 muestra la presentación física del controlador, así como la descripción básica de los elementos que la integran.

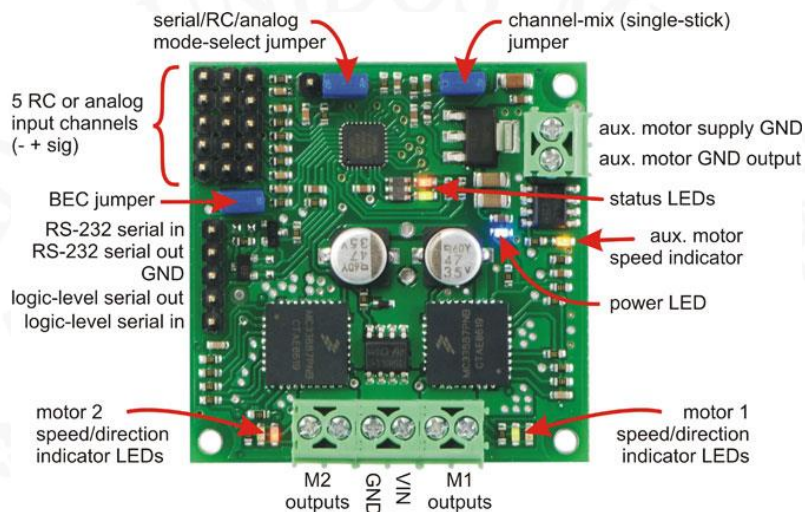


Imagen 3.0.9 TRex dual motor controller Pololu® DMC01.

La conexión de los motores eléctricos de cd de la estructura WildThumper 6WD® hacia la tarjeta se muestra en la figura 3.10. Dado que la estructura WildThumper 6WD® cuenta con tres motores eléctricos en cada lateral del chasis (seis en total), entonces se conectaron en paralelo los tres motores de cada lateral para así conectarse a cada terminal de salida denominadas M2 y M1 del controlador DMC01.

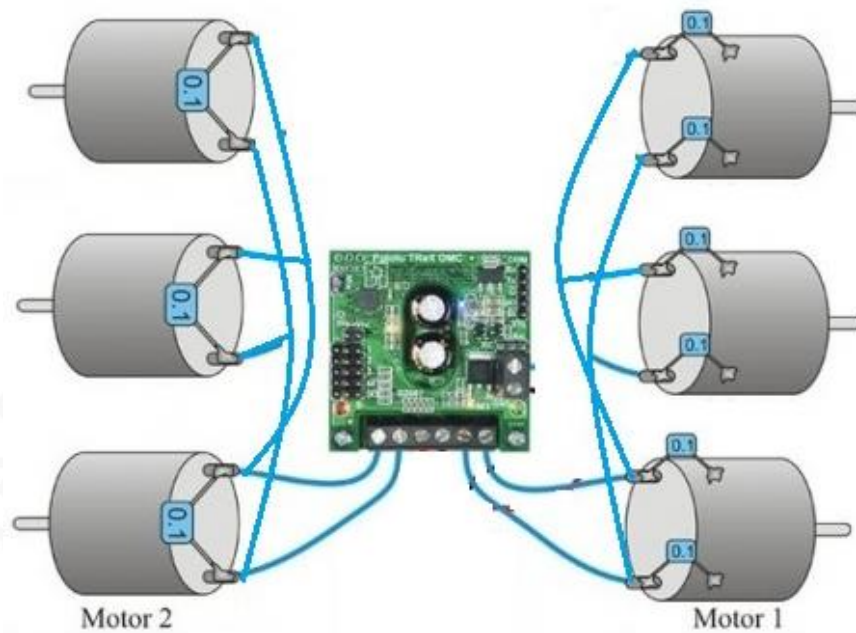


Imagen 3.0.10 Conexión eléctrica motores de cd

La alimentación eléctrica hacia la tarjeta controladora Pololu® DMC01 se realizó con una batería LiPo de 7.4 Volts a 5200 mAh a fin de proporcionar la corriente suficiente para alimentar los motores eléctricos de cd y a la misma tarjeta controladora, según se muestra en la figura 3.0.11

Controlador Pololu® DMC01

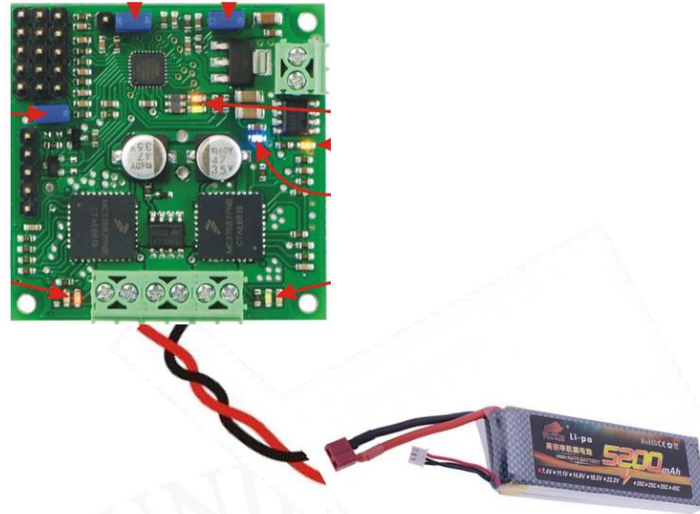


Imagen 3.0.11 Conexión de la fuente de alimentación al controlador.

Ahora bien, según la hoja de datos proporcionada por el fabricante del controlador, la asignación de los canales de RC está definidos así:

CANAL DE ENTRADA	DESCRIPCION
1	Control de velocidad y dirección del motor 1
2	Control de velocidad y dirección del motor 2
3	Salida auxiliar
4	Modo “flipped” para RC
5	Modo autónomo y manual

Tabla 3.1 Descripción de canales tarjeta Pololu® DMC01

El receptor del sistema RC es un módulo identificado como HITEC® OPTIMA 6 según se muestra en la figura 3.0.12 El módulo receptor inalámbrico es capaz de manipular hasta 6 canales de RC para controlar una cantidad igual de motores eléctricos tipo servomotor.



Imagen 3.0.12 Módulo Receptor HITEC® OPTIMA 6.

El receptor trabaja a una frecuencia de 2.4 GHz, motivo por el cual lo hace prácticamente inmune a interferencias electromagnéticas. Cabe señalar, que el módulo receptor se alimenta con la batería de 7.4 Volts que se utiliza para alimentar la tarjeta controladora Pololu® DMC01.

Considerando la descripción de los canales disponibles en la tarjeta controladora DMC01 que se muestran en la tabla 1, entonces se procedió a conectar mediante cables hembra-hembra JR Servo al canal de entrada 1 del receptor el control de avance adelante/atrás en la tarjeta controladora Pololu® y al canal 2 de entrada del receptor, el control giro derecha/izquierda de la tarjeta controladora Pololu® como se muestra en la figura 3.0.13

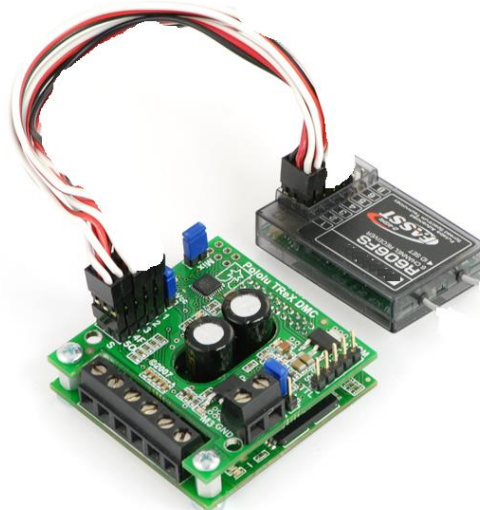


Imagen 3.0.13 Conexión de tarjeta DMC01 con receptor RC.

Cabe señalar que la tarjeta controladora DMC01 viene precargada con el software necesario para usar un sistema de radiocontrol en los canales 1 y 2. Por lo que es suficiente solo con conectar las señales del receptor con las entradas de la tarjeta controladora DMC01.

3.3 Control inalámbrico RC.

El control de movimiento del robot móvil se realiza a través de un sistema de radio control comercial de la marca HITEC® Modelo OPTIC6 SPORT como se muestra en la figura 3.0.14



Imagen 3.0.14 Sistema de RC OPTIC 6 SPORT

Con el transmisor encendido podemos generar los movimientos hacia adelante y hacia atrás del robot con la manipulación del canal 1 gobernado por la perilla indicada en la figura 3.0.15



Imagen 3.0.15 Control de movimiento adelante/atrás con el transmisor RC.

El movimiento de giro a la derecha y giro a la izquierda se realiza con la activación del canal 2 del receptor gobernado por la perilla indicada en la figura 3.0.16 del transmisor.



Imagen 3.0.16 Control de movimiento izquierda/derecha del robot.

Es importante mencionar que el giro del robot móvil se realiza mediante la técnica de control diferencial en donde se hacen girar en sentido opuesto las ruedas de locomoción como se muestra en la figura 3.0.17 Esta acción, la realiza de manera implícita la tarjeta controladora DMC01.

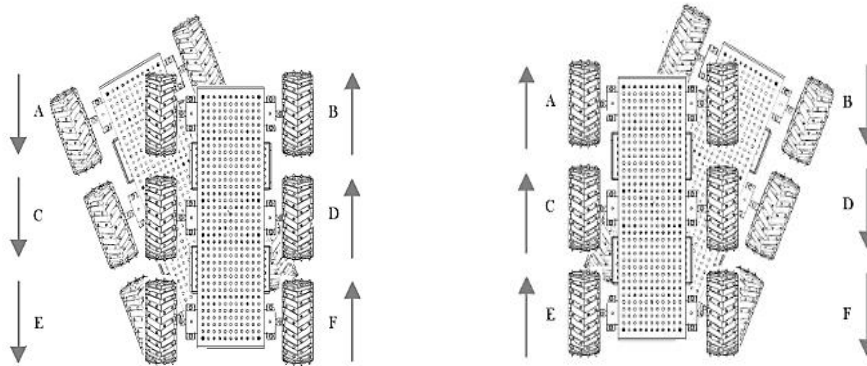


Imagen 3.0.17 Control diferencial para el giro del robot.

3.4 Sistema de visión

El sistema de visión consiste en la incorporación de una cámara inalámbrica de video marca SONY ® modelo 700TVL con lente de 1/3" y sistema de imagen NTSC de 30X30 mm. La cámara se conecta a un transmisor (Tx) de A/V modelo TS832 que trabaja en una frecuencia de 5.8 GHz a 12 Volts de CD. El mismo sistema cuenta con un monitor de 7" como elemento receptor. Esta cámara permite recibir información de video en tiempo real. La cámara inalámbrica va montada al frente del chasis metálico de la estructura WildThumper 6WD y tiene libertad de movimiento mediante un sistema mecánico pan/tilt que se muestra en la figura 3.0.18 y 3.0.19 respectivamente.



Imagen 3.0.18 Cámara de visión nocturna

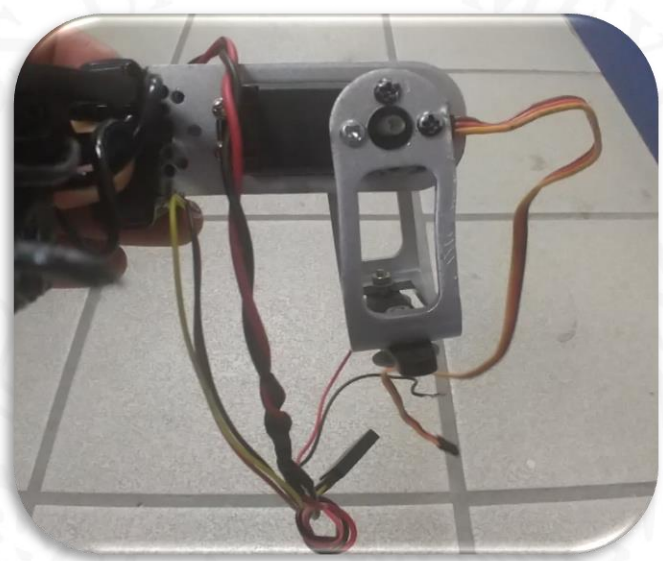


Imagen 3.0.19 Montaje del sistema Pant&Tilt para la cámara de visión.

La figura 3.0.20 muestra el control de movimiento de rotación con el sistema de transmisión Hitec® RC y la perilla que lo gobierna.



Imagen 3.0.20 Control de rotación sistema Pant&Tilt sistema de visión.

El movimiento de elevación con el sistema de transmisión Hitec® RC y la perilla que lo gobierna se muestra en la figura 3.0.21



Imagen 3.0.21 Control de elevación sistema Pant&Tilt sistema de visión.

El sistema de control del sistema Pant&Tilt se manipula a través de los canales 3 y 4 del receptor RC para el movimiento de rotación y elevación, respectivamente, como se muestra en la figura 3.0.22

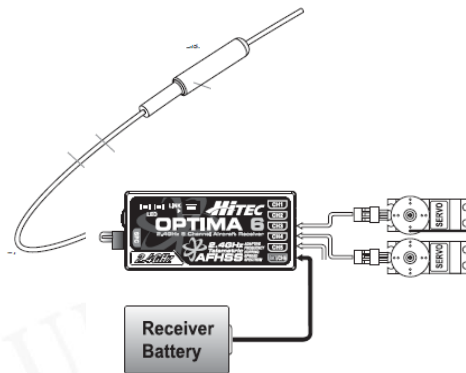


Imagen 3.0.22 Conexión eléctrica de los servomotores del control Pant&Tilt.

3.4.1 Sistema de transmisión de video.

La cámara de visión se conectó directamente a un transmisor de video marca AOMWAY® de largo alcance FPV a 5.8 GHz lo cual permite evitar interferencias electromagnéticas. El transmisor se alimenta a 12 CD y tiene una potencia de transmisión de 1000 mW con una distancia de transmisión mínima de 2 Kms con su antena original (3 dB) y un peso de 43 grs sin antena. El módulo transmisor se muestra en la figura 3.0.23



Imagen 3.0.23 Transmisor de video AOMWAY®.

El diagrama de conexión eléctrica del transmisor se muestra en la figura 3.0.24



Imagen 3.0.24 Conexión eléctrica del trasmisor AOMWAY®.

El transmisor de video AOMWAY® tiene 15 canales de operación sobre la banda de los 5.8 GHz. Estos canales se muestran en la tabla 3.2.



PIN7	PIN8	PIN9	Frequency 1	Frequency 2
S1-1	S1-2	S1-3	S1_4 TO OPEN	S1_4 TO GND
0	0	0	5740MHz (CH1)	5705MHz (CH1)
1	0	0	5760MHz (CH2)	5685MHz (CH2)
0	1	0	5780MHz (CH3)	5665MHz (CH3)
1	1	0	5800MHz (CH4)	5645MHz (CH4)
0	0	1	5820MHz (CH5)	5885MHz (CH5)
1	0	1	5840MHz (CH6)	5905MHz (CH6)
0	1	1	5860MHz (CH7)	5925MHz (CH7)
1	1	1	-	5945MHz (CH8)

Tabla 3.2 Valores de frecuencia de operación del transmisor de video AOMWAY®

Considerando la tabla 3.2, se realizó la programación del transmisor a través de los DIP SW que vienen en la parte posterior inferior derecha del transmisor para ajustarse a una frecuencia de 5860 MHz, como se muestra en la figura 3.0.25

3.5 Monitor de video.

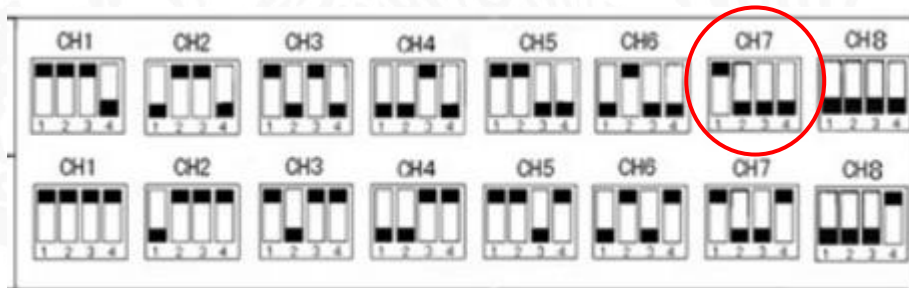


Imagen 3.0.25 Configuración del transmisor a frecuencia de 5860 MHz.

La señal de video que capta la cámara de visión nocturna se transmite inalámbricamente hacia un monitor marca SKY-700D de 7" a color como se muestra en la figura 3.26 El monitor permite ver la imagen en tiempo real que capta la cámara de visión para de esta



forma dirigir el robot móvil a distancia. El monitor se alimenta a través de una batería LiPo de 12 volts que se sujeta del propio monitor.

A fin de hacer coincidir la frecuencia de recepción con la frecuencia de transmisión, se procedió a configurar el monitor a una frecuencia de 5860 MHz. El monitor dispone de un juego de cinco micro interruptores para sintonizar el canal a recibir. Los tres primeros definen el canal del 1 al 8, el cuarto y quinto la banda. La tabla 3.3 muestra la combinación de los interruptores en el monitor para la configuración del mismo.

Imagen 3.0.26 Monitor SKY-700D de 7" para la recepción de video.

A		B		E		F	
CH1: 5865MHz	CH2: 5845MHz	CH1: 5733MHz	CH2: 5752MHz	CH1: 5706MHz	CH2: 5685MHz	CH1: 5740MHz	CH2: 5760MHz
CH3: 5825MHz	CH4: 5805MHz	CH3: 5771MHz	CH4: 5790MHz	CH3: 5665MHz	CH4: 5645MHz	CH3: 5780MHz	CH4: 5800MHz
CH5: 5785MHz	CH6: 5765MHz	CH5: 5809MHz	CH6: 5828MHz	CH5: 5885MHz	CH6: 5905MHz	CH5: 5820MHz	CH6: 5840MHz
CH7: 5745MHz	CH8: 5725MHz	CH7: 5847MHz	CH8: 5866MHz	CH7: 5925MHz	CH8: 5945MHz	CH7: 5860MHz	CH8: 5860MHz

Tabla 3.3 Descripción de las bandas y canales de recepción del monitor.

Esto nos permite 4 bandas A, B, E y F y 8 canales por cada una de ellas utilizando el DIP SW que viene integrado en el propio monitor, como se muestra en la figura 3.0.27



Imagen 3.0.27 Configuración del receptor-monitor de video.

Ahora bien, el monitor se sujeta a través de un soporte de aluminio montado sobre el mismo transmisor RC, según se muestra en la figura 3.0.28. De esta manera se hace portátil y fácil de transportar. Además de poder tener el control del robot y al mismo tiempo visualizar la imagen que transmite la cámara de visión.



Imagen 3.0.28 Soporte de aluminio para montaje de monitor FPV.

3.6 Sistema de iluminación LED.

A fin de obtener una mejor calidad de imagen en ambientes de total oscuridad, como lo es al interior de una mina, se ha agregado una lámpara LED de iluminación la figura 3.0.29



Imagen 3.0.29 Iluminación LED.

Se trata de un par de linternas LED con luz visible al ojo humano, al haber realizado pruebas se percató que es capaz de proporcionar un rango de 2 metros aproximadamente de iluminación en ambientes nocturnos. La lámpara se alimenta con una batería de Litio recargable de 3.7 volts; razón por lo cual se eligió para el proyecto. La lámpara se conecta sobre el soporte Pant&Tilt, arriba de la cámara, como se muestra en la figura 3.0.30

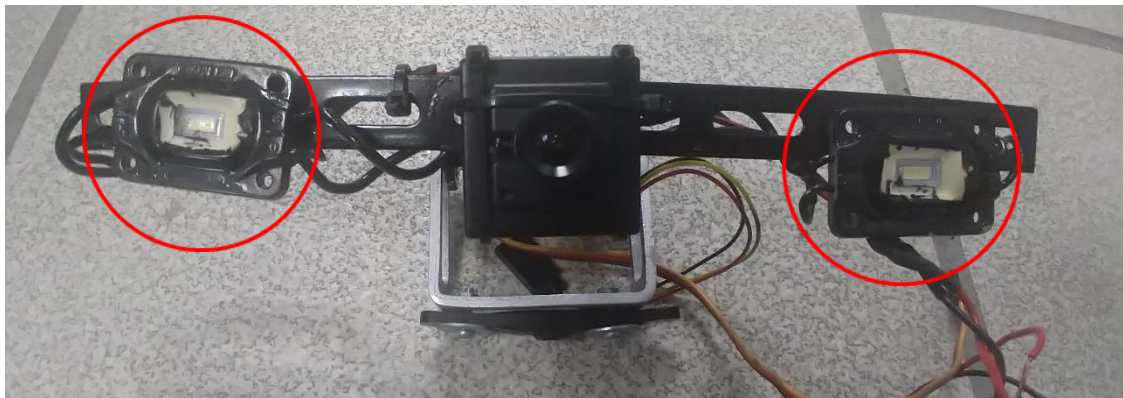


Imagen 3.0.30 Montaje de la lámpara de iluminación LED sobre el soporte Pant&Tilt.

3.7 Sistema de iluminación Luz Laser.

Debido a que el robot móvil se va a desplazar en ambientes sin luz natural y/o artificial, se hace necesario dotar al robot de elementos visuales que permitan una fácil identificación dentro de ambientes de total oscuridad. Por tal motivo se implementó un sistema de iluminación con rayo láser de color rojo como se muestra en la figura 3.0.31



Imagen 3.0.31 Luz láser trasera de seguridad.

Este dispositivo se alimenta a 12 volts de cd y genera un haz láser horizontal sobre cualquier superficie. El dispositivo se colocó en la parte posterior del vehículo robotizado a fin de que se pueda ubicar e identificar fácilmente.

3.8 Cinta reflejante.

Si por alguna razón el robot móvil se quedara sin batería al interior de la mina, entonces se ha agregado una tira de cinta roja reflejante a la luz marca 3M® en la parte frontal y posterior del vehículo. Esto permite identificar el robot a distancia con tan solo dirigir un haz de luz visible hacia el vehículo. Así, se podrá ubicar de manera más fácil dentro de un ambiente de oscuridad total. La ubicación de la cinta reflejante se muestra en la figura 3.0.32

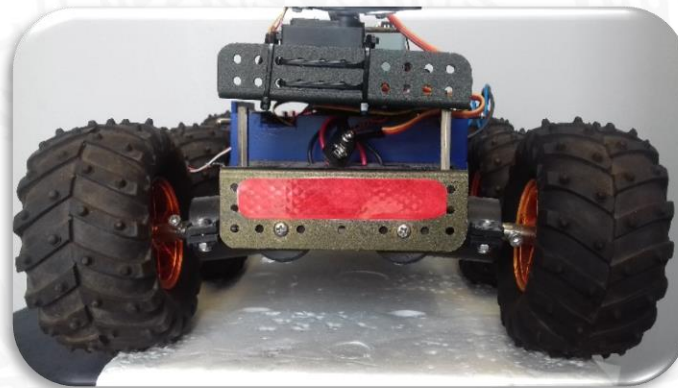


Imagen 3.0.32 Cinta reflejante frontal.

3.9 Alimentación eléctrica del robot móvil.

El robot móvil se alimenta eléctricamente a través de dos baterías recargables tipo Polímero de Litio (LiPo). Este tipo de batería se eligió debido a su alta capacidad de carga, dimensiones reducidas y ligeras. La primera batería LiPo es de 7.4 Volts a 5200 mAh y 2 celdas (2S) y se utiliza para proporcionar energía eléctrica a la tarjeta de control de motores de cd identificada como DMC01 y a los seis motores eléctricos del chasis WildThumper 6WD® y los dos servomotores del sistema Pant&Tilt y el módulo receptor de RC, como se muestra en la figura 3.0.33 y se debe mencionar que se conectó a los elementos mencionados mediante un interruptor tipo cola de rata de 1 polo-1 tiro.

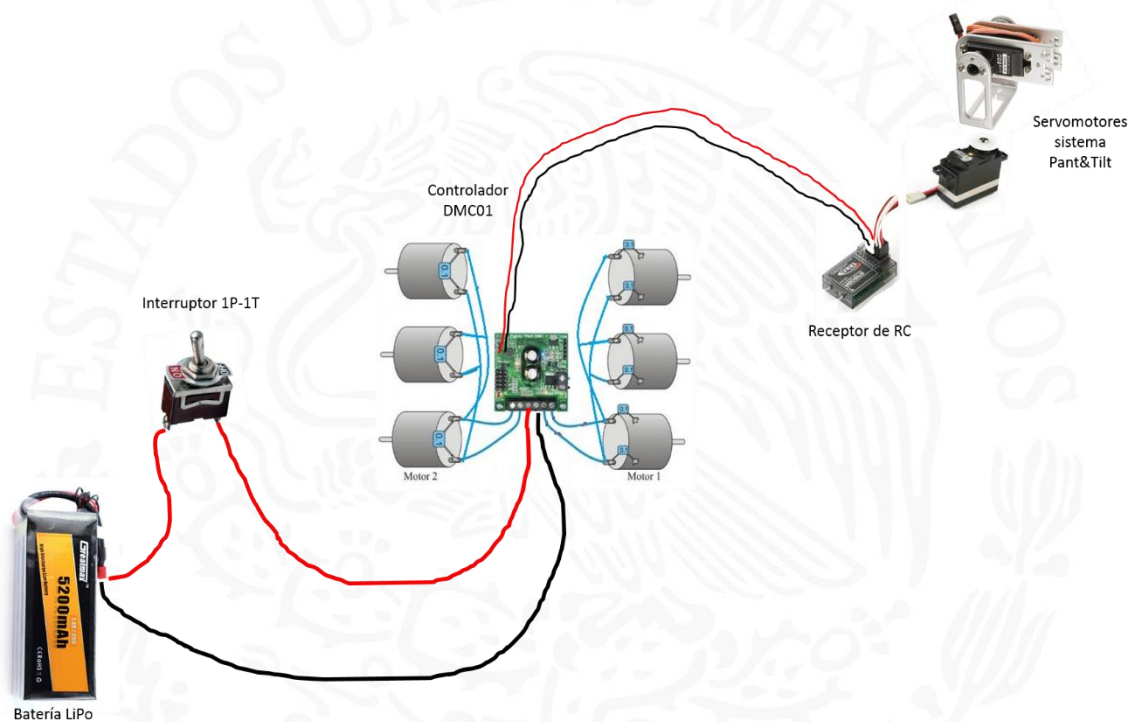


Imagen 3.0.33 Diagrama pictográfico de la batería LiPo 7.4V a 5200 mAh y accesorios.

La segunda batería LiPo es de 11.1 Volts a 2200 mAh (3S) y se utiliza para alimentar eléctricamente a la cámara IR de video, el transmisor de video AOMWAY®, la luz láser posterior y la tarjeta de instrumentación para la adquisición y transmisión de datos de los sensores. La batería usada se muestra en la figura 3.0.34 y se hace notar que también se conectó a través de un interruptor tipo cola de rata de 1 polo-1 tiro.



Imagen 3.0.34 Batería LiPo 11.1V a 2200 mAh.

Cabe señalar que las baterías LiPo requieren de algunos cuidados especiales que tienen que ver con el nivel mínimo de carga que estas deben mantener. Según la hoja de datos del fabricante, el nivel de voltaje por celda (1S) NO DEBE de caer por debajo de 3.6 volts ya que provocaría un desgaste prematuro de la misma y en consecuencia dejaran de servir. Por lo tanto, se deberá de tener cuidado en el nivel de carga presente en la batería a fin de evitar su uso bajo condiciones límites. Para verificar el nivel de carga de la batería se adquirió un dispositivo llamado “Indicador de carga para batería LiPo” como el que se muestra en la figura 3.0.35

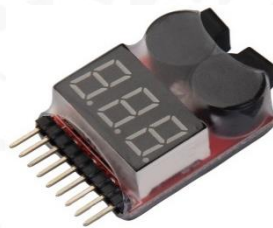


Imagen 3.0.35 Indicador de carga para batería LiPo.

Este dispositivo de monitoreo muestra el nivel de voltaje almacenado en cada celda de la batería, el valor del voltaje total de la batería y tiene un indicador audible para avisar sobre el nivel mínimo de carga en la batería y/o celda; mismo que indica en que momento requiere “recargarse” la batería y se conecta como se muestra en la figura 3.0.36



Imagen 3.0.36 Conexión eléctrica del indicador de batería.

Por otra parte, para “recargar” las baterías LiPo se hace uso de un dispositivo especial para este tipo de baterías siendo éste un “Cargador/Balaceador iMax B6 Digital de baterías LiPo como el que se muestra en la figura 3.0.37



Imagen 3.0.37 Cargador/Balaceador iMax B6

3.10 Módulo de adquisición de datos.

El módulo de adquisición de datos es, en realidad, la instrumentación electrónica, del robot móvil. Este módulo de instrumentación incluye, en lo general, cinco elementos principales: los sensores, un microcontrolador, un módulo XBee Pro S1, una antena omnidireccional y una fuente de energía eléctrica, según se muestra en la figura 3.0.38

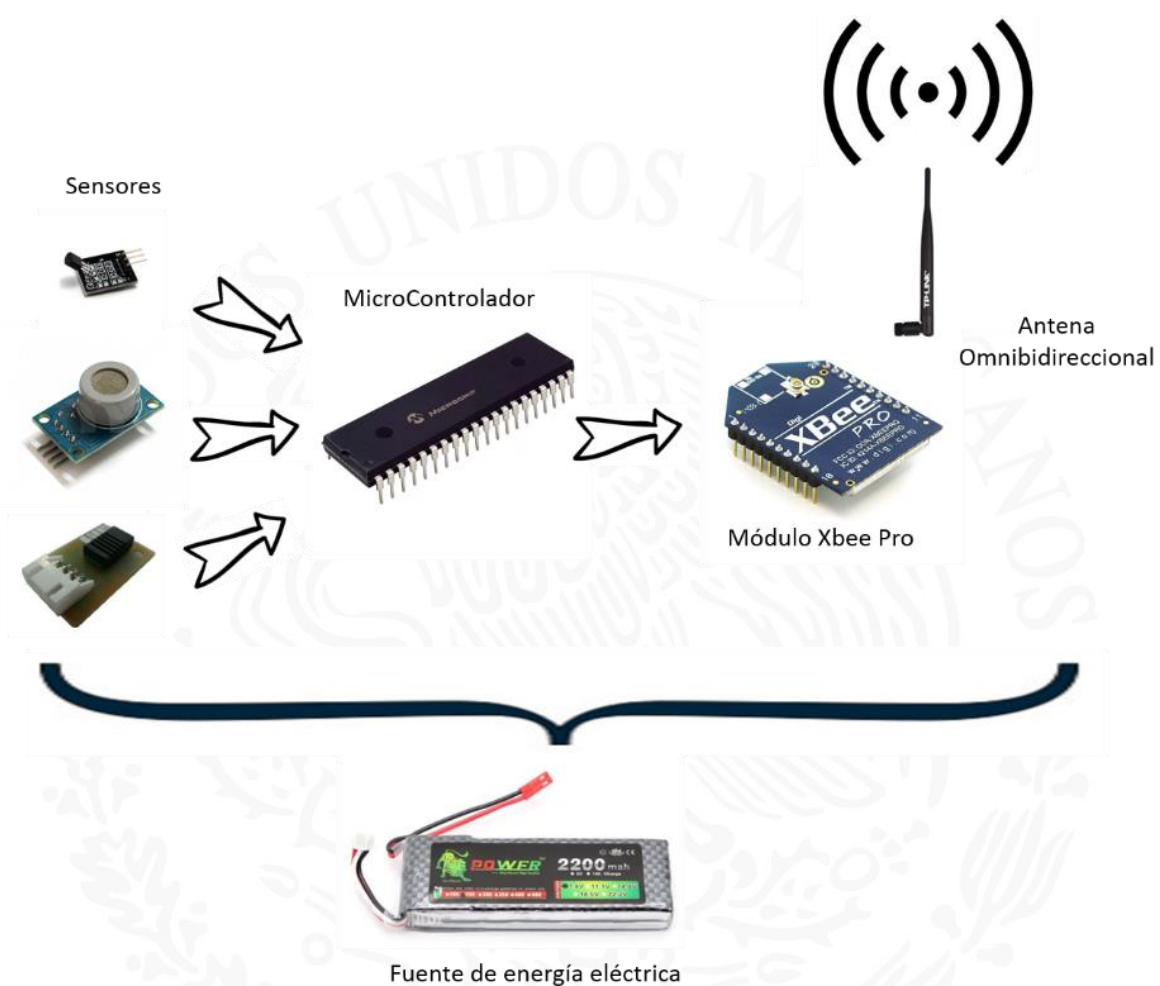


Imagen 3.0.38 Diagrama pictográfico del sistema de instrumentación electrónica del robot.

3.10.1 Módulo sensor de temperatura.

En las minas subterráneas, la principal fuente de calor es la propia roca, en la práctica, la temperatura de la roca hasta los 40 m de profundidad se considera prácticamente igual a la temperatura superficial al exterior de la mina. Sin embargo, a medida que se avanza en profundidad entonces la temperatura de la roca aumenta 1 °C por cada 100 metros de profundidad o 10 °C cada 1 Km. Por lo tanto, si la temperatura exterior mínima fuese de 10 °C entonces a una profundidad de 15 Km se estaría alcanzando una temperatura máxima de 150 °C, pero debido a que existe sistema de extracción de aire y/o ventilación, entonces la temperatura máxima tiende a ser menor a medida en que se avanza en profundidad.

Como elemento sensor de temperatura se utiliza el circuito integrado LM35 (imagen 3.0.39), que se muestra en la figura 49, este sensor electrónico tiene un rango de medición que va desde los -55 °C hasta los 150 °C con una precisión de 1 °C. Genera un voltaje de salida (señal eléctrica analógica) lineal y proporcional con la temperatura y por cada 1 °C genera 10 mV de salida. Su intervalo de voltaje de alimentación va de los 4 volts a los 30 volts de cd. (E-Marmolejo, 2017)

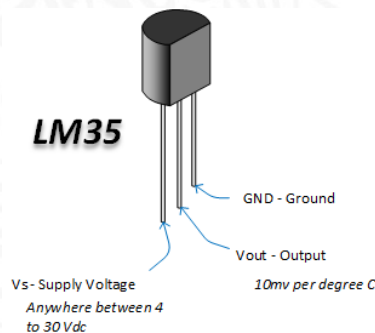


Imagen 3.0.39 Sensor de temperatura LM35.

El sensor de temperatura LM35 se alimenta a 5 Vcd y se conecta al puerto A de un microcontrolador a través de una resistencia de 10 K Ω que funge como “carga” al sensor y así garantizar el V_{out} del propio dispositivo, como se muestra en la figura 3.0.40

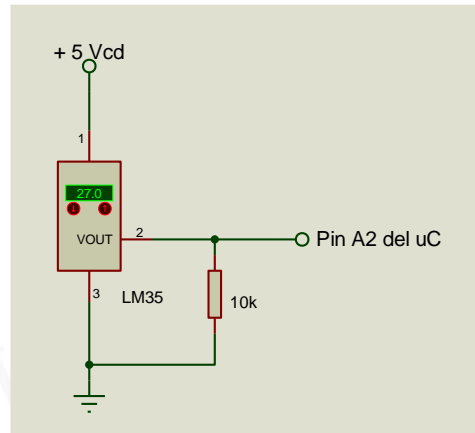


Imagen 3.0.40 Diagrama de conexión eléctrica del sensor LM35 al microcontrolador

3.10.2 Módulo sensor de humedad relativa.

Humedad relativa, o "HR", es la cantidad de agua en el aire en forma de vapor, comparándolo con la cantidad máxima de agua que puede ser mantenida a una temperatura dada (Nobel, 2018) y se diferencia de la sensación térmica que es la reacción del cuerpo humano ante el conjunto de condiciones del ambiente que determinan el clima desde el punto de vista térmico. (M.A., 2018)

Hay diferencia entre temperatura y sensación térmica. Aunque el termómetro marque la misma temperatura, la sensación que percibimos depende de factores como la humedad del aire y la fuerza del viento. Es aquí donde la humedad juega un papel fundamental, ya que el valor de la humedad relativa afecta poco al confort de las personas, lo que se puede traducir del punto de vista físico en golpe de calor, calambres por calor y agotamiento por sudoración excesiva aumentando concentraciones plasmáticas en la sangre y agotamiento por la mala reposición de la pérdida de sales.

Dicho esto, se optó por la utilización de un sensor de humedad relativa HMZ433, que se muestra en la figura 3.0.41, este sensor electrónico cuenta con Voltaje de suministro (V_{in}) 5VDC \pm 5%, consumo: 5mA max: (2mA promedio) con un rango de funcionamiento de 20% al 95% de HR.



Imagen 3.0.41 Sensor de Humedad Relativa HMZ433a1

El sensor de temperatura HMZ433A1 se alimenta a 5 Vcd y se conecta al puerto A de un Microcontrolador a través de una resistencia de 50 K Ω que funge como “carga” al sensor y así garantizar el V_{out} del propio dispositivo, como se muestra en la figura 3.0.42

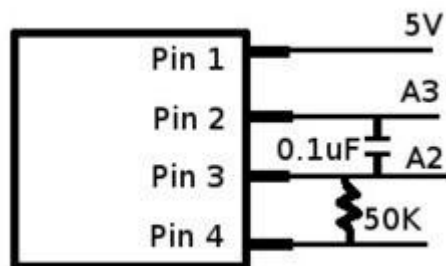


Imagen 3.0.42 Diagrama de conexión eléctrica del sensor HMZ433A1.

3.10.3 Módulo sensor de gas metano.

El gas metano (del griego *methy* vino, y el sufijo *-ano*), es el hidrocarburo alcano más sencillo, cuya fórmula química es CH_4 , es un gas incoloro, inflamable, no tóxico. Este gas se produce de forma natural por la descomposición de la materia orgánica. Los humedales, el ganado y la energía son las principales fuentes que emiten metano a la atmósfera, donde actúa como gas de efecto invernadero. (Laxtron, 2017)

En minas subterráneas de carbón se produce de manera natural. Cuando se acumula por arriba de las 100 partes por millón (ppm) resulta altamente explosivo los mineros le dan el nombre de “grisú”, y cuando se encuentra mezclado con el aire de una mina basta encender un fósforo para provocar una explosión. De esta manera han perdido la vida 33 trabajadores mineros tras la explosión de una mina de carbón en la ciudad de Laisu, en la provincia de Chongqing (sudoeste) en China (agosto 2017) y la explosión de dos minas de carbón en la zona rural de Cucunuba, en el centro de Colombia, ha causado la muerte de 13 trabajadores (junio 2017) según informan diarios locales de dichos países.

Este sensor es de suma importancia para el proyecto ya que nos proporcionará información acerca de la presencia de dicho gas en el interior de la mina para poder evitar una posible catástrofe.

El sensor de gas metano implementado se identifica con el número de parte MQ-4 que se muestra en la Figura 3.0.43. Este sensor electrónico cuenta con Voltaje de suministro (V_{in}) $5\text{VDC} \pm 5\%$, consumo: 5mA max :

Condiciones estándares de detección: Temp: $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ V_c : $5\text{V} \pm 0.1$ Humidity: $65\% \pm 5\%$
 V_h : $5\text{V} \pm 0.1$

Detectando el alcance de la concentración: 200-10000 ppm CH_4 , gas natural.





Imagen 3.0.43 Sensor de Gas Metano MQ-4.

El diagrama de conexión del sensor MQ-4 se muestra en la figura 3.0.44

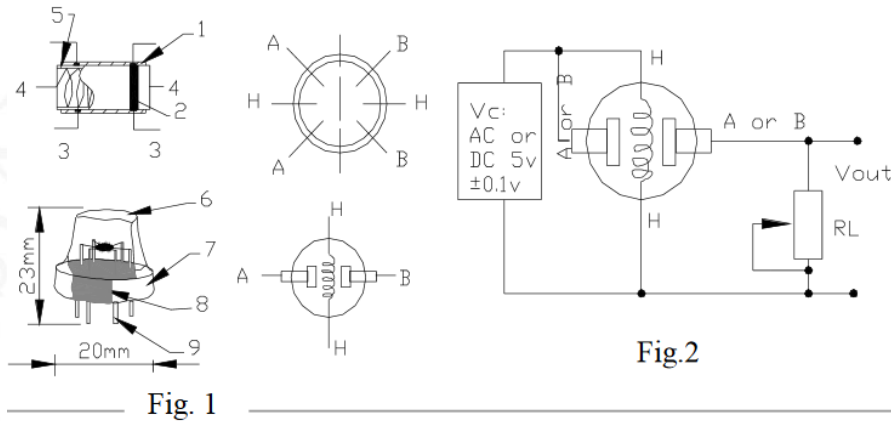


Imagen 3.0.44 Diagrama y dimensiones del Sensor de Gas Metano MQ-4.

3.10.4 Microcontrolador PIC 16F88

Para este proyecto se ha decidido la implementación del integrado *PIC 16F88A* de la marca Microchip® como se muestra en la figura 3.0.45 y 3.0.46 respectivamente. Algunas de las características de dicho integrado son las siguientes:

- Rango de voltaje (2.0V to 5.5V)
- 10 bits, hasta 8 canales de analógico a digital
- Convertidor (A / D)
- 100,000 borrado / ciclo de escritura Mejorada Flash
- 1,000,000 borrar / escribir datos de ciclo EEPROM
- Retención EEPROM de datos > 40 años
- Oscilador para un funcionamiento confiable
- Protección de código programable
- 2 puertos disponibles para programar (A y B)

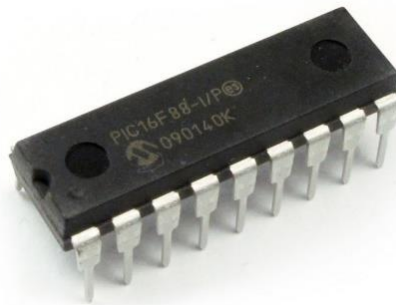
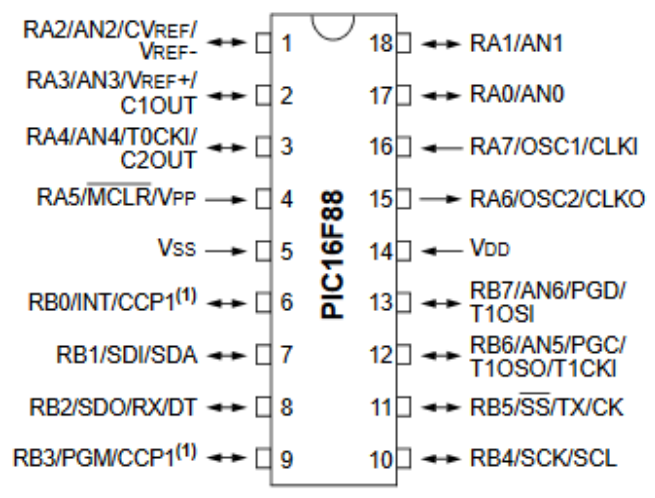


Imagen 3.0.45 PIC 16F88A



Note 1: The CCP1 pin is determined by the CCPMX bit in Configuration Word 1 register.

Imagen 3.0.46 Puertos del PIC 16F88A

Una vez compuestos todos los elementos se visualizan de la siguiente manera en la imagen 3.0.47 utilizando el software Proteus 8.

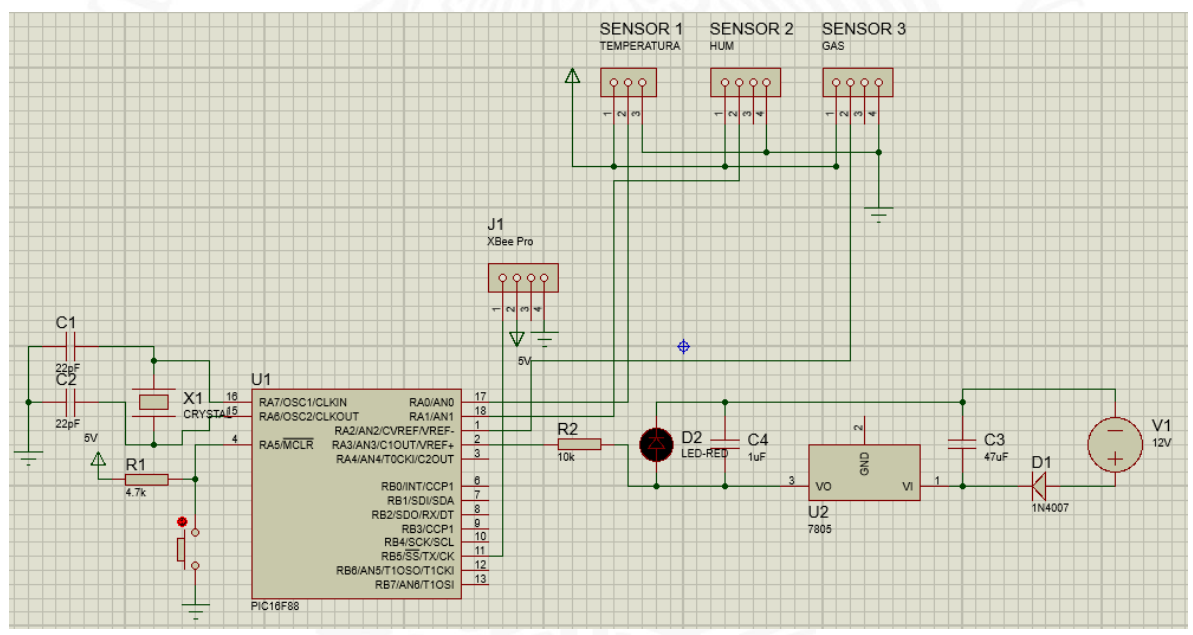


Imagen 3.0.47 Conexión de los sensores LM35, HMZ y MQ-4 del PIC 16F88A

3.10.5 Modulo XBee S1®

Ya que toda la información que estaremos manejando será en tiempo real es necesario contar con un sistema inalámbrico de largo alcance para la transmisión y recepción de datos entre el operador y nuestro robot móvil.

Algunas de las características del módulo XBee Pro (Imagen 3.048) son:

- Corriente de pico TX: 45 mA (a 3.3 V)
- Vin: 3.3 VCD
- Corriente RX: 50 mA (a 3.3 V)
- Corriente de apagado: <math><10 \mu\text{A}</math>
- Conversión de analógico a digital, E / S digital
- Potencia de transmisión: 1 mW (0 dBm)
- Sensibilidad del receptor: -92 dBm



Imagen 3.0.48 Módulo XBee® S1

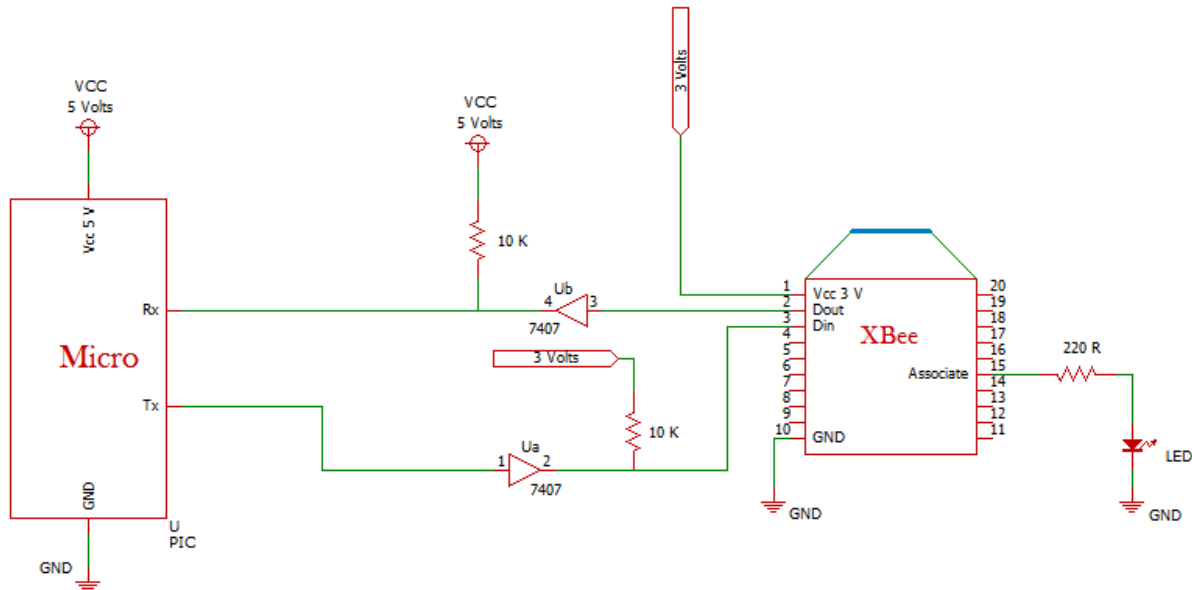


Imagen 3.0.49 Conexión del Módulo XBee S1® con PIC

3.10.6 Explorador XBee Regulado

Ya que la salida de nuestro μC otorga 5V de DC, es incompatible con el módulo XBee S1® ya que este funciona únicamente con 3.3V de DC, dicho esto es necesaria la implementación de un regulador de voltaje.

El Explorador de XBee Regulado (Imagen 3.0.50 y 3.051) se encarga de la regulación 3.3V, acondicionamiento de señales, y los indicadores básicos de la actividad (alimentación, RSSI y LED de actividad de la norma DIN / DOUT). Se traduce las señales de serie de 5V a 3.3V para que pueda conectar un 5V (a 3,3 V) del sistema a cualquier módulo XBee. La junta fue convenientemente diseñada para acoplarse directamente con Arduino Pro o cualquier Microcontrolador para bootloading inalámbrica y configuración de USB basado.

Esta unidad funciona con todos los módulos XBee incluyendo las Series 1 y 2, las versiones estándar y Pro. Conecte un XBee en esta ruptura y usted tendrá acceso directo a los pines de serie y de programación de la unidad XBee y será capaz de alimentar el XBee con 5V.

Esta placa viene totalmente poblada con regulador de 3,3 V (entrada máxima 12V), zócalo XBee, cuatro LED's de estado, y el cambio de nivel. En la última revisión de la palanca de cambios de nivel de diodo se sustituye por una más robusta de nivel MOSFET. (Zamora, 2018)

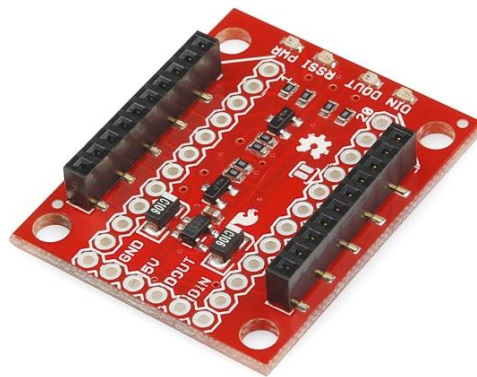


Imagen 3.0.50 Explorador XBee Regulado



Imagen 3.0.51 Explorador XBee Regulado con XBee S1®

3.10.7 Software XCTU

Para configurar los módulos XBee® es necesario utilizar el software XCTU el cual es gratuito y puede descargarse desde la página oficial. Este software nos permite conectar los módulos y configurarlos de alguna de las 5 maneras antes vistas.

3.10.7.1 Configuración de emisor y receptor de XBee con software Xctu

1. Primeramente, hay que conectar nuestro módulo XBee a nuestra PC.
2. Abrimos el software Xctu
3. Y una vez esté se abre tenemos dos ventanas en la primera ventana vemos una opción donde dice “Radio Modules” aquí es donde nosotros podemos visualizar los módulos que están conectados a nuestro computador podemos, acceder a estos módulos de dos maneras en este botón en el cual dice agregar un radio modulo especificando los parámetros del puerto. Si damos clic aparecerá una nueva ventana; esta nueva ventana nos da dos opciones para descubrir nuestro modulo la primera es seleccionando un puerto serial o un puerto USB y la segunda si nosotros proveemos el nombre del puerto manualmente.

Dar clic donde aparece la lupa como se muestra en la imagen 3.0.52

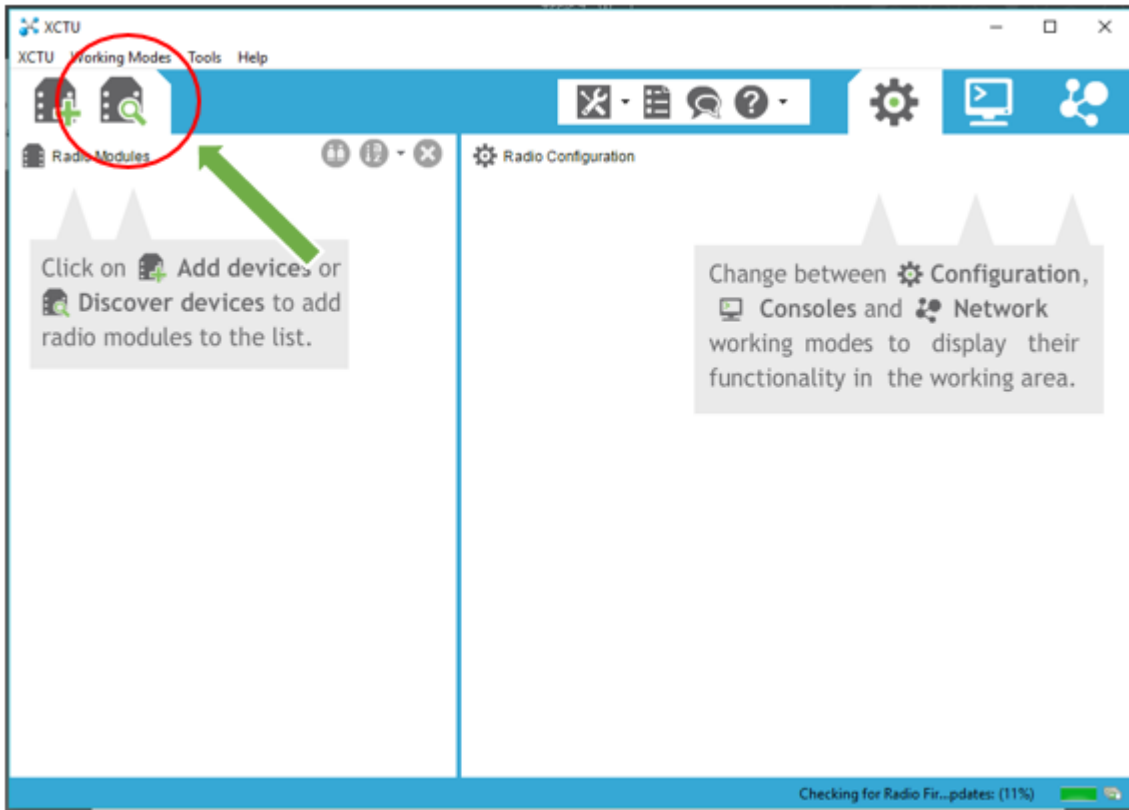


Imagen 3.0.52 Interface Software XCTU

4. Nos aparecerá el COM donde nuestro módulo XBee está conectado, ya seleccionado hacer clic en "Next" como se muestra en la figura 3.0.53

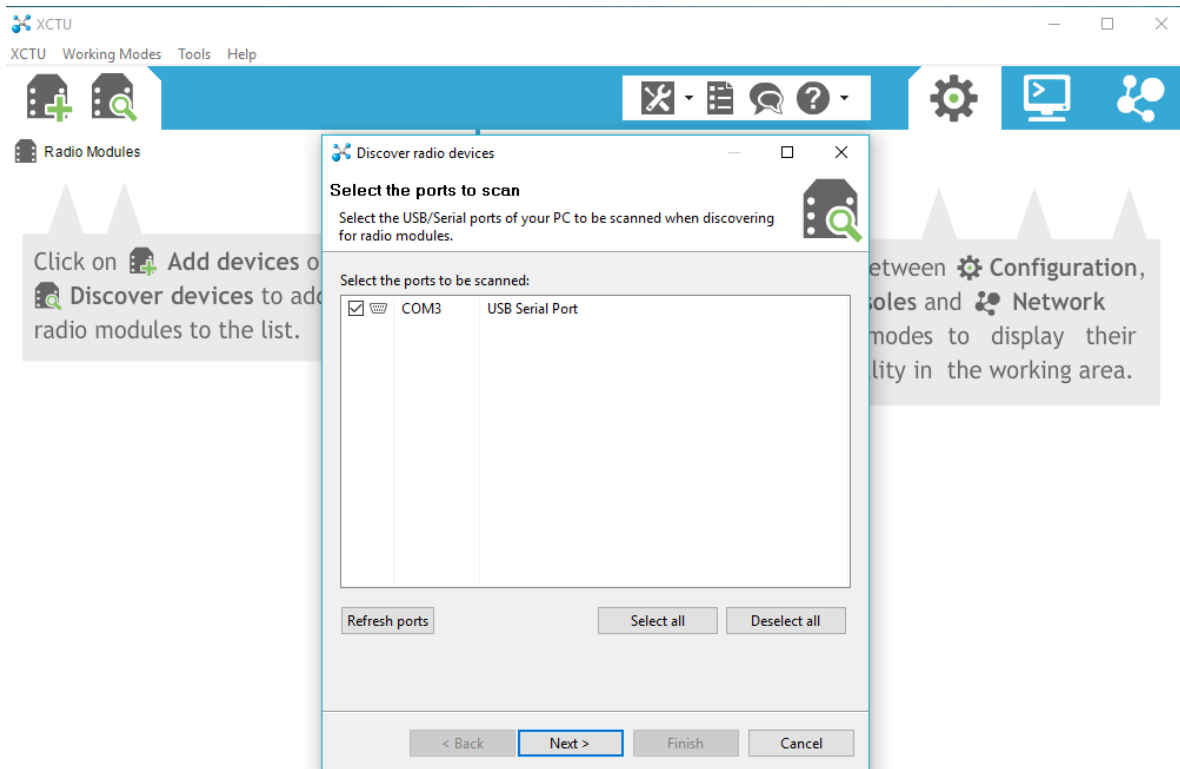


Imagen 3.0.53 Interface Software XCTU

5. Ya identificado nuestro módulo XBee habrá que proceder a configurarlo. El software XCTU nos ofrece los parámetros por default, así que lo recomendable es hacer clic en “Finish” como se muestra en la figura 3.0.54

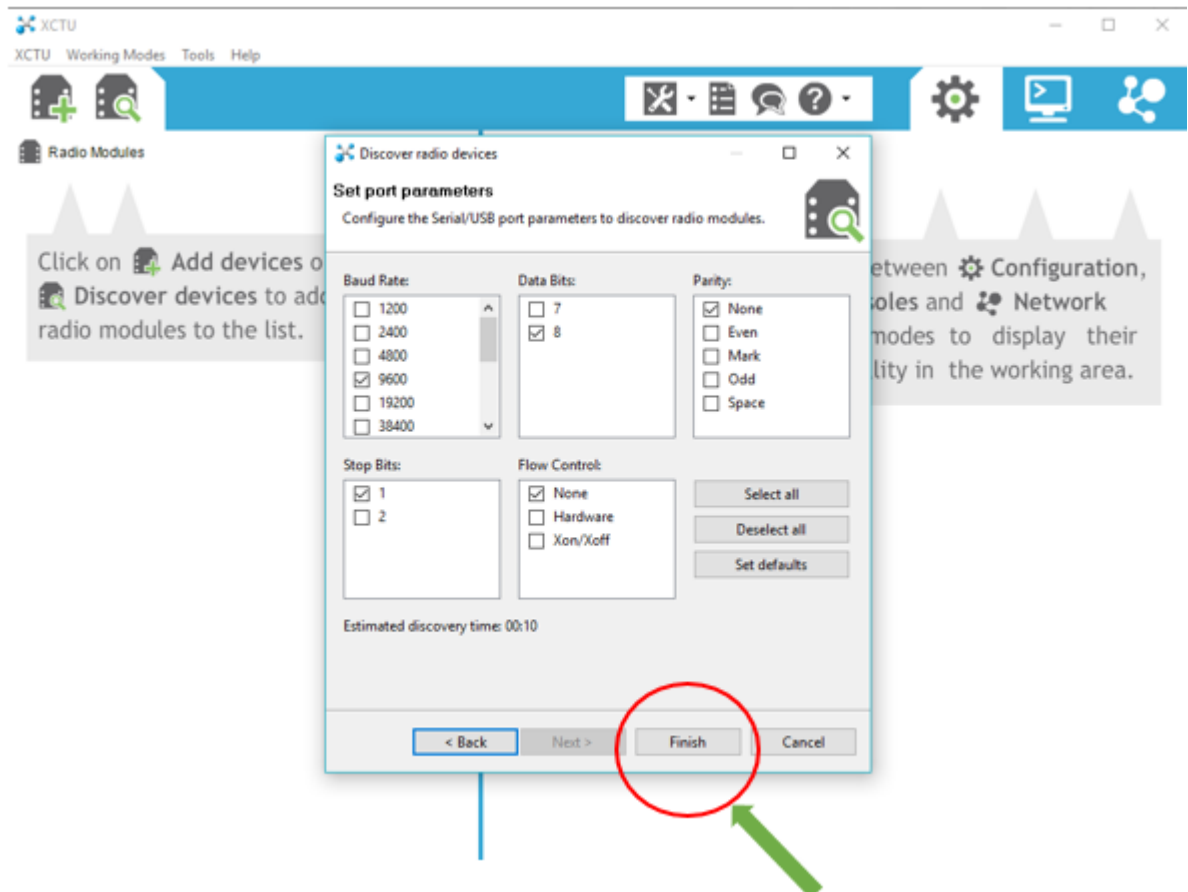


Imagen 3.0.54 Interface Software XCTU

6. El software procederá a una búsqueda del módulo XBee, una vez que aparezca dar clic en “Add selected devices”. (Imagen 3.0.55)

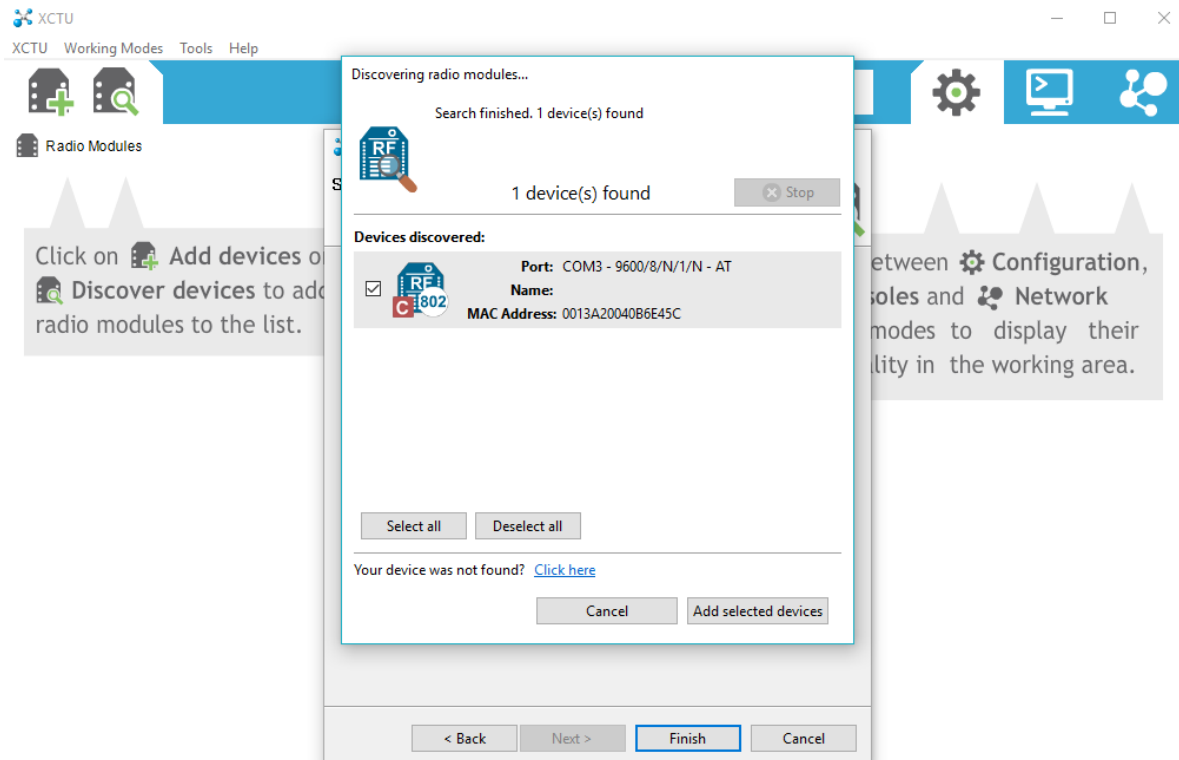


Imagen 3.0.55 Interface Software XCTU

7. Damos clic en el módulo seleccionado. (Imagen 3.0.56)

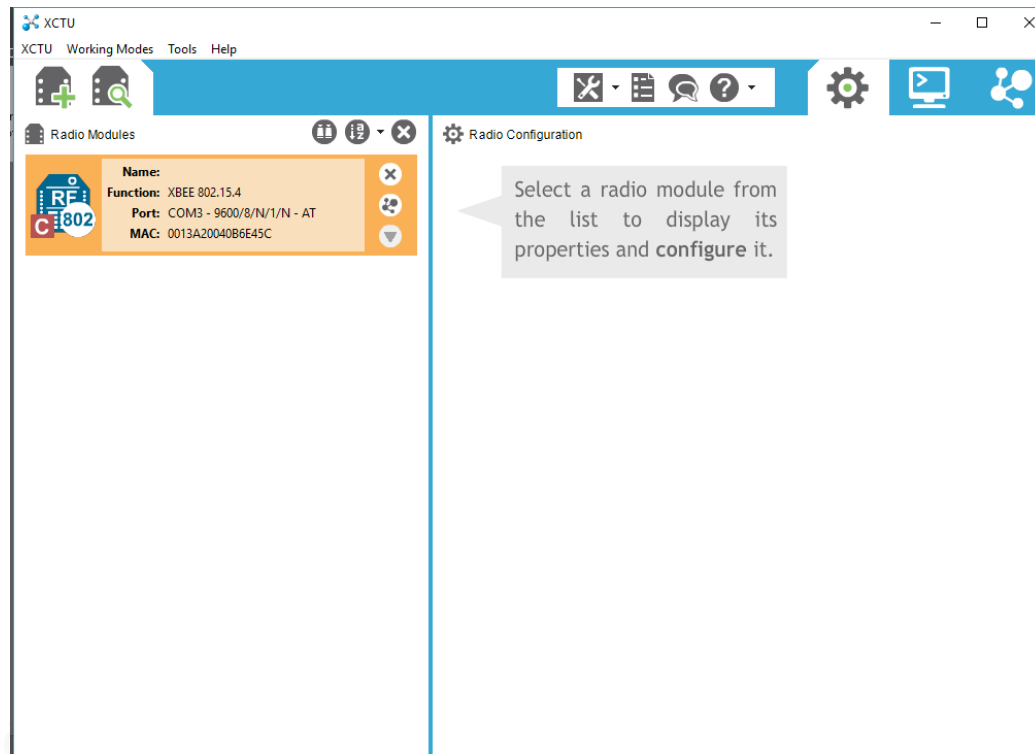


Imagen 3.0.56 Interface Software XCTU

8. Una vez que demos clic sobre el módulo, aparecerán los parámetros de configuración de nuestro módulo XBee, para enlazar la comunicación con el otro XBee fue necesario modificar 4 parámetros como lo son: la misma dirección “ID PAN”, “DH DESTINATION ADDRESS HIGH”, “DH DESTINATION ADDRESS LOW” Y “CE COORDINATOR ENABLE”. identificados en la tabla 3.4 que se muestra a continuación:

Parámetro por modificar	Valor
ID PAN ID	9032
DH Destination Address High	13A200
DH Destination Address Low	40B6E46F
CE Coordinator Enable	Coordinator [1]

Tabla 3.4 Valores de configuración para el módulo XBee del Receptor Portátil en XCTU

**Se encierran en un recuadro rojo dichos parámetros que se modificaron. Imagen 3.0.57*

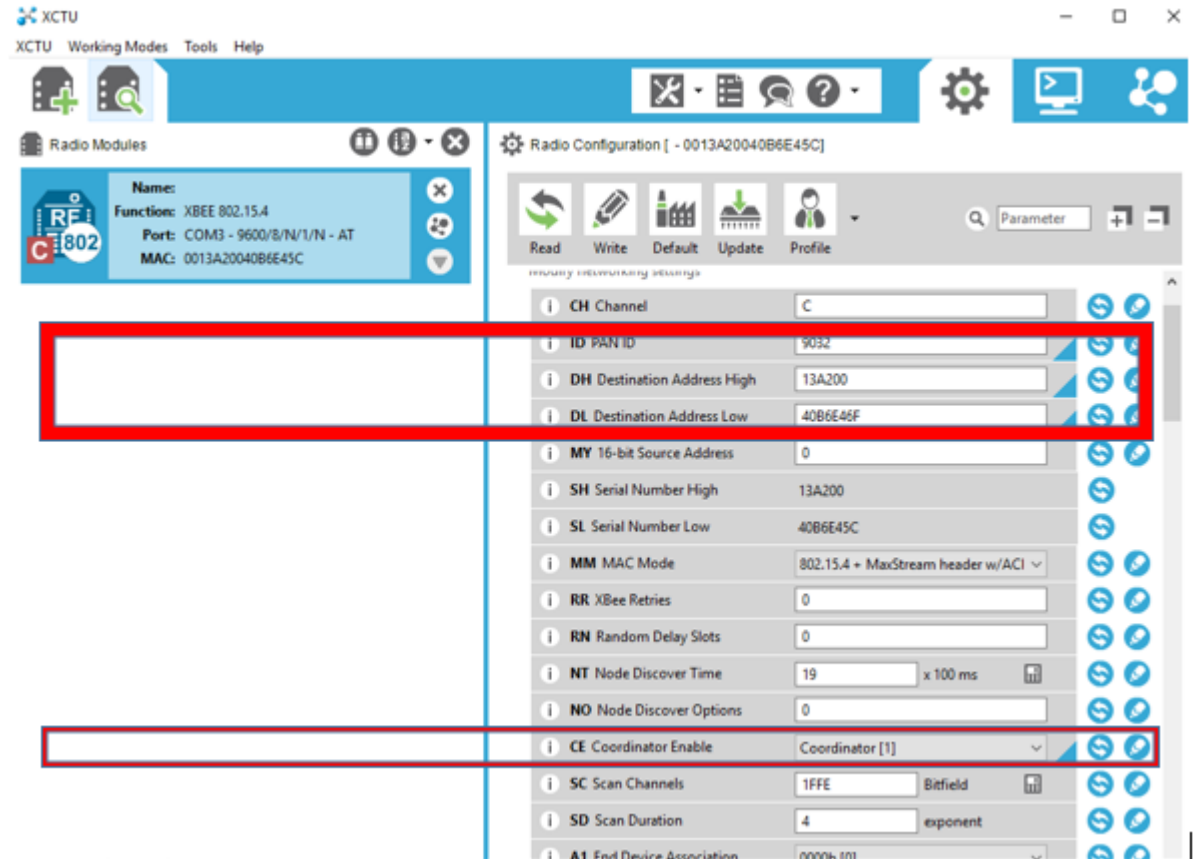


Imagen 3.0.57 Interface Software XCTU

9. Para que los nuevos valores que modificamos se guarden es necesario dar clic en la opción “Write” de esta forma los nuevos parámetros serán escritos en nuestro módulo de RF como se muestra en la imagen 3.0.58

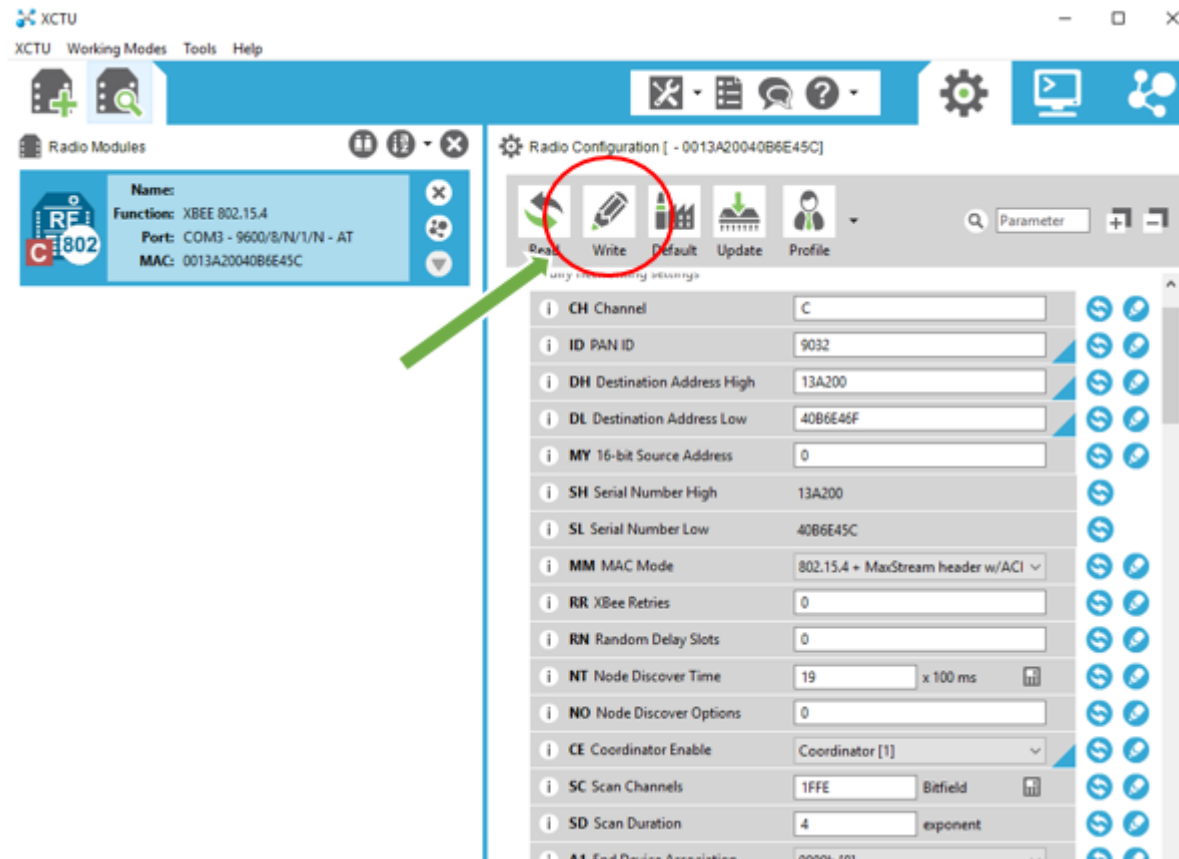


Imagen 3.0.58 Interface Software XCTU

10. Para establecer una conexión con otro módulo XBee hay que conectarlo a nuestra PC y asignarle un puerto COM como en los incisos anteriores, solo que en el parámetro “CE COORDINATOR ENABLE” cambiar la opción a “END DEVICE” como se muestra en la figura 3.0.59

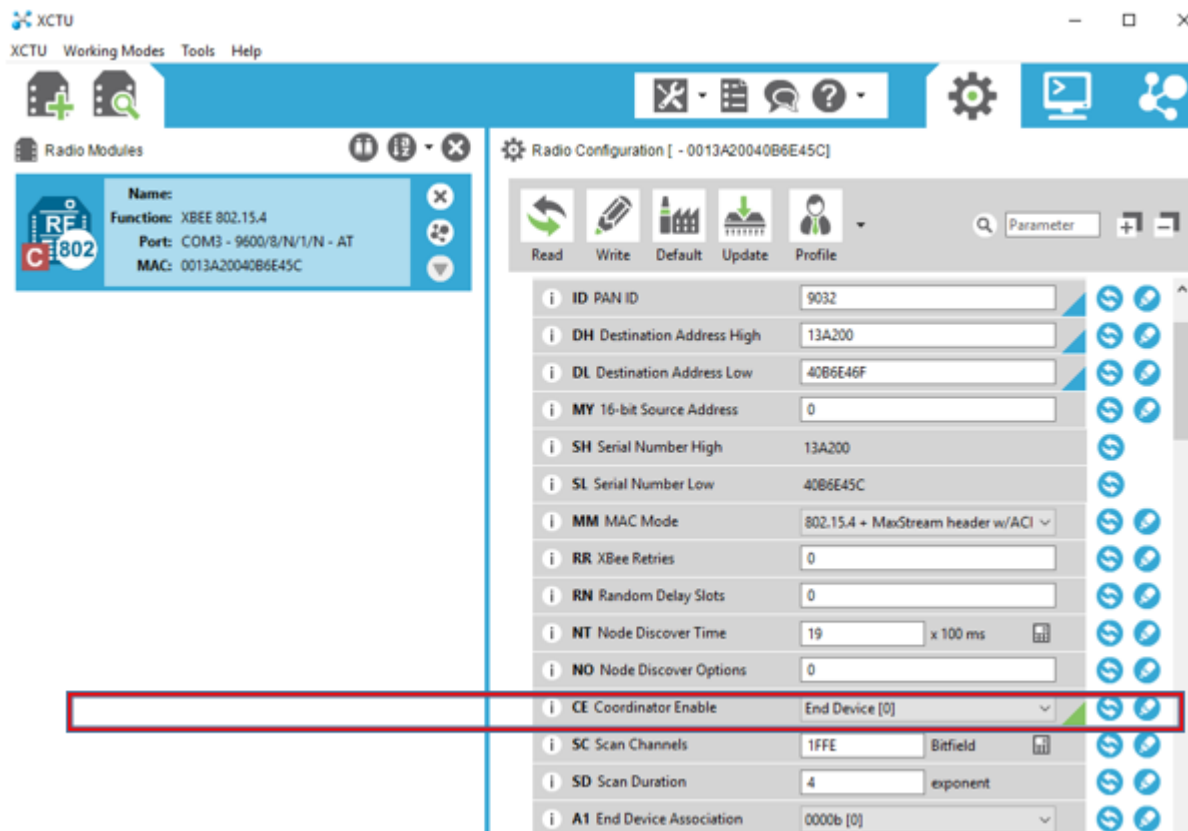


Imagen 3.0.59 Interface Software XCTU

*Hecho esto nuestros dispositivos funcionaran como emisor y receptor respectivamente.

11. Para enviar paquetes de datos dar clic en la parte superior derecha, que señala la imagen 3.0.60

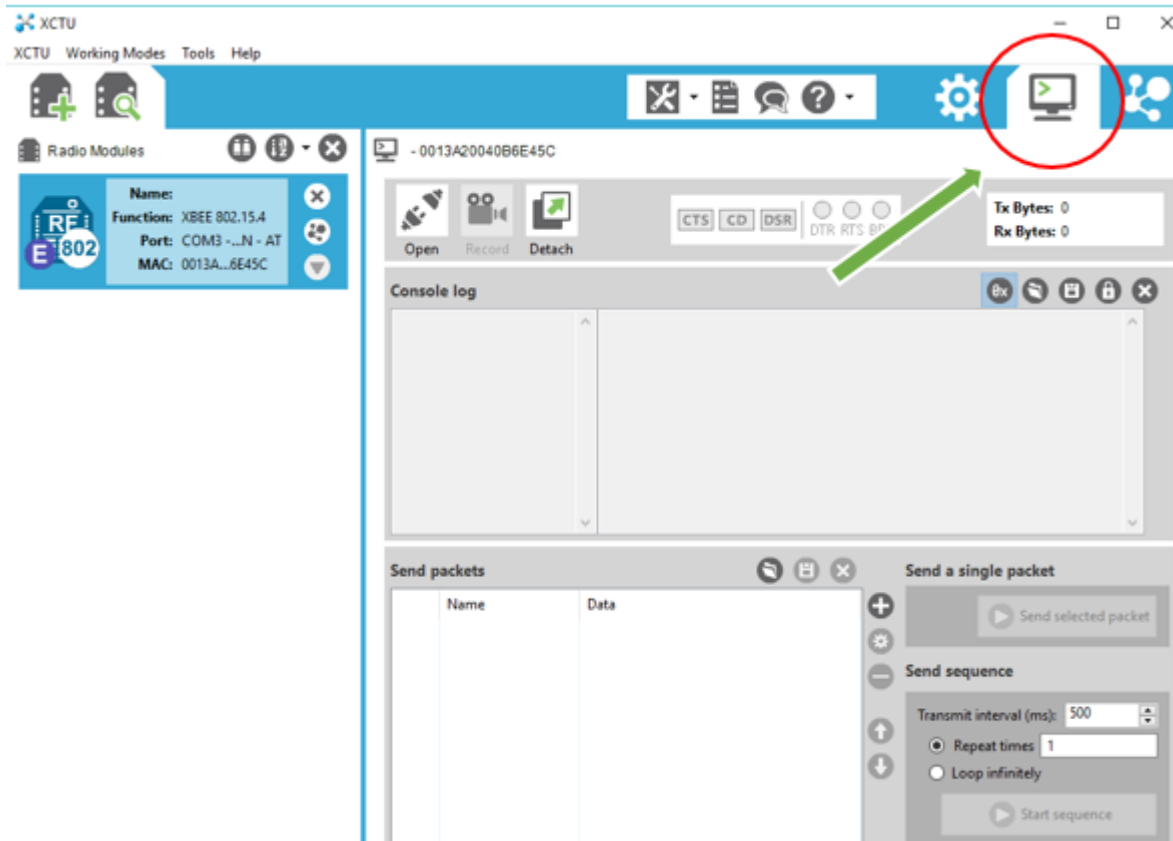


Imagen 3.0.60 Interface Software XCTU

12. Habilitar la conexión para el envío de datos dando clic donde se muestra en ambos módulos. Imagen 3.0.61

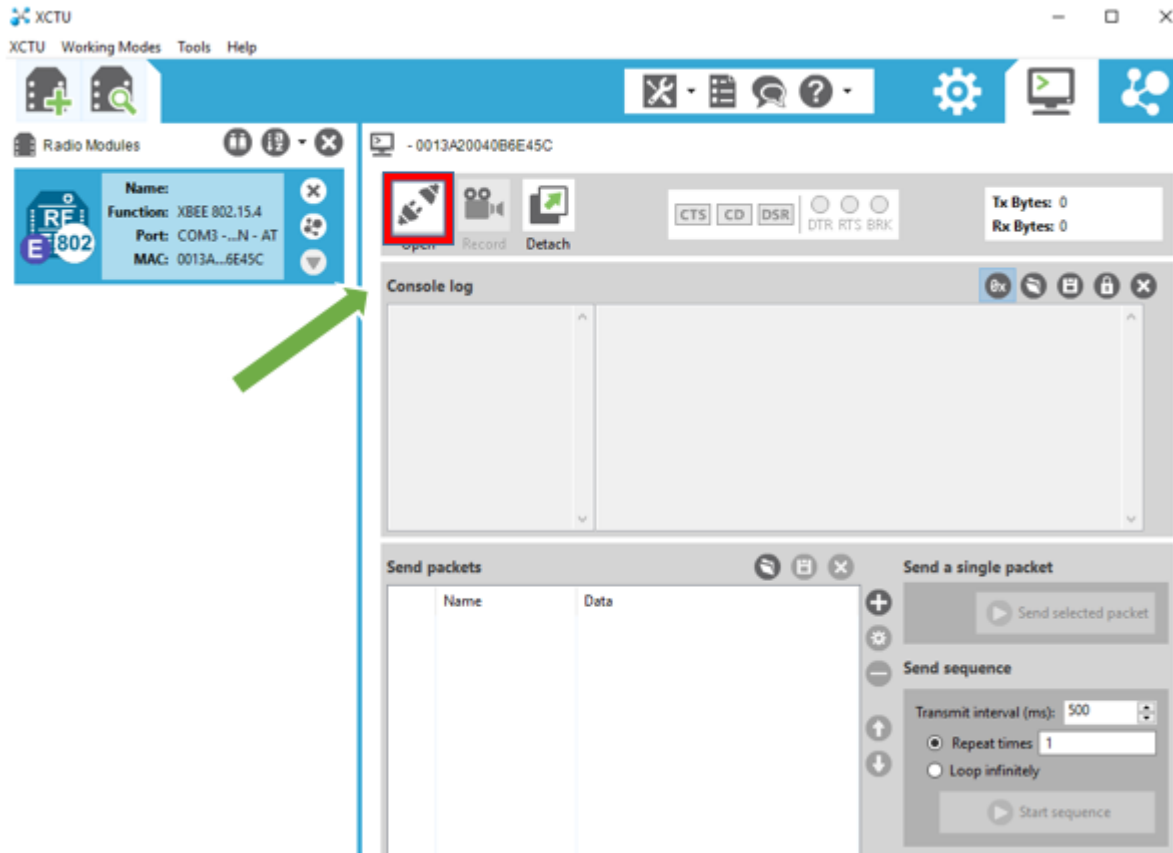


Imagen 3.0.61 Interface Software XCTU

13. Para comenzar el envío de paquetes dar clic en la siguiente pestaña. Imagen 3.0.62

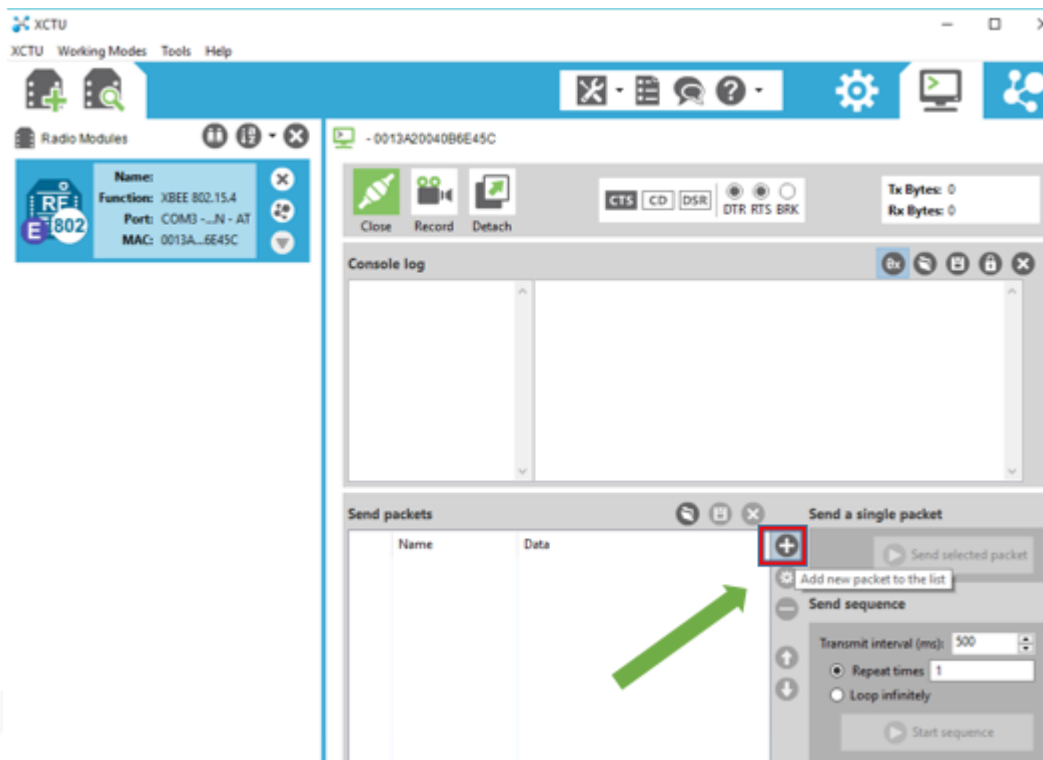


Imagen 3.0.62 Interface Software XCTU

14. Es posible enviar paquetes en ASCII y HEXADECIMAL y enviar esa secuencia cuantas veces se requiera. Imagen 3.0.63

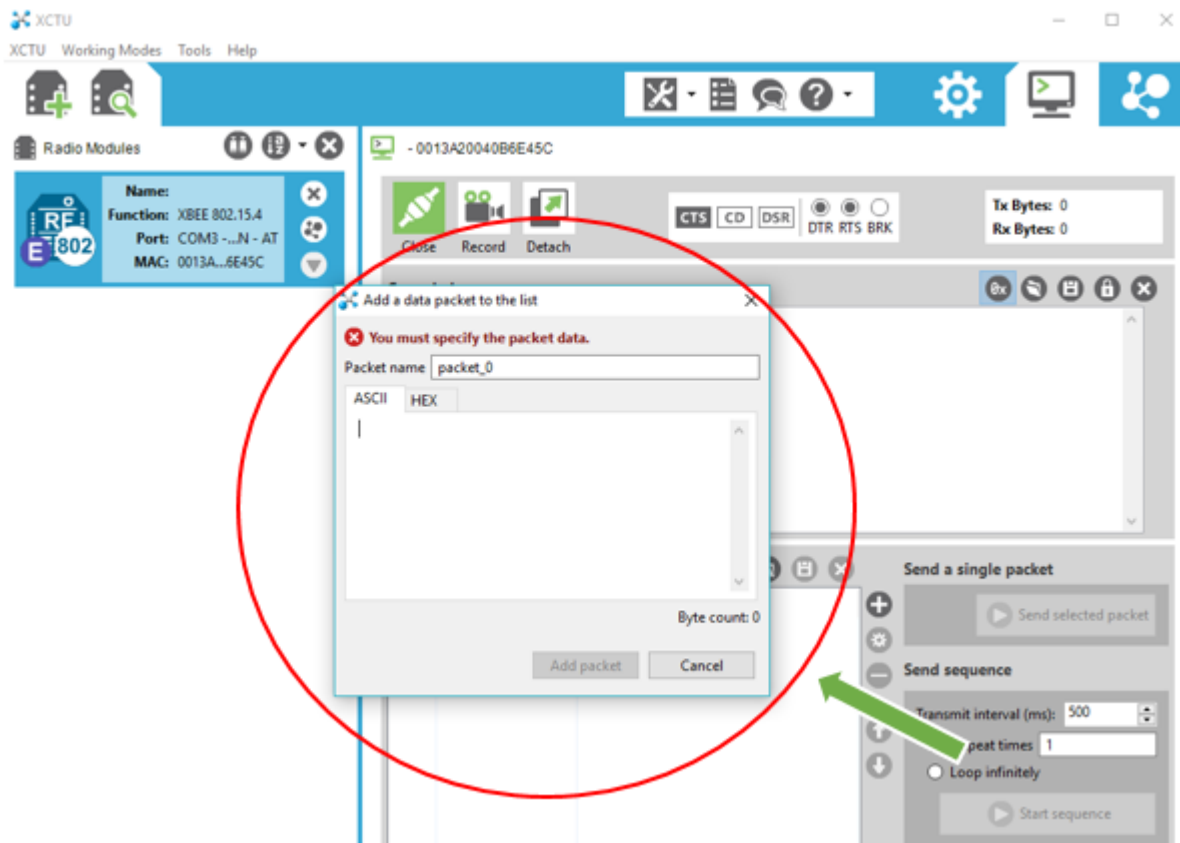


Imagen 3.0.63 Interface Software XCTU

15. En el recuadro señalado podemos variar la frecuencia y tiempo del envío de datos de la manera que se desee. Imagen 3.0.64

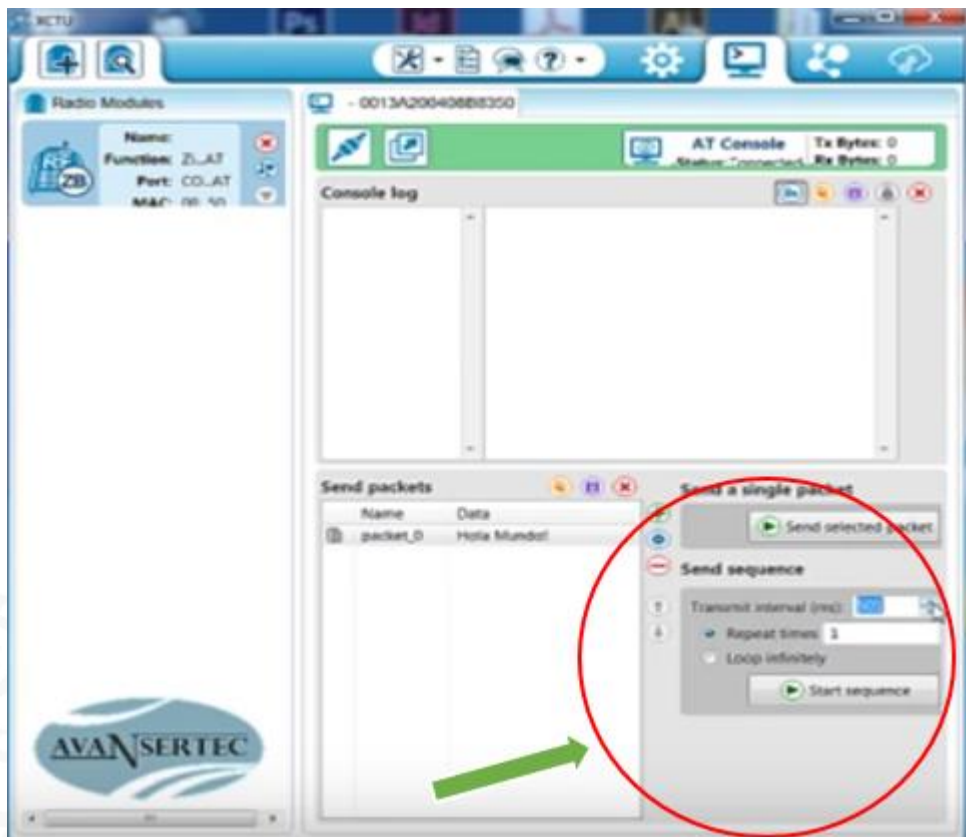


Imagen 3.0.64 Interface Software XCTU

16. Aparecerá una ventana, en la cual podremos buscar la dirección del archivo deseado. Seleccionamos dicho archivo y en automático se cargará. Imagen 3.0.65

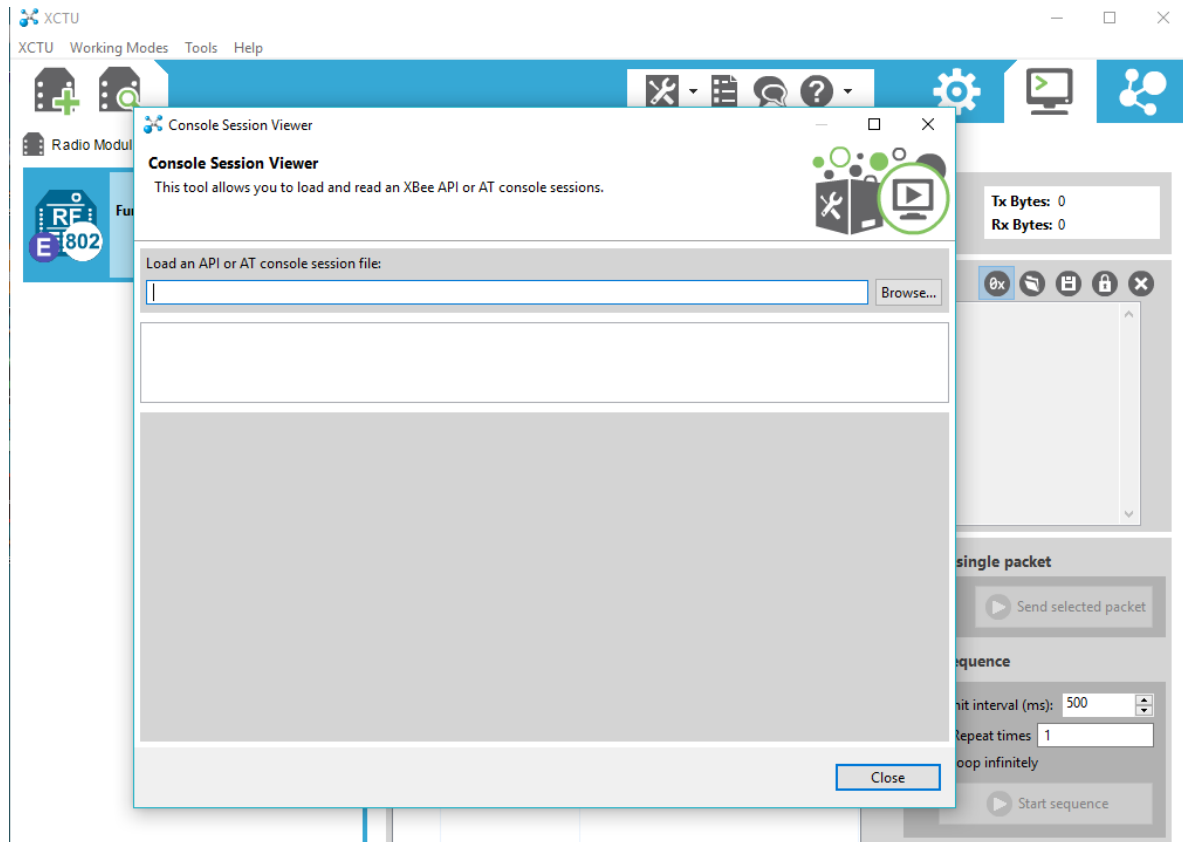


Imagen 3.0.65 Interface Software XCTU

17. La información enviada aparecerá de la siguiente manera, como se muestra en la figura 3.0.66

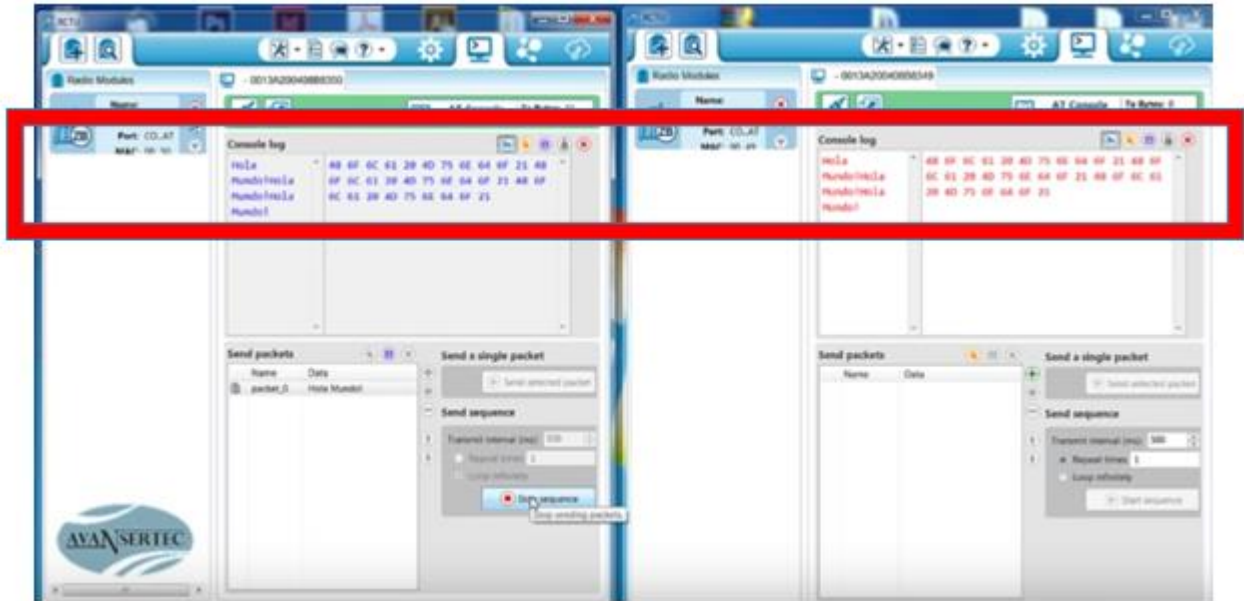


Imagen 3.0.66 Interface Software XCTU

3.11 Antena Omnidireccional del Módulo XBee S1®

Se optó por utilizar una antena omnidireccional de marca TP-LINK® modelo TL-ANT 2408CL que se muestra en figura 3.0.67 y que cuenta con las siguientes características.

- Bisagra para opciones de posicionamiento
- 8 dBi de ganancia
- Omnidireccional
- Con una frecuencia de hasta 2.4 GHz
- Impedancia de 50Ω
- Largo: 6.7 in (17 cm)
- Conector RP-SMA Female



Imagen 3.0.67 Antena omnidireccional TP-LINK®

3.12 Módulo receptor portátil

El módulo receptor de datos portátil es, en realidad el complemento de la instrumentación electrónica del robot móvil. Este segundo módulo de instrumentación incluye, en lo general, cinco elementos principales una pantalla lcd que muestra los valores de los indicadores que proporcionan los sensores, un microcontrolador que decodifica las señales receptoras que se reciben vía radiofrecuencia, un módulo XBee S1 en modo “End Device” (receptor), una antena omnidireccional y una fuente de energía eléctrica (batería LiPo), según se muestra en la figura 3.0.68

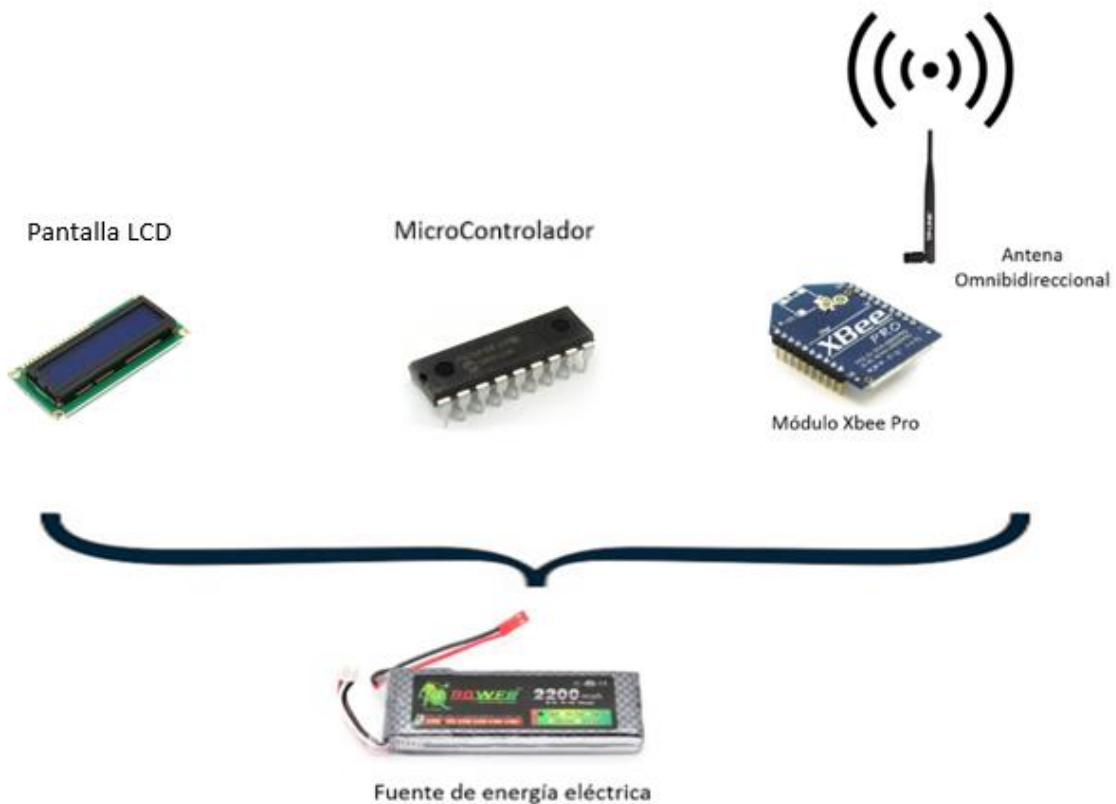


Imagen 3.0.68 Diagrama Pictográfico del Módulo Receptor Portátil

3.12.1 Pantalla LCD 16x2

La pantalla LCD 16x2 modelo JDH162A utilizada como elemento de visualización de datos en el módulo receptor se muestra en la figura 3.0.69 y cuenta con las siguientes características eléctricas en la tabla 3.5

Parameter	Symbol	Testing Criteria	Standard Values			Unit
			Min.	Typ.	Max	
Supply voltage	V _{DD-V} SS	-	4.5	5.0	5.5	V
Input high voltage	V _{IH}	-	2.2	-	V _{DD}	V
Input low voltage	V _{IL}	-	-0.3	-	0.6	V
Output high voltage	V _{OH}	-I _{OH} =02mA	2.4	-	-	V
Output low voltage	V _{OL}	I _{OL} =1.2mA	-	-	0.4	V
Operating voltage	I _{DD}	V _{DD} =5.0V	-	1.5	3.0	mA

Tabla 3.5 Características eléctricas de la LCD



Imagen 3.0.69 Pantalla LCD 16x2

3.12.2 Microcontrolador PIC 16F88

El módulo receptor portátil se construye utilizando el microcontrolador PIC 16F88 ya que será el encargado de decodificar las lecturas de los sensores para mostrarlas a través de la pantalla LCD. Para programar el microcontrolador se utilizó el software “PIC C COMPILER”. El logo de dicho programa se muestra en la figura 3.0.70

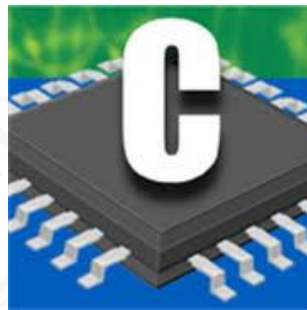


Imagen 3.0.70 Logo PIC C Compiler

3.12.2.1 Configuración de la pantalla lcd en PIC C Compiler

1. Será necesario abrir nuestro programa, dar clic en la parte superior izquierda, seleccionar “NEW”, “SOURCE FILE” como se aprecia en la imagen 3.0.71

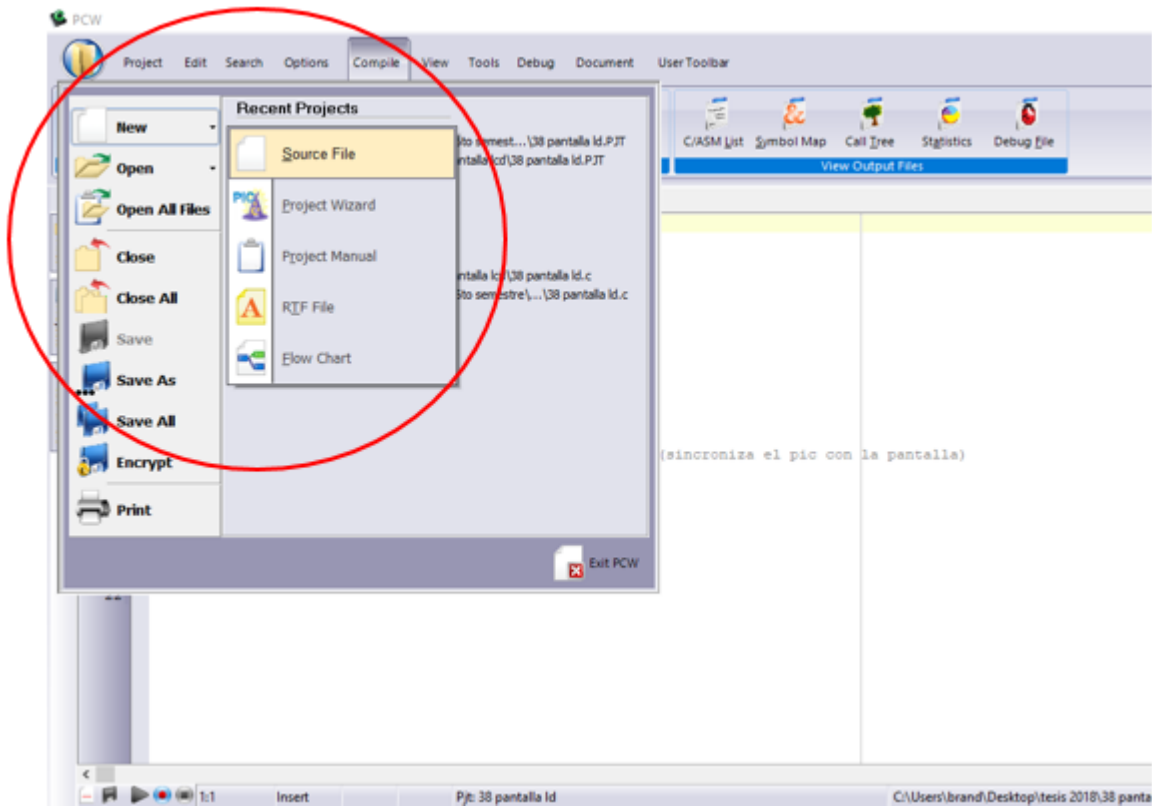


Imagen 3.0.71 Hacer un nuevo archivo en PIC C Compiler

2. A continuación, se muestra un programa ejemplo (imagen 3.0.72) de la programación que debemos utilizar para la habilitación de nuestra LCD.

```
// 38 mensaje en pantalla lcd
//Directivas
#include <16f88.h>
#fuses xt,nowdt,noprotect
#use delay(clock=4000000)
#use standard_io(B)
#include <lcd.c> //librería de habilitación pantalla lcd

//programa principal

void main () {
```

```
lcd_init(); //habilita el uso de la pantalla lcd
delay_ms(200); //retardo necesario para el uso de la lcd (sincroniza el pic con la pantalla)
lcd_gotoxy(1,1);
lcd_putc("MEDICION SENSORES");
lcd_gotoxy(3,2);
lcd_putc("Temp 24° GAS 0PPM ");
}
```

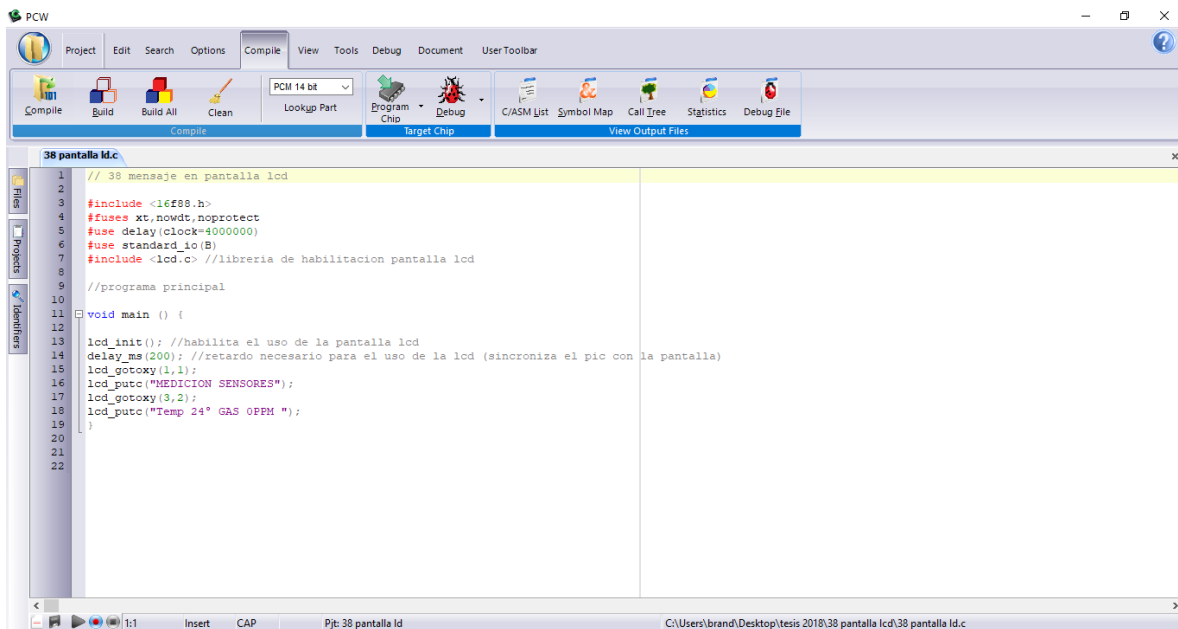


Imagen 3.0.72 Interfaz de Programación en PIC C Compiler

- Una vez terminada nuestra programación ir a la pestaña compilar y dar clic, si el programa está libre de errores aparecerá como la figura 3.0.73 Verificar que en la parte inferior haya De lo contrario marcará error y habrá que corregir la programación.

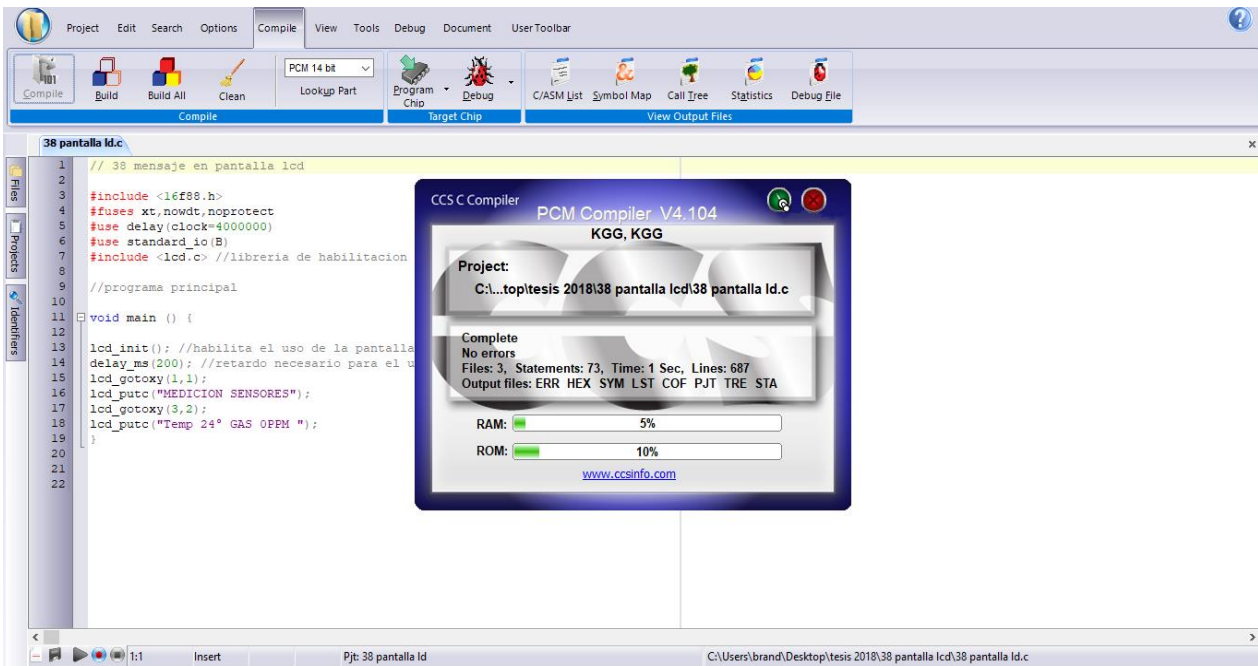


Imagen 3.0.73 Compilación Correcta en PIC C Compiler

4. Como se muestra en la figura 3.0.74 En la parte inferior izquierda, nos aparecerá dos señales de alerta que nos indican 0 errores en la programación y cero alertas.

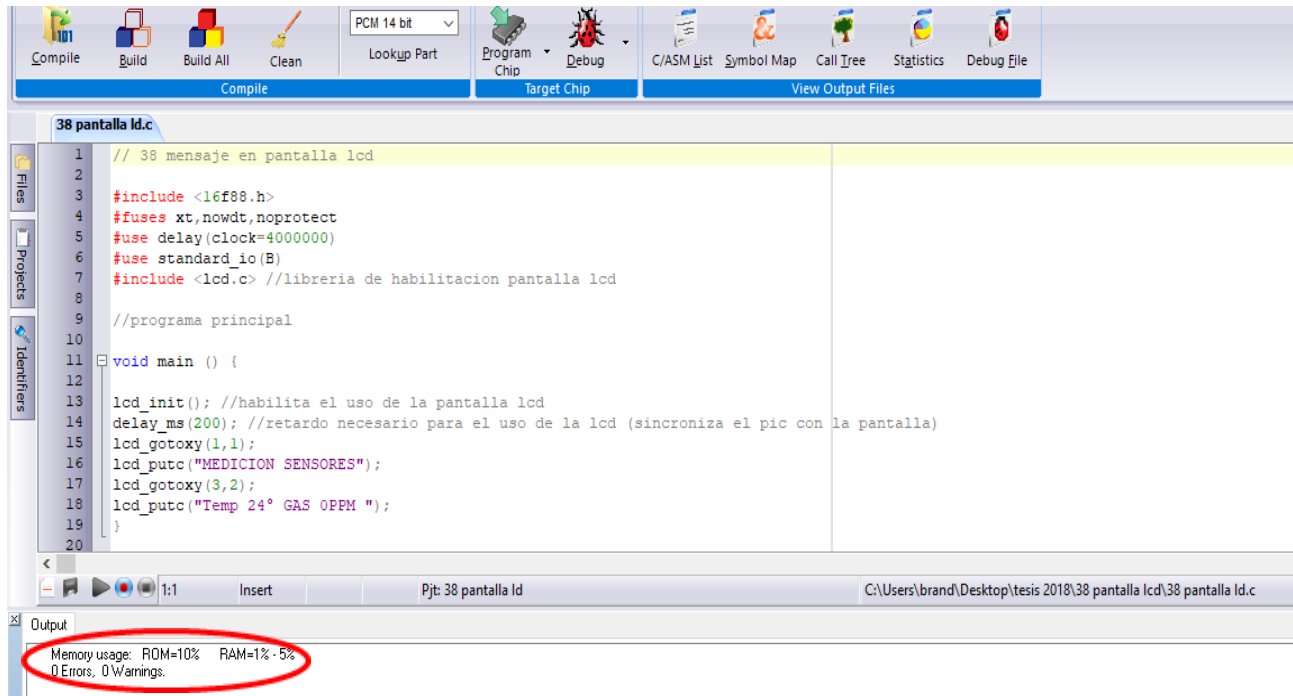


Imagen 3.0.74 0 Errores 0 Alertas en PIC C Compiler

3.12.3 Modulo XBee S1 Receptor

El módulo XBee S1 descrito anteriormente cumplirá en este caso la función de receptor de datos.

La configuración se realizará de la misma manera, únicamente tendremos que cambiar la manera de operación de nuestro módulo de “Coordinador” por “End Device”, como se muestra en la figura 3.0.75 En la tabla 3.6 se muestran los valores para nuestro módulo XBee.

Parámetro por modificar	Valor
ID PAN ID	9032
DH Destination Address High	13A200
DH Destination Address Low	40B6E46F
CE Coordinator Enable	End Device [0]

Tabla 3.6 Valores de configuración para el módulo XBee del Receptor Portátil en XCTU

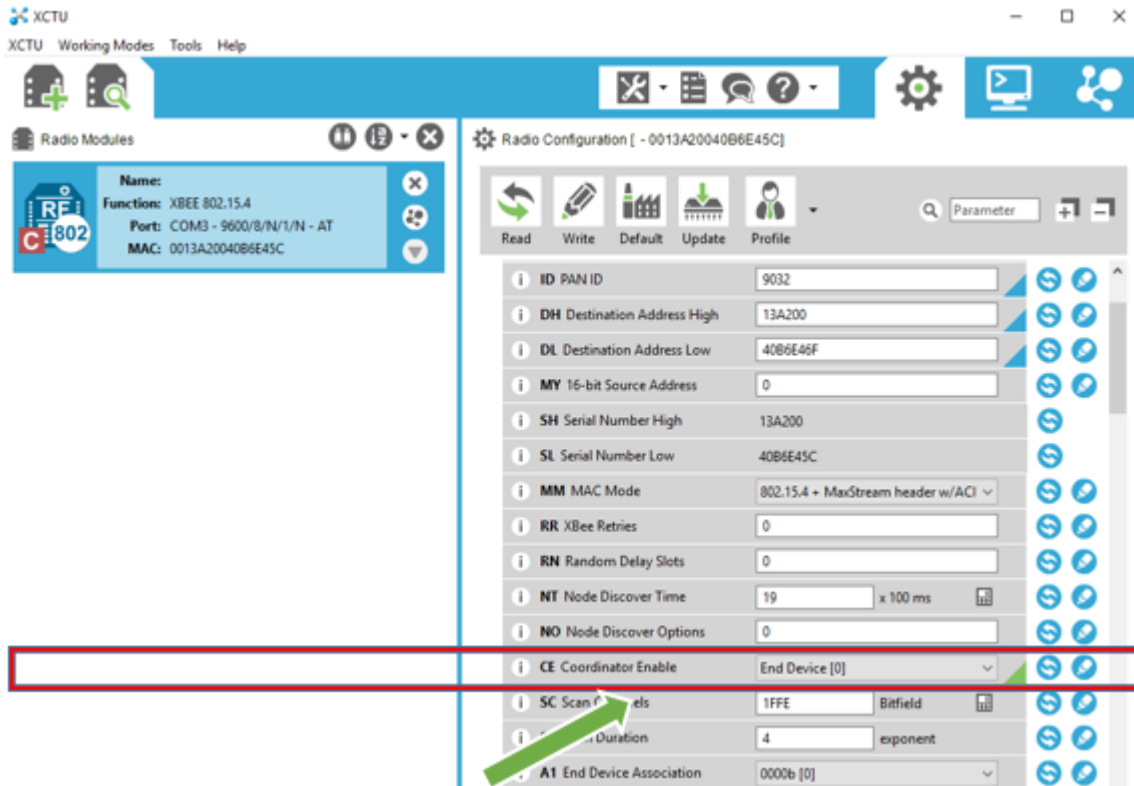


Imagen 3.0.75 CE Coordinator Enable

3.12.4 Antena Omnidireccional Receptora del Módulo XBee S1®

Se usará una antena con las mismas características del módulo de adquisición de datos. Antena omnidireccional de marca TP-LINK® modelo TL-ANT 2408CL que se muestra en figura 3.0.76 y que cuenta con las siguientes características:

- Bisagra para opciones de posicionamiento
- 8 dBi de ganancia
- Omnidireccional
- Con una frecuencia de hasta 2.4 GHz
- Impedancia de 50Ω

- Largo: 6.7 in (17 cm)
- Conector RP-SMA Female



Imagen 3.0.76 Antena omnidireccional TP-LINK®

A continuación, se muestra en la figura 3.0.77 el diseño del módulo receptor de datos realizado en el software Proteus. Y en la figura 3.0.78 se muestra el módulo en una caja plástica moldeada.

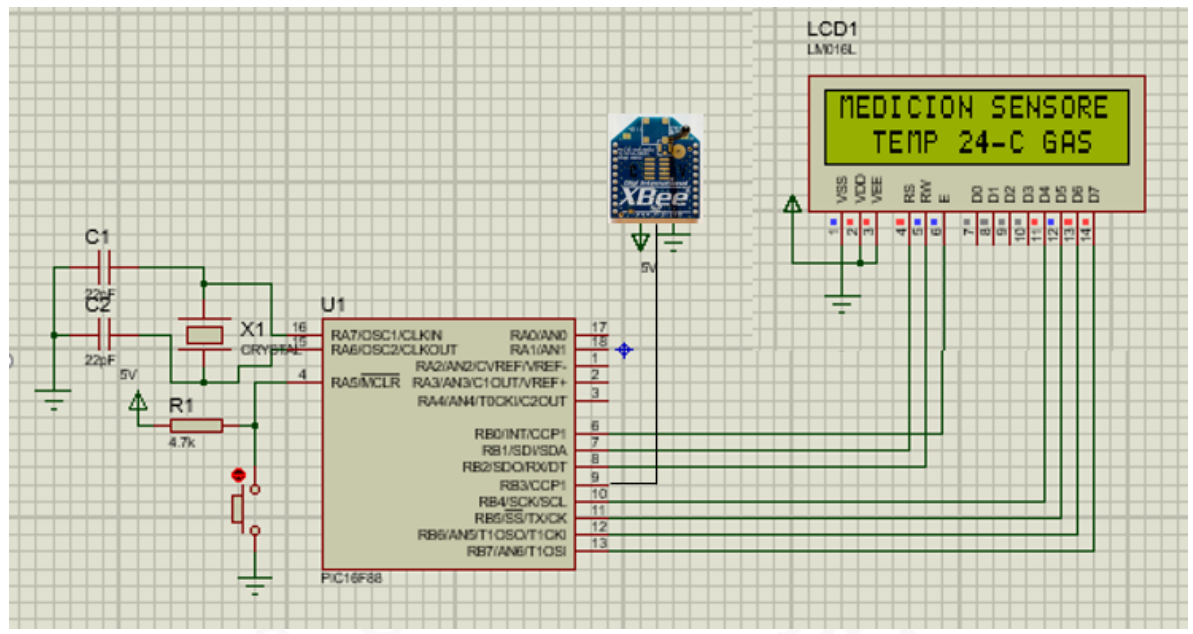


Imagen 3.0.77 Diagrama Pictográfico del Módulo Receptor Portátil en Software Proteus 8

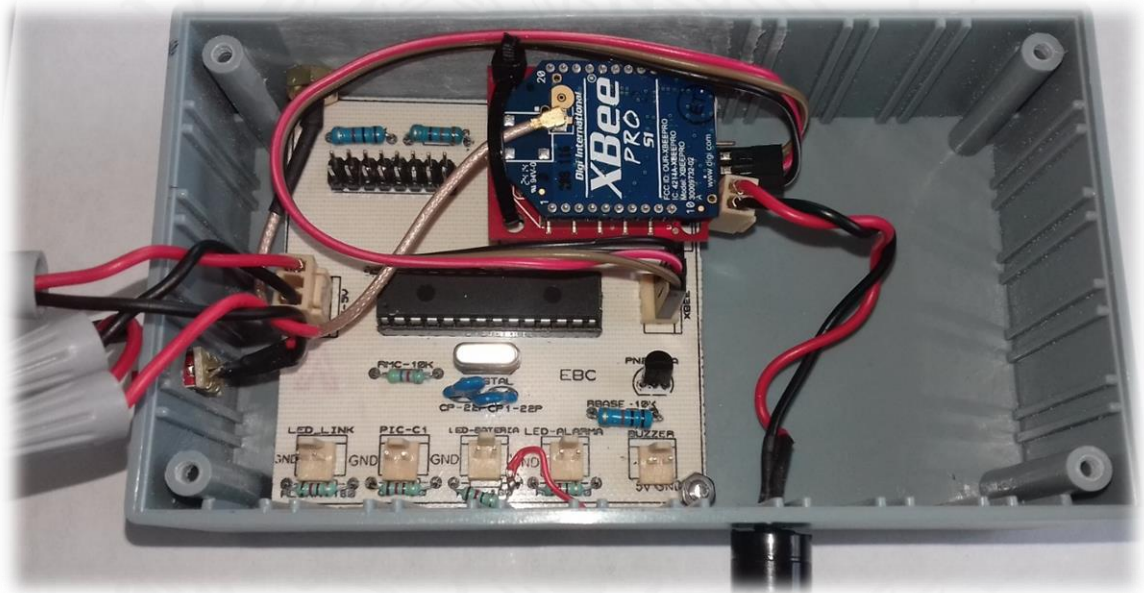


Imagen 3.0.78 Módulo Receptor Portátil en caja plástica moldeada.

CAPITULO IV “RESULTADOS”



Se realizaron varias pruebas en ambientes controlados. Así como pruebas en dos minas distintas:

- Mina la Trinidad ubicada en Tequisquiapan, Querétaro, México
- Mina “la Negra” ubicada en Cadereyta de Montes Querétaro

Los resultados obtenidos de dichas pruebas fueron los siguientes.

4.1 Prueba en Mina la Trinidad ubicada en Tequisquiapan, Querétaro, México

4.1.1 Dimensiones

Una vez ensamblados los accesorios a la estructura WildThumper 6WD se obtuvo como resultado un prototipo de vehículo robotizado teledirigido con dimensiones de 40 cms de largo, 23 cms de ancho y 20 cms de altura tipo todo terreno que se muestra en la figura 4.0.1



Imagen 4.0.1 Robot WildThumper 6WD® en mina de ópalo

4.1.2 Características eléctricas y mecánicas

Mecánicamente se pudo constatar que el sistema de locomoción es capaz de mover una masa de 3,618.85g definida por los accesorios previstos originalmente. Bajo el amparo del análisis matemático se determinó una potencia de 31.139 watts requeridos para mover la masa (Huitrón, 2016); utilizando una batería de 5000mAh a 7.4 volts se obtiene una potencia de 37 watts suficiente para el vehículo.

El vehículo robotizado de ruedas es capaz de atravesar obstáculos pequeños como vigas de madera de hasta 10 cms de altura y la velocidad a la que se desplaza es menor a 1.005 m/s debido a la masa de arrastre del vehículo. Después de realizar pruebas de potencia en pendientes se obtuvo que el vehículo es capaz de subir una pendiente de hasta 30° (imagen 4.0.2). Al superar este valor, el vehículo requiere mayor energía lo cual genera un desgaste prematuro de la vida de la batería.

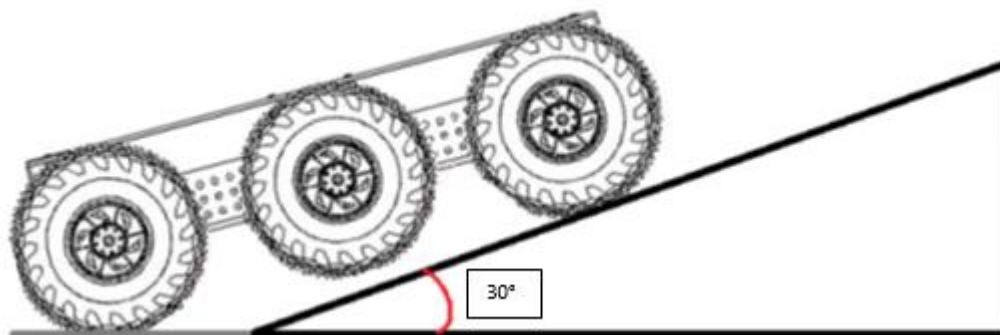


Imagen 4.0.2 Robot WildThumper a 30° de inclinación

4.1.3 Alcance

En cuanto al sistema de telemetría (Sistema de control) se logró tener un control a distancia de 200 m en espacio abierto como se muestra en la figura 4.0.3



Imagen 4.0.3 Prueba de Radiocontrol del Robot WildThumper en mina de ópalo.

Realizando pruebas de operación al interior de una mina de ópalo ubicada en el municipio de Tequisquiapan, Querétaro. Cabe señalar que las condiciones de la orografía del terreno resultaron bastante abruptas debido a la gran cantidad de material (piedras sueltas) que se encuentran sobre el camino, como se aprecia en la figura 4.0.4



Imagen 4.0.4 Prueba orográfica del Robot WildThumper en mina de ópalo.

En la prueba de alcance se pudo mantener el control del vehículo una distancia aproximada de 150 metros; mientras que para la imagen de video se logró una distancia de aproximadamente 30 metros como se muestra en la figura 4.0.5 Esta distancia se convierte en una referencia que deberá mejorarse con sistemas de comunicación inalámbrica más potentes para la cámara de video infrarroja.



Imagen 4.0.5 Prueba de video del Robot WildThumper en mina de ópalo.

Por otra parte, la instrumentación electrónica del vehículo para medir temperatura, humedad y gas logro un alcance al interior de la mina de aproximadamente 200 m con los módulos XBee Pro S1 como se muestra en la figura 4.0.6



Imagen 4.0.6 Prueba de recepción de datos del Robot WildThumper en mina de ópalo.

4.2 Prueba en Mina “la Negra” ubicada en Cadereyta de Montes Querétaro



Imagen 4.0.7 Robot Móvil en Mina la Negra



Imagen 4.0.8 Robot Móvil en Mina la Negra

A continuación, se muestra una tabla final de las características finales del robot:

Parámetro	Valor
Dimensiones	40 largo X 23 ancho X 20 altura (centímetros)
Masa de arrastre	3,618.85g
Potencia de consumo	31.1390 watts
Velocidad	1.00 m/s
Pendiente máxima de subida	30°
Alcance máximo RC	100 m en espacio abierto
Altura máxima de obstáculo	10 cm
Voltaje del motor	7.4 Vcd
Voltaje de control	12 Vcd
Torque para motor	0.3098 Nm

Tabla 3.7 Características del Robot WildThumper.

4.4 Impacto social

Una vez que el prototipo estuvo terminado se decidió participar en diversos eventos académicos con la finalidad de difundir el proyecto.

En distintos eventos académicos tuvimos la dicha de acercarnos un poco más a la ciencia a través de distintos proyectos realizados por otros jóvenes emprendedores de otras instituciones académicas, lo cual nos permitió conocer lo que se estaba realizando en otras instituciones, también disfrutamos de una convivencia sana y de mucho aprendizaje en áreas como: medicina, ciencias ambientales, mecánica, modelos de negocio, química entre muchas otras además de eso conocimos personas nuevas de diferentes estados de la república y también de diferentes países entre asesores, jurados, participantes, rectores, empresarios, gobernantes y hasta un astronauta de origen mexicano.

A continuación, se citan algunos de los eventos en los cuales tuvimos la oportunidad de ser participantes:

- 1er lugar en el evento **“Nuevos Talentos Científicos y Tecnológicos 2015 del Estado de Querétaro”** por el organismo CONCYTEQ en agosto del 2015



Imagen 4.0.9 Evento nuevos Talentos en el ITSJR

- 1er lugar en ExpoCiencias Querétaro 22-24 de octubre del 2015 en la categoría ciencias de la ingeniería



Imagen 4.0.10 ExpoCiencias 2015 Universidad de Durango Campus Querétaro

- Participantes como conferencistas de la 22° semana nacional de ciencia y tecnología y la reunión de egresados el 05 noviembre del 2015



Imagen 4.0.11 Cecyteq Epitacio Huerta, Michoacán

- Participantes en la ExpoCiencias Nacional “Destellos de Ciencia iluminando el Conocimiento” llevado a cabo el 6-9 de diciembre 2015 Tampico-Madero-Altamira



Imagen 4.0.12 Ganadores de la ExpoCiencias Nacional 2015 en Tampico Tamaulipas

- Participación en la Feria de la divulgación científica realizada el 25 y 26 de mayo en la Universidad Autónoma de Querétaro 25 y 26 de mayo del 2016



Imagen 4.0.13 Foto con el secretario de educación del Estado de Querétaro en UAQ Campus Querétaro

- Participación en el Expo-Sciences Latin America (ESI-Amlat) Mazatlán-México del 30 de mayo al 3 de junio del 2016 (**EVENTO INTERNACIONAL LATINOAMERICANO**)



Imagen 4.0.14 ExpoCiencias Latinoamericana 2016 sede en el Mazatlán International Center

- Participación en el CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN DE ACADEMIA JOURNALS.COM, CELAYA 2016 llevado a cabo los días 9,10 y 11 de Noviembre del 2016. **“Vehículo Robotizado de Exploración para la Detección de Gas Metano en Minas de Carbón”**. Congreso Internacional de Investigación de Academia Journals.com Celaya 2015. ISBN 978-1-939982-18-6.



Imagen 4.0.15 Congreso Internacional Academia Journals.com con sede en el Instituto Tecnológico de Celaya

- Reunión en el H. Ayuntamiento de la presidencia Municipal en junio 2016



Imagen 4.0.16 Presidencia Municipal de San Juan del Río

- “VAN A LA EXPOCIENCIAS INTERNACIONAL 2016 CON VEHÍCULO ROBOTIZADO”.
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO 28 de enero del 2016 (Periódico oficial del TecNM)



The screenshot shows the TecNM website interface. At the top, there is a navigation bar with 'gob mx' and 'Trámites Gobierno Participa Datos'. Below it, a secondary navigation bar includes 'TECNM', 'Inicio', 'Director General', 'El TecNM', 'Oferta Educativa', 'Tecnológicos', 'Directorios', and 'Correo Electrónico'. A search bar is located on the right. The main content area features the TecNM logo and a large article titled 'VAN A LA EXPO CIENCIAS INTERNACIONAL 2016 CON VEHÍCULO ROBOTIZADO'. The article includes a photograph of five students standing next to a robotized vehicle in a dark, rocky environment. Below the photo, the text describes the event and the students involved. To the right of the article, there is a 'RECOMENDACIONES' section with a list of categories: Índice de Noticias, TecNM, Ciencia y Tecnología, Académicas, Culturales, Deportivas, and Externas. At the bottom right, there is a 'CONSULTA' button and a link to 'REGIONAL Y NACIONAL Para la Revisión del Modelo Educativo'.

Imagen 4.0.17 Artículo publicado en el diario oficial del TecNM

Algunos de los periódicos del estado de Querétaro publicaron las siguientes notas:

“CONCLUYE LA EXPOCIENCIAS BAJÍO 2015 EN QUERÉTARO”. Por Israel Pérez Valencia. Conacyt Prensa Querétaro 30 de octubre del 2015
<http://conacytprensa.mx/index.php/sociedad/politica-cientifica/3712->

“DESTACAN CECYTEQ Y EL ITSJR EN EXPOCIENCIAS”. Por Miguel Balderas. Periódico Noticias de Querétaro 15 diciembre del 2015
<http://www.noticiasdequeretaro.com.mx/>

“QUERETANOS EN MUESTRA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA”. Diario de Querétaro 15 diciembre del 2015
<http://www.eluniversalqueretaro.mx/secciones/ciencia-y-tecnologia>

“QUERETANOS EN MUESTRA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA”. Noticias de Querétaro 07 de junio del 2016
<http://www.eluniversalqueretaro.mx/secciones/ciencia-y-tecnologia>

“RECONOCE GOBIERNO A JOVENES DESTACADOS DE TECNOLÓGICO DE SAN JUAN DEL RÍO”. Diario Rotativo 14 de junio del 2016
<https://rotativo.com.mx/noticias/locales/san-juan-del-rio/537314-reconoce-gobierno-jovenes-destacados-tecnologico-san-juan-del-rio/>

“GOBIERNO DE MEMO VEGA RECONOCE A JOVENES DESTACADOS”. Sanjuandelrio.gob.mx 15 de junio del 2016
<https://www.sanjuandelrio.gob.mx/index.php/prensa/comunicados/21-comunicados?start=490>





CONCLUSIONES



CONCLUSIONES FINALES

El proyecto “Vehículo robotizado de exploración para la detección de gas metano en minas de carbón” es una opción útil en algunas aplicaciones de rescate y/o exploración no solo en minas de carbón sino en minas de cualquier metal asimismo se logró demostrar que los robots móviles de ruedas son una alternativa viable con el fin de evitar poner en peligro la vida del ser humano ya que el prototipo es capaz de proporcionar información en tiempo real de las condiciones ambientales y orográficas en la zona de exploración, ya que su uso nos permite llegar a lugares donde el ser humano no puede llegar.

En base a los objetivos planteados podemos concluir que los dispositivos electrónicos empleados para la detección de humedad, temperatura y gas metano fueron los correctos y funcionan en el interior de la mina. La comunicación inalámbrica es un área de oportunidad que encontramos en nuestro robot ya que al recorrer una distancia de 200 metros es difícil obtener información dentro de la mina. Además, será necesario la implementación de una alarma visual y vibratoria en caso de que haya presencia de gas metano, ya que algún tipo de ruido podría impedir que escuchemos la alarma del dispositivo portátil, haciendo esto garantizamos que el usuario se percate de la presencia de gas en el interior de la mina.

Realizando las pruebas también nos percatamos que una cámara termográfica nos podría ayudar a obtener una mejor imagen en ambientes oscuros ya que es un instrumento que puede detectar temperaturas entre los -20 y los 350°C . La sensibilidad térmica de la cámara es de $0,08^{\circ}\text{C}$, con una resolución espacial (IFOV; campo de visión instantánea) de $2,73$ mrad y una distancia mínima de foco de $0,1$ m. Además, dispone de tarjeta de memoria microSD y conexión USB para descarga de imágenes y un software de análisis de las imágenes totalmente gratuito permitiéndonos tener un mayor rango de visión y acceso de manera más fácil a esa información y poder almacenarla de una manera más fácil y hacer consultas si fuese necesario.



Como trabajo a futuro sería ideal implementar un sistema de geolocalización y poder cargar mapas al robot para que logre ser autónomo.

Respecto al impacto social que el proyecto logro alcanzar en los diferentes eventos académicos mencionados considero que la ciencia y la investigación, contribuyen al crecimiento académico y personal de cada participante brindándole experiencias extraordinarias, conocimientos fuera del aula y fuera de su rama, así como actitudes y aptitudes que lo llevan a desenvolverse de mejor forma en su entorno como futuro profesionista.



REFERENCIAS

- Baturone, A. O. (2001). *Robótica: Manipuladores y Robots Móviles*. México: Marcombo.
- Calandín, L. I. (2008). *Modelado Cinemático y Control de*. Valencia, España: UPV.
- Cortés, F. R. (2011). *Robótica; Control de Robots manipuladores*. México: Alfaomega.
- DIGI. (1996). *DIGI*. Obtenido de <https://www.digi.com/products/xbee-rf-solutions/xctu-software/xctu>
- E-Marmolejo, D. R. (2017, Noviembre 25). *Hetpro-Store*. Obtenido de <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/lm35/>
- Española, R. A. (2015). *RAE.es*. Obtenido de [RAE.es: www.rae.es/recursos/diccionarios/drae](http://www.rae.es/recursos/diccionarios/drae)
- Huitrón, F. D. (2016). *MODELADO MECANICO DE LA ESTRUCTURA*. Querétaro, México.
- Inc., M. T. (1988). *PIC16F88*. Obtenido de <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC16F88>
- Laxtron. (2017, Marzo 26). *Wikipedia*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Gas_metano_de_carb%C3%B3n
- M.A., G. H. (2018, Mayo 24). *Wikipedia*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Sensaci%C3%B3n_t%C3%A9rmica
- Nobel, A. (2018). *International*. Obtenido de <http://www.yachtpaint.com/esp/diy/ask-the-experts/qu%C3%A9-es-la-humedad-relativa.aspx>
- Ojeda, L. T. (2018, Enero 18). *XBee.cl*. Obtenido de <http://xbee.cl/que-es-xbee/>
- Salas, J. (2013, Febrero 10). *Todoelectrodo*. Obtenido de <http://todoelectrodo.blogspot.mx/2013/02/lcd-16x2.html>
- Silva, J. (2016, Marzo). *Aprendiendo Electrónica*. Obtenido de <http://aprendiendoelectronicafacil.blogspot.mx/p/ccs-compiler-v.html>
- WINI. (2018). *WINI México S.A*. Obtenido de https://www.wni.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=62:antenasoporte&catid=31:general&Itemid=79
- Zamora, A. (2018). *330ohms*. Obtenido de <https://www.330ohms.com/products/xbee-explorer-regulated>

ANEXOS

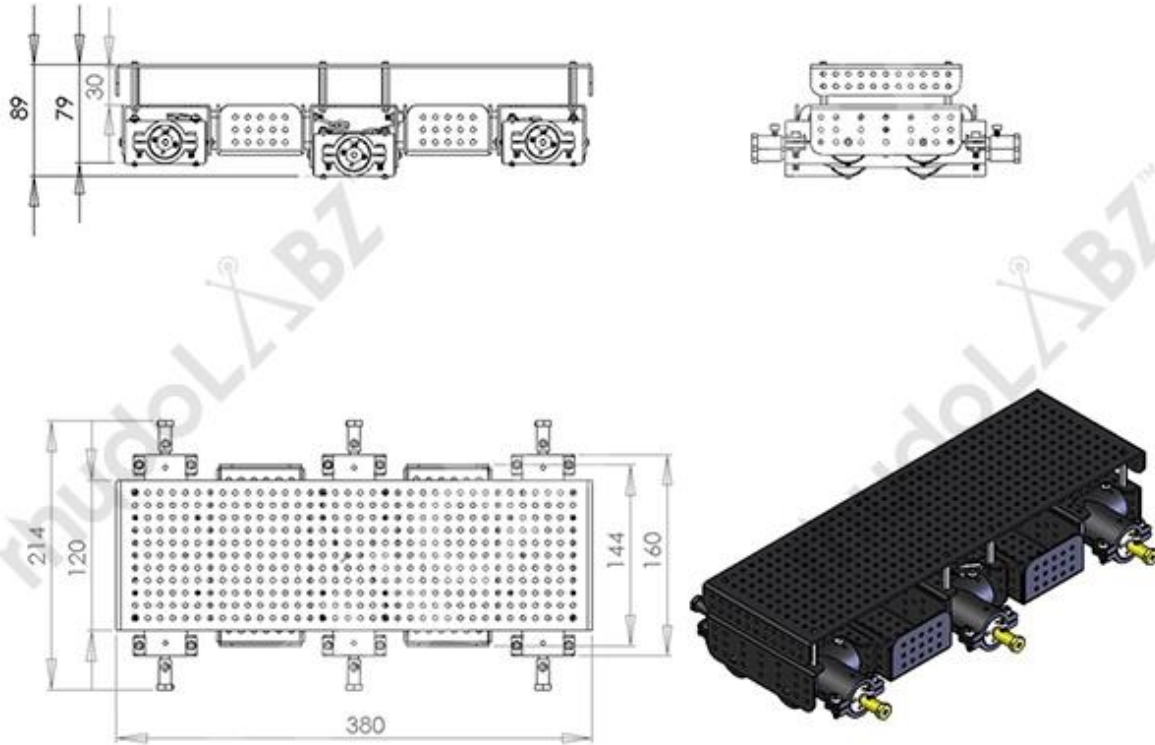


Imagen 5.0.1 Dimensiones físicas de la estructura WildThumper 6WD®

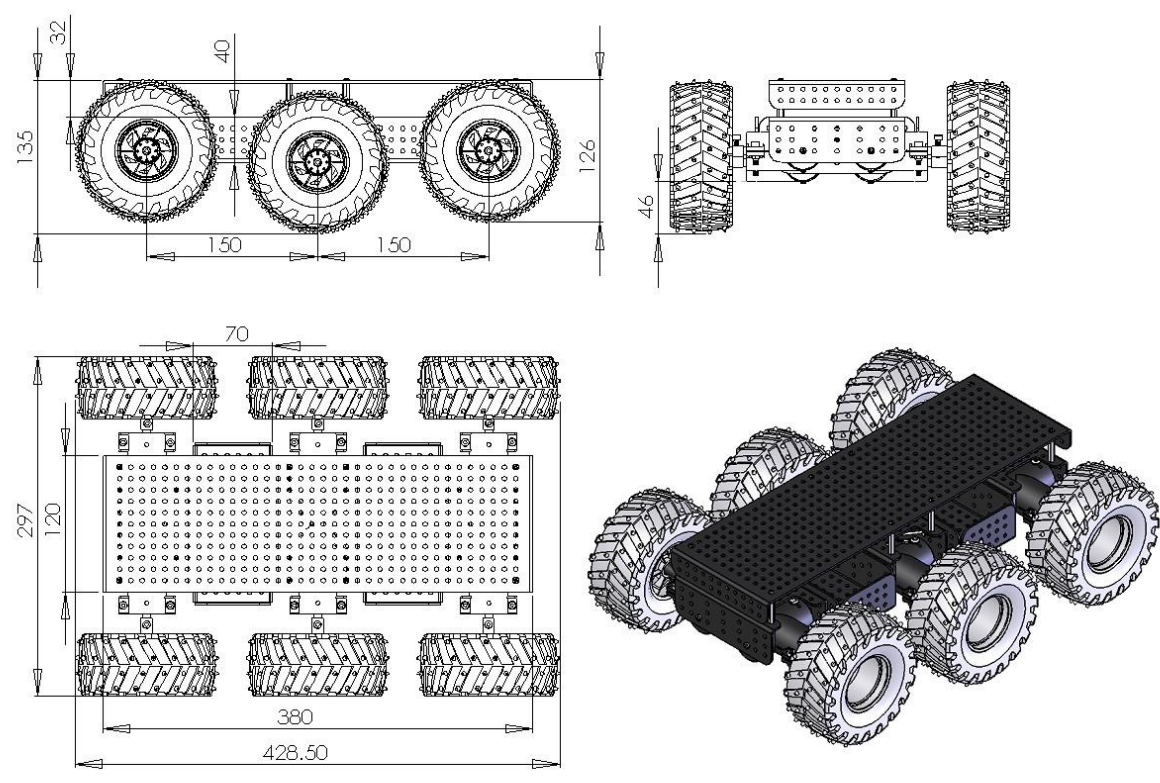


Imagen 5.0.2 Dimensiones físicas de la estructura WildThumper 6WD®

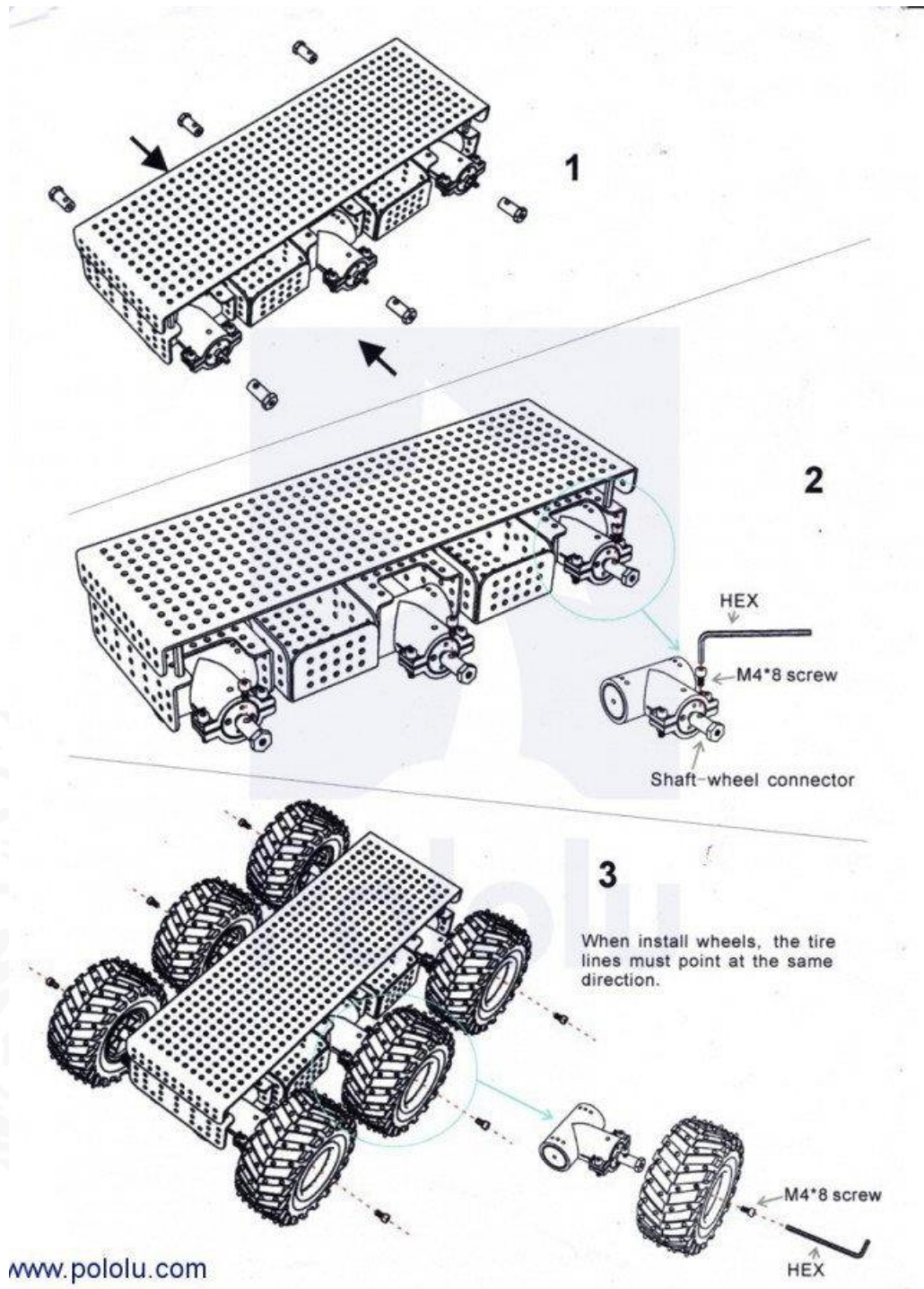


Imagen 5.0.3 Dimensiones físicas de la estructura WildThumper 6WD®

Otorga la presente **CONSTANCIA**:

A los asesores:

M. C. Juan Gabriel Rodríguez Ortiz

M. C. Elsa Cuevas Carrillo

Por obtener el 1° Lugar con el proyecto:

**“ROBOT MOVIL WILDTHUMPER® PARA DETECCIÓN DE
MONOXIDO DE CARBONO EN MINAS SUBTERRANEAS”**

Colaboradores del proyecto:

Corral Salazar Luis Javier, Corral Salazar Daniela Edith, Morales García Anyelo
Salvador, Martínez Hernández Brandon y Téllez Rivera Leticia

El cual fue presentado en la convocatoria de **“Nuevos Talentos Científicos y
Tecnológicos 2016”** del estado de Querétaro auspiciado por el **CONCYTEQ**.

San Juan del Río, Querétaro., a 11 de Noviembre del 2016

“En la cultura seremos”



SEP
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE SAN JUAN DEL RÍO
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA



M.C. Ángel Adad Franco Baltazar
Subdirector Académico



Imagen 5.0.4 Constancia de primer lugar “Nuevos Talentos.”

EXPOCIENCIAS BAJÍO

AC
en colaboración con:

UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE DURANGO
Campus Querétaro

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
DE QUERÉTARO

ZORROBOTICA

Construtora Argos y Asociados S.A. de CV

PRINCIPAL
P.C. S. DE RL DE CV

RED
Red Nacional de Actividades
Juveniles en Ciencia y Tecnología

Otorgan el presente reconocimiento a:

Martinez Hernandez Brandon
por haber obtenido el **1^{er} lugar**, con el proyecto:
Vehículo Robotizado de exploración para la detección de gas metano en minas de carbón
en el área de:
Tecnologías y Ciencias de la Ingeniería

Universidad Autónoma de Durango Campus Querétaro, Qro, 22 al 24 de Octubre de
EXPOCIENCIAS QUERÉTARO 2015

Jorge Álvaro Cazón Hernández
Presidente
ExpoCiencias Bajío A.C.

C.P. María Esperanza Rivera Trejo
Directora Gral.
Universidad Autónoma de Durango
Campus Querétaro

Mtra. Anselmi Bravo Orduña
Secretaria Académica
Universidad Autónoma de Durango
Campus Querétaro

UPAEP

CONACYT

CONCYTEG

Constructora AL CE
Alvaro Cerdán Gamero

FANS Y COLECCIONISTAS
Este año colecciona tu fanart

Imagen 5.0.5 Reconocimiento al 1er lugar en ExpoCiencias Bajío 2015



EL COLEGIO DE ESTUDIOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS
DEL ESTADO DE MICHOACÁN
PLANTEL 07 EPITACIO HUERTA

**OTORGA EL PRESENTE:
RECONOCIMIENTO AL:
C. BRANDON MARTÍNEZ HERNÁNDEZ**

POR HABER IMPARTIDO LA CONFERENCIA «VEHÍCULO ROBOTIZADO PARA LA EXPLORACIÓN DE GAS METANO Y MINAS DE CARBÓN», DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SAN JUAN DEL RÍO, EN EL MARCO DE LA 22 ° SEMANA NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA Y LA REUNIÓN DE EGRESADOS 2015.



ATENTAMENTE


LIC. JUAN CARLOS GARCÍA NOGUEZ
DIRECTOR DEL PLANTEL



05 DE NOVIEMBRE DE 2015

Imagen 5.0.6 Reconocimiento en la 22° Semana Nacional de Ciencia y Tecnología en Epitacio Huerta, Michoacán.



Imagen 5.0.7 Reconocimiento en la ExpoCiencias Nacional 2015



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE
QUERÉTARO




OTORGAN LA PRESENTE

CONSTANCIA

A: Brandon Martínez Hernández

Del Instituto Tecnológico de San Juan del Río

Por su valiosa participación en la **FERIA DE LA DIVULGACIÓN CIENTÍFICA**
Realizada el 25 y 26 de mayo de 2016, en la Universidad Autónoma de Querétaro



Dr. Gilberto Herrera Ruiz
Rector, UAQ

Imagen 5.0.8 Constancia en la Feria de Divulgación Científica.



Brandon Martinez Hernandez



Imagen 5.0.9 Reconocimiento en la ExpoCiencias Latinoamericana 2016