

TIE

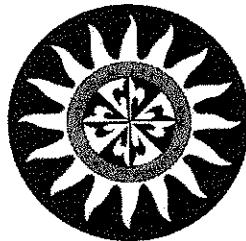
MAGdis

2012

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN Y  
ADQUISICIÓN DE DATOS PARA UN PROTOTIPO DE VEHÍCULO  
TERRESTRE TELEOPERADO (TGV)

BIBLIOTECA - USTA  
TUNJA

LAURA ALEJANDRA MARTÍNEZ TEJADA  
DANIEL ALEJANDRO RODRÍGUEZ CARO



0935

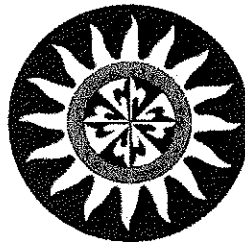
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS ✓  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA ✓  
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA ✓  
TUNJA ✓  
2012 ✓

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN Y  
ADQUISICIÓN DE DATOS PARA UN PROTOTIPO DE VEHÍCULO  
TERRESTRE TELEOPERADO (TGV)

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO  
ELECTRÓNICO

LAURA ALEJANDRA MARTINEZ TEJADA  
DANIEL ALEJANDRO RODRIGUEZ CARO

Tutor:  
MSc(c). CAMILO ERNESTO PARDO BEAINY  
Docente FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
DIVISION DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
TUNJA  
2012

NOTA DE ACEPTACIÓN

Observaciones

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma Decano


---

Firma Primer Jurado

---

Firma Segundo Jurado

---



Firma Tutor

Tunja, Julio 17 de 2012

**Las ideas expresadas en esta tesis  
son responsabilidad exclusiva de los autores,  
no comprometen a la Universidad Santo Tomás o  
a la Facultad de Ingeniería Electrónica.**

## DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios, a nuestras familias, a la Universidad Santo Tomás, a la facultad de Ingeniería Electrónica, y a cada una de las personas que contribuyeron para culminar este proyecto.

*El estudioso es el que lleva a los demás a lo que él ha comprendido: la verdad- Santo Tomás de Aquino*

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirnos culminar con buenos resultados esta importante etapa en nuestras vidas.

A nuestras familias

*Laura Alejandra Martínez Tejada*

A mi abuelita Gladys Vélez de Tejada, a mi mamá Adriana M. Tejada Vélez, a mi papá Eugenio Martínez López y a mi hermana Claudia Melissa Martínez Tejada.

*Daniel Alejandro Rodríguez Caro*

A mi mamá María de los Ángeles Caro Lancheros, a mis hermanas Edith Natalia Buitrago Caro y Laura Viviana Rodríguez Caro.

Por el apoyo incondicional, sus constantes palabras de cariño y aliento, por la motivación y los innumerables consejos que se convirtieron en guía certera para sortear diferentes circunstancias en nuestras vidas y culminar exitosamente las metas propuestas.

A la Universidad Santo Tomás, por la oportunidad de recibir formación y propiciar espacios de aprendizaje integral y humanista.

Al Centro de Investigaciones CIUSTA, por darnos la posibilidad de innovar ideas, aplicarlas y divulgarlas a nivel académico en distintas partes del país.

A la facultad de Ingeniería Electrónica, a cada uno de sus Docentes, por guiar nuestro aprendizaje, formarnos como profesionales íntegros, por creer en nuestras ideas y por proporcionarnos las herramientas para recrearlas.

A nuestro tutor, el Ingeniero Camilo Ernesto Pardo Beainy, por su constante apoyo, orientación, su amistad incondicional y su constante motivación para alcanzar óptimos resultados.

A nuestros compañeros y amigos, en especial al "Escuadrón Delta" (Daniel Enrique Galindo Barreto, Oscar Andrés Pamplona Burgos, Camila Andrea Ruget Castro, Cristian Fabián Ramos Bautista), por todos los gratos momentos vividos a través de esta experiencia académica y personal.

## CONTENIDO

PRÓLOGO .....	16
INTRODUCCIÓN .....	19
1. JUSTIFICACIÓN .....	20
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
3. OBJETIVOS .....	22
3.1. Objetivo general .....	22
3.2. Objetivos específicos.....	22
4. MARCO REFERENCIAL .....	23
4.1. Robot móvil teleoperado .....	23
4.2. Clasificación de los vehículos teleoperados .....	23
4.2.1. Vehículos terrestres no tripulados (UGV). .....	23
4.2.2. Vehículos Terrestres Teleoperados (TGV). .....	23
4.2.3. Robots teleoperados a pequeña escala. ....	24
4.3. Características de los vehículos teleoperados .....	24
4.3.1. Percepción .....	25
4.3.2. Interfaz Humano – Máquina (HMI) .....	25
4.3.3. Movilidad.....	26
4.3.4. Comunicación .....	26
4.4. Robots teleoperados desarrollados en Colombia. ....	26
4.4.1. RMTO I .....	26
4.4.2. DETEK.....	27
4.4.3. URSULA .....	27
5. CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL MÓVIL.....	28
5.1. Sensores.....	29
5.1.1. Sensor de Posición Ultrasónico .....	29
5.1.2. Sensor de Posición Magnética (Compás Electrónico) .....	36
5.1.3. Acelerómetro.....	40
5.1.4. Encoder Óptico .....	42
5.1.5. Generación de imágenes pasivas Cámara Inalámbrica .....	46
5.2. Comunicación .....	48

5.2.1.	I <sup>2</sup> C.....	48
5.2.2.	UART SERIAL RS-232.....	51
5.2.3.	MaxStream X09-009.....	53
5.3.	dsPIC 30f4011.....	55
5.3.1.	dsPIC Sensores.....	57
5.3.2.	dsPIC Motores.....	60
5.4.	Sistema de potencia.....	64
5.4.1.	Actuadores.....	64
5.4.2.	Drivers (L6205).....	65
5.4.3.	Alimentación y baterías.....	70
5.5.	Estructura mecánica.....	70
5.5.1.	Generalidades.....	70
5.5.2.	Configuración de Locomoción del móvil.....	71
5.5.3.	Características mecánicas.....	73
5.5.4.	Ubicación de los sistemas electrónicos en el móvil.....	74
6.	ESTACIÓN DE MONITOREO.....	77
6.1.	Caracterización e implementación del dispositivo manual de control:.....	77
6.1.1.	Joystick.....	77
6.1.2.	Control inalámbrico de Xbox con receptor.....	87
6.2.	Recepción y Transmisión de datos por comunicación serial.....	88
6.2.1.	Parámetros para la inicialización de la comunicación.....	88
6.2.2.	Escritura En El Puerto Serial.....	89
6.2.3.	Lectura Del Puerto Serial.....	90
6.2.4.	Acondicionamiento por software de los datos de los sensores.....	91
6.3.	Video.....	92
6.3.1.	Flujo de adquisición - Inicialización.....	93
6.3.2.	Flujo de adquisición - Configuración de adquisición.....	94
6.3.3.	Flujo de adquisición - Adquisición.....	94
6.4.	Descripción gráfica de rutas.....	96
6.4.1.	Localización odométrica.....	96
6.4.2.	Modelamiento cinemático del sistema diferencial.....	97
6.4.3.	Generación del trazo de la ruta del móvil.....	100

6.4.4.	Generación del trazo de los obstáculos del ambiente del móvil.....	102
6.4.5.	Fuentes de error en la odometría .....	104
6.4.6.	Escalización: .....	105
6.5.	Interfaz Gráfica de Usuario:.....	106
6.5.1.	Panel de ajuste .....	106
6.5.2.	Panel de Instrumentación .....	107
7.	EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO Y RESPUESTA DEL SISTEMA .....	110
8.	CONCLUSIONES .....	115
9.	RECOMENDACIONES .....	117
10.	PUBLICACIONES Y TRABAJOS DE DIVULGACIÓN DEL PROYECTO.....	119
10.1.	Publicaciones y Socializaciones del Proyecto.....	119
10.2.	Distinciones obtenidas con el desarrollo del Proyecto.....	120
	ANEXOS.....	121
	GLOSARIO .....	144
	INDICE ALFABETICO .....	152

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distintos diseños de robots tele operados en diferentes áreas de acción.....	24
Figura 2. RMTO.....	27
Figura 3. Etapas de desarrollo del móvil teleoperado.....	28
Figura 4. Funcionamiento básico del sensor de ultrasonido.....	30
Figura 5. Características del Haz ultrasónico.....	31
Figura 6. Imagen del sensor de ultrasonido SRF08.....	31
<i>Figura 7. Conexión de pines del sensor de ultrasonido SRF08.....</i>	<i>32</i>
Figura 8. Diagrama esquemático del sensor de ultrasonido SRF08.....	36
Figura 9. Conexión de pines del sensor de brújula magnética CMP09.....	39
Figura 10. Modelo físico del transductor de aceleración simplificado.....	41
Figura 11. Conexión de pines del sensor de aceleración MMA7561L.....	42
Figura 12. Formas de los encoders incremental y absoluto.....	43
Figura 13. Principio de funcionamiento del encoder óptico VEX.....	43
Figura 14. Forma de onda en los canales de salida.....	44
Figura 15. Pines para la conexión del sensor.....	44
Figura 16. Diagrama de flujo de las tareas ejecutadas por el PIC16F876A.....	46
Figura 17. Cámara transmisora y receptor de video y audio.....	47
Figura 18. Diagrama de Bloques de los protocolos de comunicación utilizados en el sistema.....	48
Figura 19. Diagrama de conexión en un sistema I <sup>2</sup> C.....	49
Figura 20. Diagrama de tiempos y estados lógicos en el sistema I <sup>2</sup> C.....	50
Figura 21. Esquema general de estructura de la trama de comunicación enviada desde el móvil.....	52
Figura 22. Esquema general de estructura de la trama de comunicación enviada al móvil.....	52
Figura 23. Módulos MaxStream X09-009 y base interfaz.....	53
Figura 24. Conexión del módulo MaxStream X09-009 con el dispositivo de gestión de datos.....	54
Figura 25. Descripción de la configuración de la tarjeta interfaz del módulo MaxStream X09-009.....	54
Figura 26. Descripción de conexiones e indicadores de la interfaz del módulo MaxStream X09-009.....	55
Figura 27. Diagrama de Pines del dsPIC30F4011.....	56
Figura 28. Canales de salida SDA y SCL del dsPIC30F4011.....	58
Figura 29. Trama de comunicación enviada desde el dsPIC Sensores.....	59
Figura 30. Diagrama de Bloques del dsPIC Sensores.....	60
Figura 31. Diagrama de Bloques del dsPIC Motores.....	62
Figura 32. Diagrama de Flujo de las funciones desempeñadas por los dsPIC.....	63
Figura 33. Motor VEX.....	64
Figura 34. Diagrama de bloques del driver L6205.....	66

Figura 35. Disposición de pines en el L6205 Encapsulado PowerDIP20/SO20 .....	66
Figura 36. Esquema del circuito de aplicación utilizado para el L6205.....	68
Figura 37. Diagrama de bloques del sistema de potencia. ....	69
Figura 38. Baterías VEX: a) 7.2V NiCad a 3000mAh. b) 7.2V NiCad a 2000mAh. c) Smart Charger. ....	70
Figura 39. Configuración diferencial de un móvil de cuatro ruedas. ....	71
Figura 40. Pistas de deslizamiento sistema VEX. ....	72
Figura 41. Ruedas de alta tracción sistema VEX. ....	73
Figura 42. Estructura física del móvil utilizando los módulos didácticos VEX y pistas de deslizamiento como locomoción.....	73
Figura 43. Estructura física del móvil utilizando los módulos didácticos VEX y ruedas con goma de alta tracción como locomoción. ....	74
Figura 44. Ubicación de los actuadores en el móvil. ....	74
Figura 45. Ubicación de los sensores en el móvil. ....	76
Figura 46. Ubicación de los circuitos y las baterías de alimentación en el móvil. ....	76
Figura 47. Joystick Genius Max Fighter F-23U V2. ....	78
Figura 48. Flujo de adquisición de los datos del joystick en LabVIEW™ .....	78
Figura 49. Segmentación de los valores del Joystick en los ejes X y Y. ....	79
Figura 50. Ejemplo de los valores asignados para los rangos de segmentación del Joystick. ....	80
Figura 51. Diagrama de adecuación de los valores proporcionados por el joystick para la configuración diferencial del móvil. ....	81
Figura 52. Ejemplo de la nueva configuración de valores asignados para los rangos de segmentación del Joystick.....	84
Figura 53. Segmentación de los nuevos valores del Joystick en los ejes X y Y. ....	85
Figura 54. Valores que puede tomar el POV dependiendo de su movimiento. ....	86
Figura 55. Vista del subVI en LabVIEW™. ....	86
Figura 56. Descripción del Control inalámbrico Xbox 360 y receptor.....	87
Figura 57. Segmentación de los valores del Control inalámbrico de Xbox 360 en los ejes X y Y. ....	88
Figura 58. VISA Configure Serial Port en LabVIEW™ .....	89
Figura 59. VISA Write en LabVIEW™ .....	90
Figura 60. Selección y acondicionamiento de los valores recibidos en LabVIEW™ .....	91
Figura 61. Simple Error Handler en LabVIEW® .....	91
Figura 62. Configuración de la señal de video en Measurement & Automation de NI®. ....	93
Figura 63. Flujo de adquisición de imagen continua en LabVIEW™ .....	95
Figura 64. Diagrama de flujo de adquisición continua de las imágenes de la cámara. .	95
Figura 65. Giros de plataforma diferencial. ....	97
Figura 66. Esquema de la plataforma diferencial en el espacio.....	98
Figura 67. SubVI para generar los datos para graficar a partir del modelamiento odométrico. ....	101

Figura 68. Interfaz de prueba para trazado de la ruta en LabVIEW™	101
Figura 69. Plano con los dos puntos correspondientes al móvil y al obstáculo detectado	102
Figura 70. subVI generado para las gráficas de ruta del móvil y obstáculos en LabVIEW™	104
Figura 71. Un error presentado con sistemas odométricos	105
Figura 72. Vista del Panel de ajuste en LabVIEW™	105
Figura 73. Vista del Panel de ajuste en LabVIEW™	107
Figura 74. Vista del Panel de instrumentación en LabVIEW™	108
Figura 75. Diagrama de Flujo de las funciones desempeñadas por la Interfaz Gráfica de Usuario en LabVIEW™	109
Figura 76. Diagrama de bloques del desarrollo del proyecto	110
Figura 77. Componentes físicos que hacen parte del prototipo del sistema teleoperado	110
Figura 78. Espacio de trabajo y grafica de la ruta obtenida en LabVIEW™	111
Figura 79. Espacio de trabajo de los datos tomados	111
Figura 80. Gráfico de dispersión de los datos medidos en la prueba	112
Figura 81. Histograma que muestra la distribución de los datos del error relativo de las mediciones	114
Figura 82. Puertos COM conectados en el Administrador de dispositivos	122
Figura 83. Interfaz del X-CTU para la configuración de los módulos MaxStream	123
Figura 84. Ventana de verificación de conexión en el programa X-CTU	123
Figura 85. Interfaz de programación de los módulos en el programa X-CTU	124
Figura 86. Comprobación de comunicación entre módulos por medio del X-CTU	124
Figura 87. El entorno de programación del software mikroC PRO para dsPIC	125
Figura 88. Ventana desplegada en mikroC para nuevo proyecto	126
Figura 89. Ventana desplegada en mikroC para seleccionar el dispositivo de trabajo	127
Figura 90. Ventana desplegada en mikroC para seleccionar la frecuencia de trabajo	127
Figura 91. Ventana desplegada en mikroC para indicar la ruta para guardar el proyecto	128
Figura 92. Ventana desplegada en mikroC para incluir archivos de soporte para el proyecto	128
Figura 93. Ventana desplegada en mikroC para agregar las librerías	129
Figura 94. Ventana desplegada en mikroC para finalizar la iniciación de un nuevo proyecto	129
Figura 95. Ventana desplegada en Unlead Visio Studio	135
Figura 96. Espacio de trabajo de Unlead Video Studio	135
Figura 97. Espacio de trabajo de Unlead Video Studio para determinar la señal de la capturadora de video	136
Figura 98. Diagrama esquemático del circuito de los dsPICs en ISIS de Proteus	137

Figura 99. Diseño de la baquelita del circuito de los dsPICs en ARES de Proteus. ....	137
Figura 100. Diagrama esquemático del circuito de los encoders en ISIS de Proteus. ....	138
Figura 101. Diseño de la baquelita del circuito de los encoders en ARES de Proteus. .....	138
Figura 102. Diagrama esquemático del circuito de potencia en ISIS de Proteus. ....	139
Figura 103. Diseño de la baquelita del circuito de potencia en ARES de Proteus. ....	139
Figura 104. Diagrama esquemático del circuito de protección con opto transistores en ISIS de Proteus. ....	140
Figura 105. Diseño de la baquelita del circuito de protección con opto transistores en ARES de Proteus. ....	140
Figura 106. Espacio de trabajo de la interfaz generada en LabVIEW™ panel de Instrumentación. ....	141
Figura 107. Espacio de trabajo de la interfaz generada en LabVIEW™ panel de Ajuste. .....	142
Figura 108. Configuración de la ventana de ajuste. ....	143

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Operaciones realizadas por el sensor y tiempos requeridos.....	32
Tabla 2. Registros disponibles en el sensor ultrasonido. ....	33
Tabla 3. Comandos para iniciar una medición de distancia en el sensor de ultrasonido. .....	34
Tabla 4. Registros del sensor CMP09.....	39
Tabla 5. Direcciones permitidas por el sensor CMP09.....	40
Tabla 6. Características de los Módulos MaxStream X09-009.....	53
Tabla 7. Orden y direcciones de los dispositivos direccionados por el bus I <sup>2</sup> C.....	57
Tabla 8. Datos de velocidad manejados por el dsPIC. ....	60
Tabla 9. Especificaciones motor 269 VEX.....	65
Tabla 10. Especificaciones motor 393 VEX.....	65
Tabla 11. Condiciones de operación recomendadas .....	66
Tabla 12. Descripción de pines.....	67
Tabla 13. Valores de los componentes electrónicos conectados al driver L6205.....	68
Tabla 14. Tabla de verdad para el L6205 .....	69
Tabla 15. Valores asignados para cada rango de operación definido en cada eje del joystick. ....	80
Tabla 16. Valores asignados para cada rango de operación definido en cada eje del joystick. ....	85
Tabla 17. Convención de nombres de dispositivos de las cámaras conectadas al PC.	94
Tabla 18. Comparación de datos de distancia con sus respectivos errores. ....	112
Tabla 19. Análisis estadístico del valor del error relativo obtenido de los valores de la medición. ....	113
Tabla 20. Clases definidas para el análisis de los valores del error relativo. ....	114

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Artículo IEEE .....	121
Anexo 2: Configuración básica Módulos MaxStream.....	122
Anexo 3: Programación del dsPIC y programas .....	125
Anexo 4: Código dsPIC30f4011 Sensores.....	130
Anexo 5: Código dsPIC30f4011 Motores .....	133
Anexo 6: Unlead Video Studio .....	135
Anexo 7: Diseño de baquelitas .....	137
Anexo 8: Manual de operación .....	141

## PRÓLOGO

Este documento es desarrollado por estudiantes de ingeniería electrónica como trabajo de monografía, para poder obtener el título profesional de ingenieros electrónicos en la Universidad Santo Tomás seccional Tunja, y gracias al CIUSTA (Centro de Investigación de la Universidad Santo Tomás), que permite cumplir los objetivos del proyecto de manera más coordinada, con acceso directo a diverso material de investigación (libros, dispositivos electrónicos, ayuda externa, diseños de circuitos impresos, entre otros), de esta forma contribuir a la solución de la problemática existente relacionada con el progreso tecnológico regional de la robótica, y sus aplicaciones en la exploración de terrenos desconocidos o inaccesibles por el ser humano. El objetivo de este trabajo es avanzar en el conocimiento de la teleoperación y la generación de prototipos que permitan ser manipulados a distancia sin que el operario tenga que estar enfocado en el robot directamente, siempre y cuando la información de los sensores instalados en el sistema móvil sea suficiente para la orientación del usuario.

Así mismo, este trabajo está dirigido a estudiantes e ingenieros de electrónica, mecatrónicos y ramas afines, y todo aquel que sienta interés particular, en conocer y aplicar el saber, en dispositivos telerrobótico y sus diversas aplicaciones.

Teniendo en cuenta que la robótica tiene diversas aplicaciones en diferentes campos, la información encontrada en este, aporta al lector gran variedad de ejemplos sobre sistemas telerrobóticos con aplicabilidad en otras áreas de trabajo, como lo es, la militar y la medicina, que mediante la utilización del mismo método de inspección del entorno, se puede crear una idea de las variables encontradas por el robot y su alrededor.

El libro contiene temáticas concernientes principalmente a la Ingeniería electrónica en las áreas de: automatización, control, comunicaciones e instrumentación, sin embargo, por ser un trabajo interdisciplinario y para aplicar la robótica, se requiere del soporte de la mecánica, la cual se tiene en cuenta en el documento. El aporte de la mecánica al contenido del documento se refleja en la aplicación de modelos cinemáticos para mejorar la locomoción del dispositivo móvil.

En el documento se presentan las razones por las cuales se ha creado este proyecto, y cabe anotar que la más importante es la integración de las comunicaciones y la instrumentación como disciplinas fundamentales de la electrónica, por otra parte, se ha visto actualmente que la robótica es un excelente medio para despertar la curiosidad de las personas hacia la electrónica, y utilizada para la educación en colegios y universidades.

De una manera más precisa, el problema a solucionar en el proyecto, es el estudio de los sistemas teleoperados o telerrobóticos, de esto depende el desempeño en diferentes lugares y la respuesta confiable de los sensores que acompañan al dispositivo para dejar una idea al operario de las dimensiones del lugar donde se encuentra el robot. Además de esto, es indispensable el cuestionamiento sobre ¿qué tan efectivo es el control del movimiento sobre el dispositivo móvil?, ¿Los actuadores responden según lo establecido por el usuario? O ¿qué problemas se pueden encontrar en el desplazamiento del sistema móvil?

Para tener idea de cómo llegar a desarrollar el sistema telerrobótico, es necesario tener una referencia o antecedentes de estos sistemas, de esta manera poder conocer cómo operan y qué aplicaciones se les puede dar, es por esto que se investiga la clasificación de los sistemas telerrobóticos, de los cuales el que se observa como el más adecuado para la aplicación de exploración, es el TGV (Vehículo Terrestre Teleoperado), dando inicio a la investigación propiamente dicha, se puede determinar la percepción, movilidad, comunicación, instrumentación que el móvil va a tener para un funcionamiento apropiado.

Se debe considerar que el dispositivo móvil responda correctamente con los requerimientos exigidos como el de poderse controlar remotamente desde un área remota, para lo cual es necesario tener en cuenta varias consideraciones como: Los sensores que son parte de los "sentidos" que tiene el móvil, la comunicación por la cual el operador va a enviar datos del control de movimiento al dispositivo móvil, además recibir los datos que los sensores estén enviando en el menor tiempo posible, como también la precisión de la comunicación entre los mismos dispositivos encontrados dentro del robot.

Además es importante destacar el acondicionamiento de datos para que la comunicación sea ordenada y correcta, es por esto que se utilizaron sistemas microcontrolados, los cuales permiten la adecuación de la información. Dentro del proyecto se utilizan dos dispositivos, donde uno cumple la función del procesamiento de los datos provenientes de los sensores, y el otro realiza la función del control de locomoción en el robot.

A parte de la electrónica utilizada en el proyecto, se requiere de la mecánica como componente importante del mismo, pues con sus conocimientos se pueden diseñar estructuras adecuadas para la locomoción y resistencia del peso de los dispositivos encontrados en el robot (Circuitos, baterías y cámara).

En cuanto a la visualización de todos los datos utilizados, y el uso de estos para un propósito adicional que es el de graficar rutas, se usó el software especializado para instrumentación virtual LabVIEW™, de esta forma la información enviada por el sistema telerrobótico, es manipulada y tratada para interpretar el entorno físico en donde se encuentra el móvil. Por esta razón, se

utilizaron sensores para la obtención de imágenes como la cámara, detección de obstáculos como ultrasonidos, medición de velocidad como Encoders y detección de vibraciones y aceleraciones como el acelerómetro.

Lo expuesto en el libro, permite compartir ideas sobre la elaboración de nuevos proyectos de investigación y a la vez invita a los lectores e investigadores interesados en la temática expuesta, para que contribuya a la construcción del conocimiento en el área de electrónica y afines, y de esta manera desarrollar proyectos importantes que beneficien a la comunidad en general.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de tareas complejas en diferentes campos como la cartografía, topografía, exploración, milicia, medicina, rescate en desastres naturales, requiere de la intervención de personas y de dispositivos especializados que faciliten las tareas complejas en cada campo para lograr resultados más eficaces. *La importancia de crear dispositivos que posean la capacidad de operar a distancia con la supervisión de un experto, para evaluar el desempeño del dispositivo y validar la acción o los datos recolectados según sea la tarea radica en la obtención de procesos y resultados con mayor calidad.*[1]

*La robótica móvil enmarcada en desarrollo de tareas en ambientes no controlados es un campo relativamente nuevo que apunta a desarrollar mecanismos que puedan intervenir en tareas complejas dentro de ambientes desconocidos con un alto grado de autonomía, sin embargo, en tareas muy complejas, es necesario la intervención humana para monitorear y manipular el dispositivo, con sistemas que se denominan teleoperados. Para que el sistema móvil teleoperado pueda realizar la descripción encontrada a su alrededor, debe desarrollar diferentes procesos de adquisición, ajuste y comunicación de datos, y entregarlos al operador de una manera amigable, entendible y de fácil interpretación para agilizar la toma de decisiones. El trabajo pretende integrar eficazmente una serie de dispositivos que permitan el intercambio de datos entre un móvil teleoperado y una estación de monitoreo, para la exploración de terrenos y su descripción gráfica en dos dimensiones.*

## 1. JUSTIFICACIÓN

El desempeño autónomo de robots en ambientes desconocidos es uno de los aspectos más complejos de estudio en la robótica móvil, ya que las variables propias de los ambientes en estudio cambian constantemente, lo que impide tomar decisiones de manera rápida y acertada para el desarrollo de las tareas programadas en el robot, es por esto que la inclusión de un operador se hace necesaria para el monitoreo de la interacción del dispositivo con el entorno de trabajo. La telerrobótica surge por la necesidad de ejecutar tareas de manera más rápida, segura y de mayor calidad en ambientes no controlados, ya que pretende superar las limitaciones humanas del espacio, tiempo, potencia, velocidad, precisión y seguridad, así como las limitaciones de la maquina como conocimiento, comprensión, razonamiento y planificación.

En los sistemas telerrobóticos el operador utiliza sistemas electrónicos complejos que combina la instrumentación, el control y las telecomunicaciones para monitorear, supervisar e interactuar con las tareas ejecutadas por el robot en el campo de trabajo. A partir de estas tecnologías es posible crear sistemas de tele operación donde los sistemas de comunicación y los dispositivos de recolección y procesamiento de los datos se convierten en herramientas fundamentales para garantizar la calidad de los procesos que se llevan a cabo. Para la implementación eficaz de este tipo de sistemas se debe tener en cuenta el desempeño de los diferentes dispositivos tanto electrónicos como mecánicos en tiempo real, ya que esta característica es la que garantiza que la orden impartida por el operador se ejecute inmediatamente por el robot móvil.

Hoy en día la implementación de este tipo de sistemas se masifica gracias a las ventajas que trae consigo la integración de áreas de la ingeniería electrónica como la instrumentación, la automatización, las telecomunicaciones y la programación, es por esto que los proyectos desarrollados en robótica móvil apuntan al mejoramiento en diferentes campos como el transporte público, el traslado de carga pesada, la exploración de terrenos, inspección de tuberías en procesos industriales entre otros.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Qué ventajas pueden otorgar los vehículos tele operados en sistemas robóticos para la exploración de terrenos?

¿Qué grado de eficacia puede alcanzar un vehículo tele operado para la exploración de terrenos en ambientes no controlados?

¿Cuál es la respuesta de los distintos sensores dispuestos en un vehículo tele operado?

La robótica móvil es uno de los campos de mayor desarrollo de la ingeniería, ya que integra conocimientos de diversas disciplinas para la construcción de sistemas que respondan eficientemente con las tareas programadas, adaptándose a las necesidades de entornos controlados, además, comprende un gran número de aplicaciones en diversas áreas como por ejemplo la medicina, la milicia, la industria y la exploración terrestre y espacial. Sin embargo, aún se presentan diversas limitaciones que impiden el desarrollo de modelos robóticos capaces de responder de manera eficaz a cualquier ambiente de trabajo, es por esto que la telerrobótica se convierte en un área que pretende integrar las habilidades de un operador y el robot para mejorar la respuesta del sistema.

Es por esto que se ve la necesidad de comenzar a explorar las ventajas de la telerrobótica e identificar el aporte y el impacto en sistemas de robótica móvil orientados a la exploración de terrenos. Con este proyecto se desarrolló un prototipo de móvil terrestre tele operado, capaz de desplazarse por ambientes controlados y con terrenos llanos, contando con la capacidad de desarrollar procesos de monitoreo y supervisión de variables y señales, para su posterior procesamiento y visualización remota. Con este proyecto, se realizó un proceso de integración de los conocimientos asociados a las dos líneas de investigación de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás seccional Tunja, ya que vinculó algunas teorías de las Telecomunicaciones, con conceptos y fundamentos de la Instrumentación y el Control; lo cual permite el desarrollo de un proyecto de convergencia que nutre el proceso académico y curricular de la Facultad.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un prototipo de un Vehículo terrestre tele operado (TGV), capaz de desplazarse por terrenos llanos, contando con la capacidad de desarrollar procesos de monitoreo y supervisión de variables y señales, para su posterior procesamiento y visualización remota.

#### 3.2. Objetivos específicos

- Diseñar e implementar un sistema microcontrolado, que permita la adquisición, conversión análoga digital y comunicación de los datos obtenidos de una serie de sensores que obtengan información de variables como distancia a obstáculos, orientación, velocidad y aceleración; presentando un comportamiento fiable en cuanto a la veracidad de la información entregada.
- Implementar los sistemas de comunicación necesarios, que permitan la transferencia de información, desde el prototipo de TGV hasta la estación remota.
- Diseñar e implementar la interfaz HMI, que realice el procesamiento de los datos obtenidos de los sensores y permita al operador supervisar el comportamiento del móvil, por medio de una interfaz gráfica de usuario en un entorno amigable, así como la operación del mismo en diferentes instantes de tiempo con la incorporación de dispositivos de manipulación.
- Diseñar y construir la estructura del móvil teniendo en cuenta su estabilidad, maniobrabilidad, disposición de circuitos, sensores y actuadores, y alimentación de los mismos.
- Generar herramientas de divulgación, que permitan dar a conocer los avances y resultados del proyecto con el fin de fomentar investigaciones similares y fortalecer procesos investigativos de orden académico al interior y exterior de la Universidad.

## 4. MARCO REFERENCIAL

### 4.1. Robot móvil teleoperado

Un robot es una máquina que está diseñada para actuar automáticamente sobre un proceso y de esta manera otorgar información pertinente acerca de las variables manipuladas por este, a un operador el cual pueda tener control sobre ella a partir de algún dispositivo, es por esto que la robótica abarca áreas como la ingeniería mecánica y la ingeniería electrónica. La locomoción y manipulación de un robot operado a distancia, están relacionados con los móviles teleoperados, los cuales deben tener sensores para indicar el estado de alguna variable que se quiera detectar. Existen diversos prototipos de robots móviles teleoperados los cuales se clasifican según su locomoción y entre las configuraciones más conocidas se encuentran: la configuración Ackerman [2], es conocida por su forma estándar de tipo automóvil (cuatro ruedas), esta forma de desplazamiento robótica es óptima para terrenos planos. La configuración Triciclo clásico, está conformado por dos ruedas traseras y una delantera que presenta poca estabilidad debido a sus puntos de apoyo. La configuración Tipo pistas de deslizamiento, el cual se desplaza a través de unas bandas de tracción, pero tiene la desventaja de poca velocidad y alta potencia que necesita para moverse. Y por último la Locomoción mediante patas, que permite evitar obstáculos y moverse entre terrenos de difícil desplazamiento.[3]

### 4.2. Clasificación de los vehículos teleoperados

#### 4.2.1. Vehículos terrestres no tripulados (UGV).

Son vehículos de tamaño de real, utilizados en operaciones militares de reconocimiento de terrenos e ingreso a zonas de alto riesgo, los cuales fueron diseñados especialmente para la seguridad nacional. El primer robot de defensa fue un tanque teleoperado a una distancia máxima de 1500m, disponía de armas de fuego ligeras, lanza llamas, botes de humo y bombas desde 200Kg a 700Kg. Recientemente se creó el robot llamado TALON, el cual tiene gran movilidad en cualquier terreno, posee cuatro cámaras y además sirve para la desactivación de artefactos explosivos y tiene sensores de químicos, gas, temperatura y radiación.[4]

#### 4.2.2. Vehículos Terrestres Teleoperados (TGV).

En un vehículo terrestre teleoperado o Teleoperated Ground Vehicle (TGV) un operador controla un vehículo a la distancia, esta puede ser lo suficientemente grande para que el operador no pueda observar directamente al vehículo. El operador realiza todos los procesos cognitivos. Los sensores a bordo del vehículo y los enlaces de comunicación permiten visualizar al operador la posición y el movimiento del TGV en su ambiente.[4]

#### 4.2.3. Robots teleoperados a pequeña escala.

Estos robots son utilizados por científicos para desarrollar diversidad de actividades en ambientes cerrados, donde las variables de campo son controlables y pueden tener cierto grado de autonomía, un ejemplo de estos sistemas es El Sojourner Rover construido por "Jet Propulsion Laboratory" de la NASA es un vehículo diseñado especialmente para la exploración del planeta Marte, con el fin de transmitir imágenes y recoger muestras del suelo. En su construcción se emplearon paneles solares para el sistema de alimentación, posee seis ruedas las cuales tienen 3 grados de libertad para un mejor desempeño en terrenos de difícil acceso. En la figura 1 se muestran varios ejemplos de este tipo de robots.

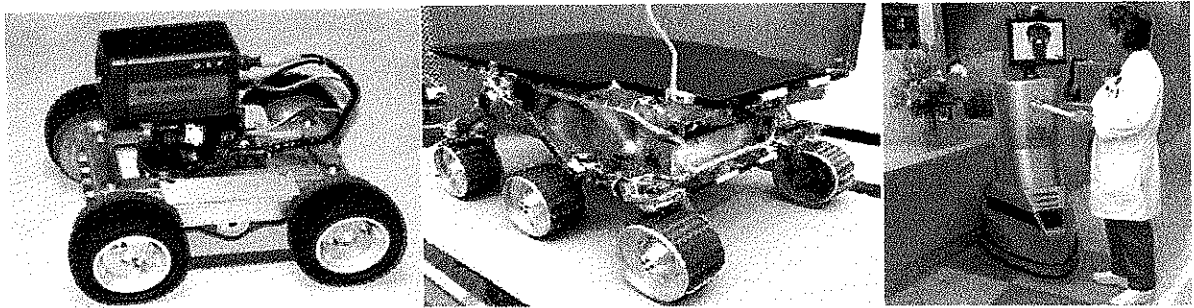


Figura 1. Distintos diseños de robots tele operados en diferentes áreas de acción.

FUENTE: [3].

#### 4.3. Características de los vehículos teleoperados

Para los vehículos teleoperados características como la interacción humano - vehículo, preservación de la salud y tecnologías de comunicación y energía y alimentación asumen mayor prioridad. Los vehículos teleoperados actuales se basan en interfaces de usuario dispuestas en un PC, utilizando teclados, joysticks y pantallas táctiles que son necesarias para operar. Los sistemas actuales en TGV también requieren más técnicos para reparar y prevenir daños. En los futuros desarrollos de TGV se debe tener la capacidad de auto monitoreo y para otorgar información a lugares remotos para diagnóstico y posible recuperación.

Las características de los TGV se combinan en los sistemas teleoperados para incrementar, mejorar y aumentar en cierto grado aspectos como: distancia, fuerza, volumen, protección, precisión y versatilidad.

#### 4.3.1. Percepción

El sistema de percepción es que proporciona al robot la posibilidad de obtener e interpretar la información de su entorno en vistas para acomodar su actuación a las condiciones cambiantes del mismo. La información ambiental captada por dicho sistema permite el establecimiento de una realimentación, es decir, de una evaluación por parte del robot con respecto al efecto de sus propias acciones sobre su entorno, con la consiguiente modificación de estas últimas.

La percepción está conformada por dos componentes principales, uno puramente físico y el otro psicológico/funcional; éste último permite agregar información para la toma de decisiones a través del aprendizaje y la experiencia, es decir, se incorpora la capacidad de aprender y reaccionar sobre un espacio dinámico de información. Al agregar sistemas de percepción, visual por ejemplo, es posible implementar mecanismos adaptables a sí mismos y a los cambios de ambiente.

Los sistemas físicos que conforman la percepción son los sensores que son elementos que le permiten conocer al robot el estado del mundo que le rodea y la posición exacta de sus componentes[5]. Un sensor es un dispositivo que convierte una variable física en un impulso eléctrico[6], es decir, los sensores tienen como objetivo capturar alguna señal brindada por el ambiente que rodea al robot y transformar esa señal en un impulso eléctrico que reciba el controlador. Luego desde el programa utilizado para definir el comportamiento del móvil, se interpreta el impulso para actuar en consecuencia.

#### 4.3.2. Interfaz Humano – Máquina (HMI)

Para la supervisión y manipulación de las acciones del robot en campo es necesaria la implementación de una HMI (Interfaz humano maquina) propicia que le otorgue al operador la información de manera clara y en tiempo real. Para lograr esto es necesario que la interfaz presente una serie de requerimientos y características:

- Uso apropiado de graficas: Los gráficos deben ser simples, relevantes y apropiados.
- Múltiples caminos y acceso rápido: Utilizar objetos gráficos como botones, menús desplegados, paneles, para organizar la información.
- Priorizar pantallas y menús: Las listas y menús deben ser organizados de acuerdo a la frecuencia en la cual son utilizados, además, la información importante no debe pasar inadvertida u opacada por otra información no tan prioritaria.[7]

### 4.3.3. Movilidad

Un robot móvil necesita de mecanismos de locomoción que le permitan moverse sin límites a través de su ambiente. Existe una variedad de posibilidades para moverse, así que la selección de una locomoción adecuada *es un aspecto importante en el diseño de un robot*. Generalmente la mayoría de los robots móviles utilizan para su locomoción ruedas o un pequeño número de piernas articuladas.

La locomoción utilizando piernas requiere mayor número de grados de libertad y por consiguiente, mayor complejidad mecánica que la locomoción utilizando ruedas. Las ruedas, además de ser mecanismos simples, se adaptan muy bien a suelo plano. En efecto la eficiencia de la locomoción con ruedas depende de las cualidades del ambiente, particularmente de la dureza y la forma del suelo en el que se desplaza.[2]

### 4.3.4. Comunicación

En el diseño de robot móviles, una de las decisiones más críticas es la de determinar cómo será realizada la comunicación entre el dispositivo móvil y la estación que supervisa su comportamiento. La transmisión de datos consiste en transferir o propagar una información a distancia. La teletransmisión es utilizada principalmente en problemas de telemando (mando a distancia), telecontrol, tele medición, tele regulación y tele señalización, esta puede ser llevada a cabo entre dos puntos o entre uno principal y sus respectivos secundarios. Es posible distinguir dos tipos: unilateral que es aquella en la que la información se transfiere en una sola dirección, mientras que en la bilateral se transmite en ambas direcciones.

En la teletransmisión se distinguen tres partes: el captador o sensor que recoge la información y la transforma en una magnitud que se puede transmitir por el medio deseado, el canal o medio de transmisión propaga la magnitud en forma de señal. Para enviar una información digital a través del medio de transmisión, se utiliza la modulación, que consiste en transmitir una señal analógica llamada portadora y variar alguna de sus características (frecuencia, amplitud y fase) en función de otra señal llamada moduladora, que representa un valor binario, el receptor que capta esta señal y la demodulación se recupera la señal inicial.

## 4.4. Robots teleoperados desarrollados en Colombia.

### 4.4.1. RMTO I

El RMTO I mostrado en la figura 2, fue desarrollado en la Universidad Nacional el cual es controlado a distancia desde una zona de teleoperación mediante una comunicación de radio frecuencia, además transmite video de forma inalámbrica. El panel de control de este robot tiene una ventana que muestra el

video, y otra el sistema de mando el cual se controla a través de una palanca de juegos o gamepad y con el teclado y el mouse.

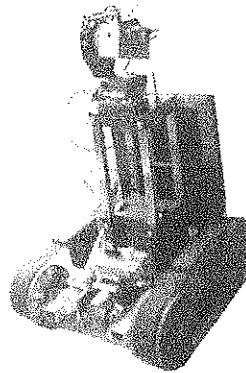


Figura 2. RMTO.  
FUENTE:[3].

#### 4.4.2. DETEK

Es un robot desarrollado en la Universidad Javeriana, donde su propósito es explorar zonas exteriores con el fin de detectar metales, su diseño es especialmente para su fácil movilidad en terrenos difíciles.

#### 4.4.3. URSULA

URSULA es un robot que tiene incorporado un detector de metal y además una cámara, dispone de un interfaz de control que permite observar la señal del detector de metales a través de un ordenador. Estos robots son usados en terrenos en los cuales pueden existir minas en territorio colombiano.[3]

## 5. CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL MÓVIL

La información otorgada al operador acerca del ambiente del vehículo y su desempeño depende esencialmente de: los sensores que adquieren la información de la ubicación remota, de la tecnología de display para permitir al operador visualizar en ambiente del vehículo y la comunicación entre el vehículo y el operador. La combinación de estos elementos conlleva a que las tareas efectuadas por el móvil tengan un alto grado de correspondencia con las órdenes que el operador ejecuta desde su estación. Para obtener un prototipo funcional se han identificado diferentes etapas que permiten definir, implementar y evaluar las partes más importantes del sistema y por consiguiente el desempeño final del prototipo.

Para la construcción del sistema telerrobótico se plantean cuatro etapas: La primera etapa es la implementación de la estación base para el monitoreo, en donde se requiere la selección y adecuación de los diferentes sensores que permiten obtener datos con respecto a la orientación, la inclinación, la aceleración y la distancia a objetos con respecto al ambiente de trabajo en el que se encuentra, y de la interfaz de monitoreo y operación que permite adquirir la información necesaria y visualizarla en una interfaz gráfica de usuario, también es necesaria la implementación de un dispositivo de manipulación para determinar el comportamiento del vehículo con respecto a los movimientos generados desde este por el operador. La segunda etapa consiste en el diseño e implementación de los sistemas de comunicación que permiten respaldar la veracidad de los datos transmitidos y la distancia de separación entre la estación y el vehículo. La tercera etapa se enfoca en el diseño y construcción de la estructura mecánica del móvil, la cual debe responder a la necesidad de desplazamiento del terreno a explorar, y por último la disposición de los diferentes circuitos que se ubican para su buen funcionamiento. En la figura 3 se muestra la división de las etapas del proyecto y algunos de sus componentes más relevantes.

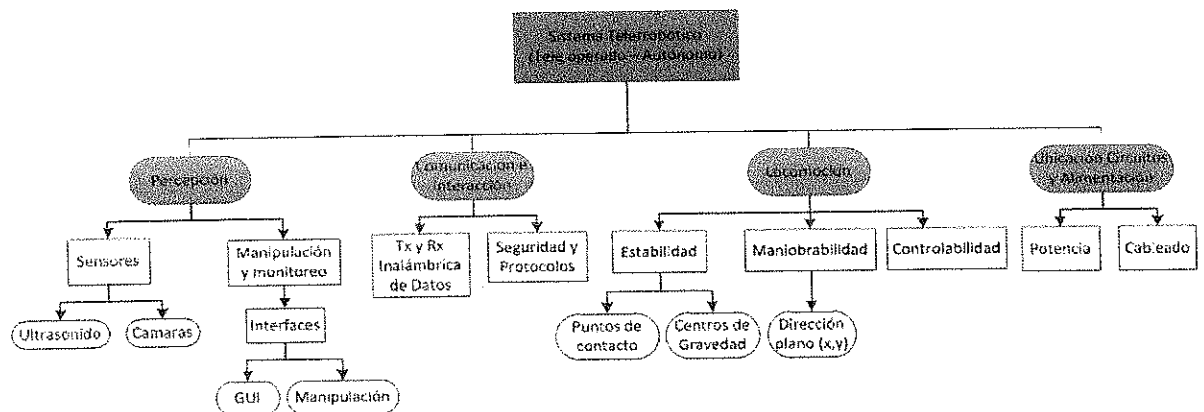


Figura 3. Etapas de desarrollo del móvil teleoperado.  
FUENTE: Autores.

## 5.1. Sensores

Los robots móviles participan en interacciones significativas con otros entes - *objetos inanimados, personas, y otros robots* – a través del sensado y la *percepción. Las capacidades de sensar están estrechamente relacionadas con la habilidad de percibir, sin los datos que pueda proporcionar los sensores, no se tendría información significativa acerca de las condiciones del ambiente ni del estado del móvil.*

Para la implementación del prototipo de TGV se utilizaron 5 sensores distintos que proporcionan información acerca de la distancia a objetos, sentido de giro, aceleración y velocidad del vehículo, y por último obtención de imágenes en tiempo real.

### 5.1.1. Sensor de Posición Ultrasónico

#### 5.1.1.1. Generalidades

Los sensores ultrasónicos proporcionan información precisa en la detección de presencia/ausencia y detección de distancia sin contacto. Son útiles cuando se tiene como objetivo de medición objetos claros o brillantes, aire brumoso o con partículas cargadas, y los ambientes con líquidos que salpiquen. Son usados cuando se requieren medir grandes distancias. La presión del aire, humedad, humo, polvo, vapor y otros contaminantes del aire tienen poco efecto en la precisión. Son una alternativa para sensores foto-electrónicos o de proximidad en aplicaciones donde las características del objetivo o los factores ambientales interfieran con el desempeño del sensor, como:

- Manejo de materiales
- Empaquetamiento
- Procesamiento de papel
- Comida y bebidas
- Química
- Industria del plástico, Procesamiento de caucho/ llanta
- Procesamiento de acero

Los sensores ultrasónicos trabajan como un transductor acústico con pulsos de voltaje, causando que el transductor vibre ultrasónicamente. Estas oscilaciones van directas al objetivo y midiendo el tiempo del eco que se demora en regresar al transductor, de esta manera la distancia al objetivo es calculada. Los sensores ultrasónicos generalmente proveen una precisión de 1 mm de distancias en el rango de los 0,1 m a los 6 m.

Los ultrasonidos son sonidos que generalmente tienen una frecuencia de 40 KHz. El funcionamiento básico de los ultrasonidos como medidores de distancia, necesita de un transmisor que emita un pulso de ultrasonido que

rebote sobre un determinado objeto y la reflexión de ese pulso es detectada por un receptor de ultrasonidos, como se muestra en la figura 4.

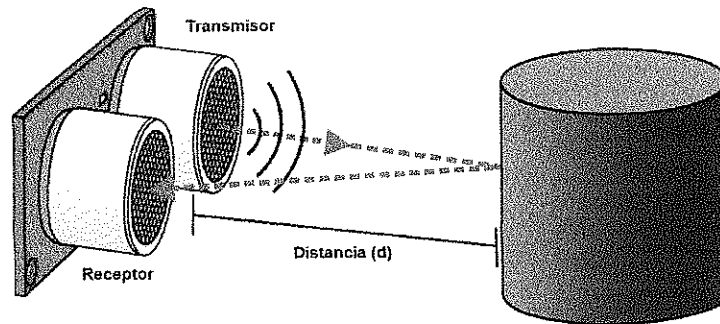


Figura 4. Funcionamiento básico del sensor de ultrasonido.  
FUENTE:[8].

La mayoría de los sensores de ultrasonido se basan en la emisión de un pulso de ultrasonido cuyo lóbulo, o campo de acción, es de forma cónica. Midiendo el tiempo que transcurre entre la emisión del sonido y la percepción del eco, se puede establecer la distancia a la que se encuentra el obstáculo que ha producido la reflexión de la onda sonora, mediante la ecuación 1:

$$d = \frac{1}{2} V * t \quad (1)$$

Donde  $V$  es la velocidad del sonido en el aire y  $t$  es el tiempo transcurrido entre la emisión y recepción del pulso.

Como los sensores ultrasónicos operan en lapso en sistemas de medición de tiempo transcurrido, cuando el sensor se ajusta para sensar un objetivo a una distancia dada, una ventana de tiempo debe ser establecida. El sensor acepta o reconoce solo el eco recibido durante esta ventana. Las señales de eco de materiales de referencia tardan más y pueden no ser reconocidas. La máxima frecuencia de conmutación es la tasa en la cual el sensor es capaz de energizarse o desenergizarse. Esta depende de muchas variables, las más significativas son el tamaño del objetivo, el material y la distancia. Entre más pequeño es el objetivo más difícil se hace su detección. Así, la máxima frecuencia para objetivos pequeños será más baja que para un objeto grande.

Los sensores de ultrasonido envían un haz a través del aire. Este toma un tiempo finito para que la señal deje el sensor, viaje hacia el objetivo, y retorne al sensor como un eco. Entre más lejos se encuentre el objetivo del sensor más tiempo tarda el sonido en completar su ciclo, con la frecuencia de conmutación más baja.

Existen diversas condiciones que modifican la lectura de tiempo del eco emitido así como también de la percepción del mismo, es por esto que se deben considerar aspectos como:

- Zona muerta

Los sensores ultrasónicos tienen una zona muerta en la que no pueden detectar con precisión el objetivo como se muestra en la figura 5. Esta es la distancia entre la cara que sensa y el mínimo rango de sensado. Si el objetivo *está muy cerca, el primer borde de la ráfaga del haz puede viajar al objetivo y golpearlo antes que el borde final deje el transductor.* La información del eco que retorna al sensor es ignorada por que el transductor aún está transmitiendo pero no recibiendo.[9]

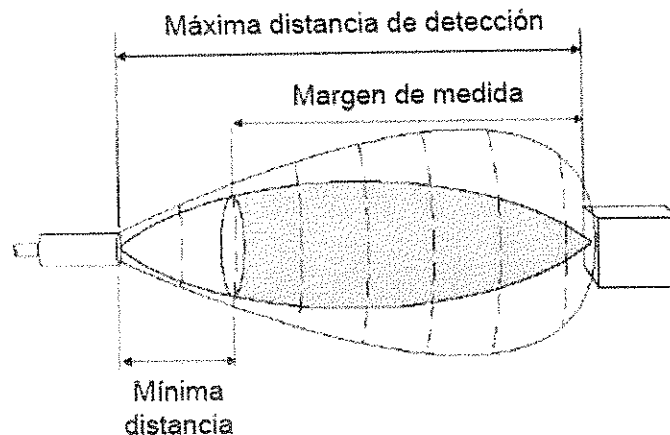


Figura 5. Características del Haz ultrasónico.  
FUENTE:[9].

#### 5.1.1.2. SRF08

El sensor SRF08 Figura 6 es un medidor ultrasónico de distancias que se conecta mediante un bus I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit Protocol). Con una alimentación única de 5V, requiere 15 mA, para funcionar y 3mA mientras esta en reposo. Incluye además una fotorresistencia que permite conocer el nivel de luminosidad usando igualmente el bus I<sup>2</sup>C y sin necesidad de recursos adicionales.

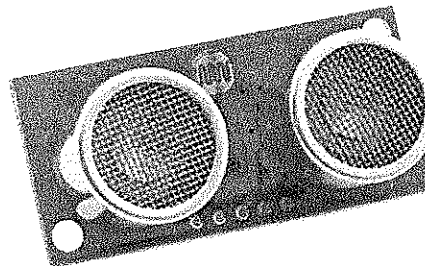


Figura 6. Imagen del sensor de ultrasonido SRF08.  
FUENTE: [10].

- Conexión

El sensor posee 5 pines su distribución se muestra en la figura 7, El pin "Do Not Connect" que debe ser dejado sin conectar, corresponde a una línea de CPU (Central Processing Unit) y se usa únicamente en fábrica para programar el PIC 16F872 incorporado después del ensamble. Las líneas SCL y SDA (conexión para la comunicación I<sup>2</sup>C) deben tener una resistencia pull-up conectada a 5 voltios, se recomienda utilizar un valor de 1.8 kΩ.

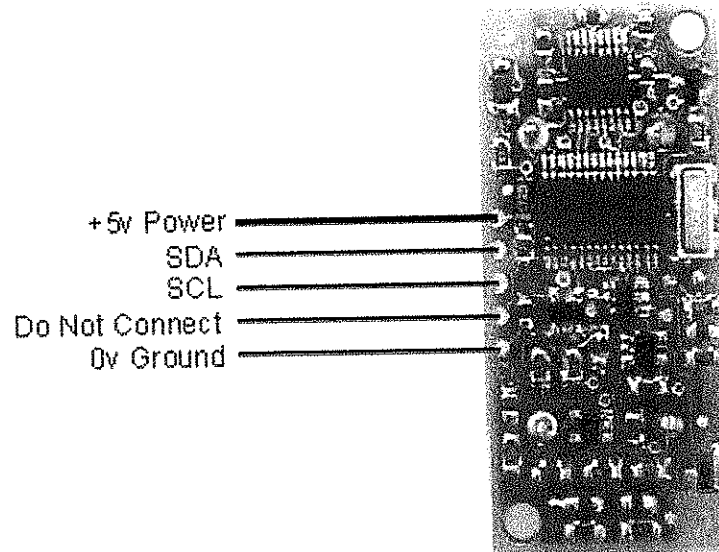


Figura 7. Conexión de pines del sensor de ultrasonido SRF08.  
FUENTE:[10].

- Consumo de corriente

El consumo medio de corriente se calcula que es aproximadamente 12mA durante el cálculo de la distancia, y 3mA en modo de espera. El módulo entrará automáticamente en modo de espera después de terminar la medición, mientras espera al siguiente comando del bus I<sup>2</sup>C. El perfil real de consumo de corriente del SRF08 se muestra en la tabla 1:

Tipo de operación realizada	Corriente	Duración
Comando de medición de la distancia recibido – Encendido	275mA	3uS
Estabilización del generador de +/- 10v	25mA	600uS
8 ciclos de "ping" 40kHz	40mA	200uS
Medición	1mA	65mS máx.
Modo de espera (Stand-by)	3mA	Indefinido

Tabla 1. Operaciones realizadas por el sensor y tiempos requeridos.

- Direccionamiento

La dirección de identificación del sensor SRF08 por defecto de fábrica del SRF08 es 0xE0. Es posible cambiar esta dirección con 16 direcciones diferentes: E0, E2, E4, E6, E8, EA, EC, EE, F0, F2, F4, F6, F8, FA, FC o FE, por lo que es posible utilizar hasta 16 sensores sobre un mismo bus I<sup>2</sup>C. Además de las direcciones anteriores, todos los sensores conectados al bus I<sup>2</sup>C responderán a la dirección 0 -al ser la dirección de atención general. Esto significa que escribir un comando de medición de la distancia para la dirección 0 de I<sup>2</sup>C (0x00) iniciará las mediciones en todos los sensores al mismo tiempo.

- Registros

El sensor SRF08 tiene un conjunto de 36 registros mostrados en la tabla 2.

Ubicación	Lectura	Escritura
0	Revisión de Software	Registro de comando
1	Sensor de luz	Registro de ganancia máx. (por defecto 31)
2	Byte alto de 1º eco	Registro de alcance de distancia (por defecto 255)
3	Byte alto de 2º eco	No disponible
----	----	----
34	Byte alto de 17º eco	No disponible
35	Byte bajo de 17º eco	No disponible

Tabla 2. Registros disponibles en el sensor ultrasonido.

Solamente se puede escribir en las ubicaciones 0, 1 y 2. La ubicación 0 es el registro de comandos y se utiliza para iniciar la sesión de cálculo de la distancia. No puede leerse. La lectura de la ubicación da como resultado la revisión del software de SRF08. Por defecto, la medición dura 65mS.

La ubicación 1 es el sensor de luz en placa. Este dato se actualiza cada vez que se ejecuta un comando de medición de distancia y se puede leer cuando se leen los datos de la medición. Las dos ubicaciones siguientes, 2 y 3, son resultados sin signo de 16 bits de la última medición - el nivel lógico alto en primer lugar. El significado de este valor depende del comando utilizado, y puede estar expresado en pulgadas, o en centímetros, o bien el tiempo de vuelo del ping expresado en  $\mu$ S. Un valor cero indica que no se ha detectado objeto alguno. Hay hasta 16 resultados adicionales que indican los ecos de objetos más lejanos.

- Comandos

Existen tres comandos para iniciar una medición de distancia (desde 80 hasta 82), que devuelve el resultado en pulgadas, centímetros o microsegundos. En

la tabla 3 se muestran los comandos más relevantes que posee el sensor SRF08.

COMANDOS		ACCIÓN
Decimal	Hexadecimal	
80	0X50	Modo cálculo distancia - Resultado en pulgadas
81	0X51	Modo cálculo distancia - Resultado en centímetros
82	0X52	Modo cálculo distancia - Resultado en microsegundos
160	0XA0	1° en la secuencia para cambiar la dirección I2C
165	0XA5	3° en la secuencia para cambiar la dirección I2C
170	0XAA	2° en la secuencia para cambiar la dirección I2C

Tabla 3. Comandos para iniciar una medición de distancia en el sensor de ultrasonido.

- Modo de cálculo de distancia con el SRF08

Para iniciar la medición de la distancia, se debe escribir uno de los comandos anteriores mostrado en la tabla 3 del registro de comando (registro 0) y esperar el tiempo necesario para la ejecución de la operación. A continuación, se debe leer el resultado en el formato que desee (pulgadas, centímetros, etc.). El búfer de eco se pone a cero al comienzo de cada medición. La primera medición del eco se coloca en las ubicaciones 2 y 3, la segunda en 4 y 5, etc. Si una ubicación (niveles altos o bajos de bytes) es 0, entonces no se encontrará ningún otro valor en el resto de los registros. El tiempo recomendado y establecido por defecto para realizar la operación es de 65mS, sin embargo es posible acortar este periodo escribiendo en el registro de alcance antes de lanzar el comando de medición. Los datos del sensor de luz de la ubicación 1 se actualizarán también después del comando de medición.

El sensor SRF08 no responde a ninguna otra actividad I<sup>2</sup>C mientras está realizando la medición. Por lo tanto, si se intentara leer el valor en el sensor SRF08 se recibirá 255 (0xFF) durante la medición. Esto se debe a que la línea de datos I<sup>2</sup>C SDA (Serial Data Line) permanece en un estado lógico alto si nada lo está controlando. Tan pronto como finaliza la medición el sensor SRF08 responderá de nuevo al bus I<sup>2</sup>C.

- Cambio del rango de alcance

El alcance máximo del sensor SRF08 está controlado por el temporizador interno. Por defecto, este es 65mS o el equivalente a 11 metros de alcance. Esto supera los 6 metros de los que el SRF08 es realmente capaz de ofrecer. Es posible reducir el tiempo que espera el sensor SRF08 a escuchar un eco, y por lo tanto el alcance, modificando el registro Range en la ubicación 2. El alcance puede regularse en pasos de aproximadamente 43mm (0,043 m) hasta llegar a los 11 m. El alcance es ((Range Register x 43mm) + 43mm) por lo que fijar este registro (Range Register) en el valor 0 (0x00) ofrece un alcance máximo de 43mm. Fijar el registro Range Register en el valor 1 (0x01) ofrece

un alcance máximo de 86mm. En un ejemplo más útil, el valor 24 (0x18) ofrece un alcance de 1 metro mientras que el valor 140 (0x8C) da 6 metros. El valor 255 (0xFF) ofrece los 11 metros originales ( $255 \times 43 + 43$  es 11008mm).

Existen dos razones por las que es positivo reducir el tiempo de medición:

- Para obtener la información sobre el alcance en menos tiempo.
- Para poder realizar mediciones con el sensor SRF08 a una tasa más rápida.

Si se requiere recibir el haz enviado en menos tiempo, se debe realizar las mediciones del sensor a una tasa de 65ms o menos. Sin embargo, si desea enviar el haz del sensor SRF08 a una tasa ligeramente más alta de 65mS, se debe reducir la ganancia. El alcance está fijado en el valor máximo cada vez que se pone en marcha el sensor SRF08. Si se quiere lograr un alcance diferente, se debe cambiar al principio como parte del código de iniciación del sistema.

- Sensor de luz

El medidor ultrasónico SRF08 dispone de un sensor fotoeléctrico en la propia placa. Este medidor realiza una lectura de la intensidad de la luz cada vez que se calcula la distancia (La conversión analógica/digital se realiza realmente justo antes de que se lance el "ping" mientras el generador de 10v +/- se encuentra en fase de estabilización). EL valor de la lectura va aumentando a medida que aumenta la intensidad de la luz, por lo que valor máximo lo obtendrá con una luz brillante y el valor mínimo en total oscuridad. La lectura debería acercarse a 2-3 en total oscuridad y aproximadamente a 248 (0xF8) en luz diurna. La intensidad de la luz puede leerse en el registro del sensor de luz en la ubicación 1 al mismo tiempo que puede leer los datos del alcance.

- LED

EL indicador LED rojo se utiliza para indicar el código de la dirección I<sup>2</sup>C del sensor en el encendido. Así mismo, también emite un breve destello durante el "ping" en el cálculo de la distancia.

- Diagrama esquemático del sensor SRF08

A continuación se muestra el circuito esquemático de la tarjeta del sensor de ultrasonido SRF08, donde es posible apreciar las conexiones de los componentes que conforman la placa:

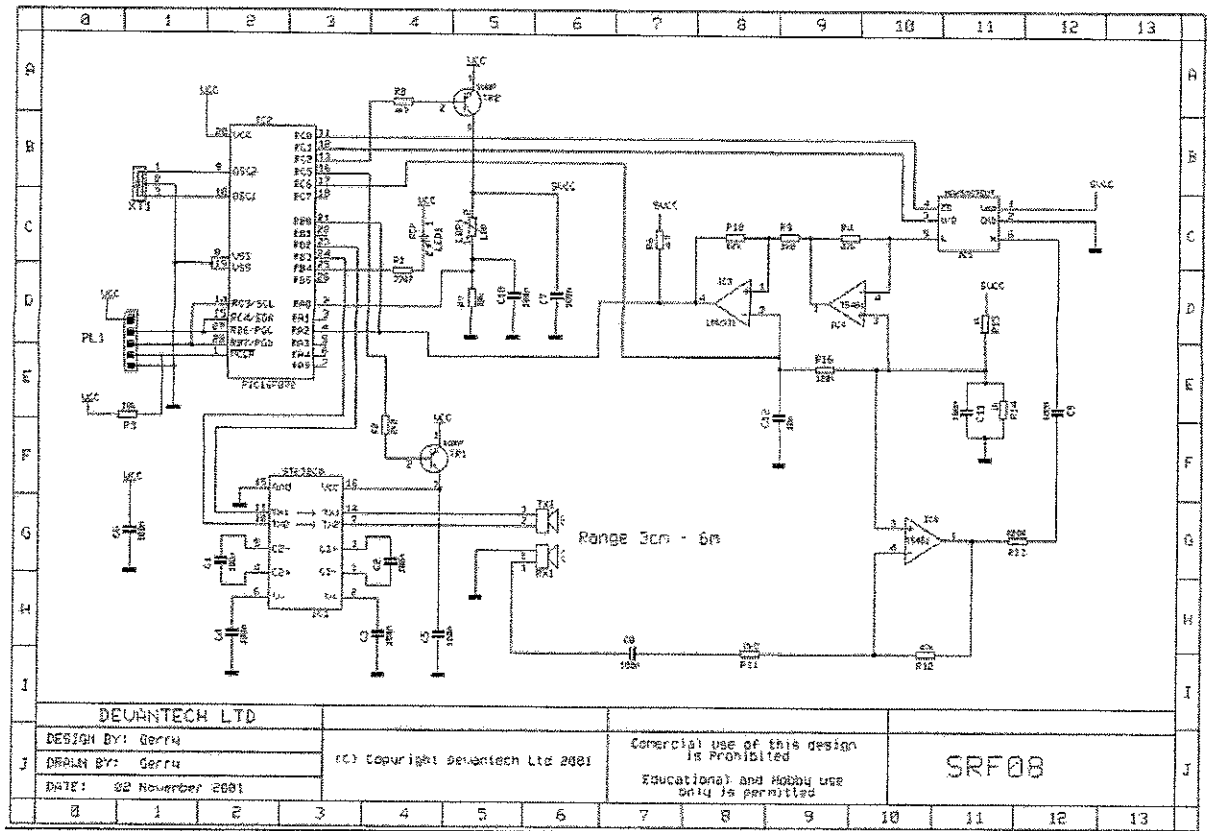


Figura 8. Diagrama esquemático del sensor de ultrasonido SRF08.  
FUENTE:[10].

### 5.1.2. Sensor de Posición Magnética (Compás Electrónico)

#### 5.1.2.1. Generalidades

Las Propiedades Magnéticas pueden ser usadas para determinar la posición por medio de la detección de presencia, fuerza o dirección de los campos magnéticos no solo de la tierra sino también de imanes, campos generados por corrientes eléctricas, hasta incluso actividad de las ondas cerebrales. Los sensores magnéticos pueden medir estas propiedades sin contacto físico y se han convertido en los ojos de muchos sistemas de control industriales y de navegación.

El campo magnético es una cantidad vectorial que tiene tanto magnitud como dirección. Los sensores magnéticos miden esta cantidad de diferentes maneras. Algunos miden el total de la magnitud mas no la dirección del campo (sensores escalares). Otros miden la magnitud del componente de magnetización a lo largo de la sensibilidad de su eje (Sensores uni-direccionales). Esta medida también puede incluir dirección (Sensores bi-direccionales).

Los sensores magnéticos vectoriales tienen dos o tres sensores bidireccionales. Algunos sensores magnéticos tienen un umbral integrado y produce una salida solo cuando ese umbral se sobrepasa.

Existen dos clases de sensores magnéticos:

#### 5.1.2.1.1. Sensor de Efecto Hall:

Los sensores de efecto hall tienen una gran variedad de aplicaciones para determinar posición, especialmente como sensores de proximidad. Son usados ampliamente en automóviles para sensar desde la posición de un pistón y los ángulos de los aceleradores hasta la posición de los seguros de las puertas. También se utilizan en máquinas de oficinas cuando se sensan la colocación de papel y la posición de las cámaras de seguridad.

Un dispositivo de efecto Hall deriva su salida de fuerza de campo magnético, mientras que un dispositivo magneto-resistivo mide el ángulo de dirección del campo magnético, así que su salida está basada en la resistencia eléctrica del campo. Unas de las ventajas en medir la dirección del campo con respecto a fuerza del campo incluyen:

- Insensibilidad al coeficiente de temperatura del imán.
- Menos sensibilidad a choques y vibraciones.
- La habilidad para resistir largas variaciones en la barrera entre el sensor y el imán.

Los sensores de efecto hall son muy asequibles y precisos. Contienen un elemento hall construido de una delgada hoja de material conductivo con conectores de salida perpendiculares a la dirección del flujo de corriente. Cuando se somete a un campo magnético, el sensor responde con un voltaje de salida proporcional a la fuerza del campo. Este voltaje es muy pequeño y requiere acondicionamiento electrónico adicional para alcanzar unos niveles de voltaje manejables.

#### 5.1.2.1.2. Sensor Magneto Resistivo

Los sensores Magneto resistivos (MR) son usualmente hechos de filmina delgada (Permalloy<sup>1</sup>) de níquel-hierro depositada sobre una lámina de silicio y modelado como una banda resistiva. Las propiedades de la filmina delgada de MR causan que cambie la resistencia por un 2 o 3% en presencia de campo magnético. Para un sensor MR típico, el ancho de banda del sensor tiene un rango de 1 a 5MHz. La reacción es muy rápida y no se limita por frecuencias

---

<sup>1</sup>Permalloy es una marca comercial que designa a una aleación magnética compuesta por níquel y acero. Generalmente el permalloy está constituido por aproximadamente un 20% de hierro y 80% de níquel. Posee una alta permeabilidad magnética, baja coercitividad y significativa magneto-resistencia anisótropa.

oscilantes o bobinados. Los sensores MR miden tanto posición lineal como angular y desplazamiento en el campo magnético de la Tierra. Son una excelente solución para localizar objetos en movimiento. Mediante la colocación de un sensor o un elemento magnético a un objeto con movimiento lineal o angular con su complementario sensor o elemento magnético estacionario, la dirección relativa resultante del campo magnético puede ser cuantificada electrónicamente.

La demanda de sensores magnéticos de efecto hall permanece alta ya que este es el único efecto magnético que puede ser implementado en tecnología CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) lo que los hace muy asequibles. Algunas de las ventajas de los dispositivos que sensan efecto Hall incluyen su larga vida y alta velocidad de respuesta. Operan con entrada estacionaria y tienen un amplio rango de temperatura (-40 a +150 grados C) para aplicaciones industriales y automotrices.

Los sensores MR pueden detectar la presencia de vehículos a distancias de 50 pies y son usados usualmente en aplicaciones de tráfico y peaje. Otras aplicaciones comunes incluyen velocidad de las ruedas del automóvil, sensado de cigüeñal y el sensor de brújula de navegación. Son muy usados en aplicaciones para la medición de posicionamiento o de desplazamiento lineal, reemplazos para LVDT (Linear Variable Differential Transformer), detectores de proximidad, posicionamiento de válvulas, robótica, movimiento de ejes, dirección de automóviles, frenos y sistemas de aceleración y posición. Los sensores MR proveen salidas altamente predecibles. Su alta sensibilidad, pequeño tamaño, inmunidad al ruido, son ventajas grandes frente a otros dispositivos mecánicos y eléctricos.[9]

#### 5.1.2.2. CMPS09

El módulo CMPS09 es un compás de inclinación compensada. Empleando un magnetómetro de tres ejes, un acelerómetro de tres ejes y un potente procesador de 16 bits, el CMPS09 ha sido diseñado para eliminar los errores causados por la inclinación de la placa. La salida de los tres sensores que miden los componentes X, Y y Z del campo magnético, junto con el inclinación y balanceo se utilizan para calcular el rumbo. El módulo CMPS09 requiere una fuente de alimentación de 3,3 - 5 V y establece una corriente nominal de 25mA.

- Conexión Sensor

El sensor CMPS09 puede manejar tres modos de conexión dependiendo del formato en el que se quiere recibir la señal de salida, estos modos son I<sup>2</sup>C, Serial y PWM (Pulse Wide Modulation) cuya configuración son mostradas en la figura 9.

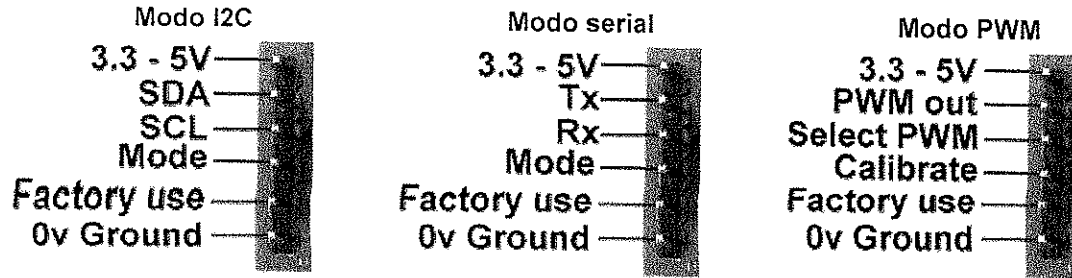


Figura 9. Conexión de pines del sensor de brújula magnética CMP09.  
FUENTE:[11].

- Registros CMPS09:

Para realizar la comunicación I<sup>2</sup>C con el compás magnético, se debe enviar el bit de inicio, seguido de la dirección del módulo con el bit de lectura/escritura en bajo, y luego se envía el número de registro que desea leer. Esto es seguido por otro bit de inicio y la dirección del módulo con el bit de lectura/escritura en alto. A continuación es posible leer uno o dos bytes de registros de 8 bits o los 16 bits, respectivamente. La brújula tiene un arreglo de 23 bytes de registros, organizado en la tabla 4:

Registro	Función
0	Versión Software
1	Datos de compas representación byte, i.e. 0-255 para circunferencia completa
2,3	Datos de compas representación word, i.e. 0-3599 para circunferencia completa, representando 0-359.9 grados.
4	ángulo de inclinación - Bit signado que entrega el ángulo en grados con respecto al eje horizontal
5	ángulo de balanceo - Bit signado que entrega el ángulo en grados con respecto al eje horizontal
6	Sin uso
7	Sin uso
8	Sin uso
9	Sin uso
10,11	Magnetometer X axis raw output, 16 bit signed integer with register 10 being the upper 8 bits
12,13	Magnetometer Y axis raw output, 16 bit signed integer with register 12 being the upper 8 bits
14,15	Magnetometer Z axis raw output, 16 bit signed integer with register 14 being the upper 8 bits
16,17	Accelerometer X axis raw output, 16 bit signed integer with register 16 being the upper 8 bits
18,19	Accelerometer Y axis raw output, 16 bit signed integer with register 18 being the upper 8 bits
20,21	Accelerometer Z axis raw output, 16 bit signed integer with register 20 being the upper 8 bits
22	Registro de Comandos

Tabla 4. Registros del sensor CMP09.

- Cambiar la dirección del bus I<sup>2</sup>C

Para cambiar la dirección I<sup>2</sup>C del CMPS09 se debe tener sólo un módulo en el bus, luego se debe escribir las 3 secuencias de comandos en el orden correcto seguido de la dirección con 100 ms entre escrituras. Estos comandos deben ser enviados en la secuencia correcta para cambiar la dirección I<sup>2</sup>C, además, ningún otro comando puede ser emitido en el medio de la secuencia. La secuencia debe enviarse al registro de comandos en la ubicación 22. En la tabla 5 se muestran las posibles direcciones que puede adquirir el sensor CMP09.

Dirección	
Decimal	Hex
192	C0
194	C2
196	C4
198	C6
200	C8
202	CA
204	CC
206	CE

Tabla 5. Direcciones permitidas por el sensor CMP09.

### 5.1.3. Acelerómetro

#### 5.1.3.1. Generalidades

El acelerómetro es un circuito integrado de superficie micro-mecanizada. El dispositivo consta de una superficie de detección de celdas micro-mecanizadas-capacitivas (celdas-g) y un acondicionamiento de señal ASIC (Application-Specific Integrated Circuit). La celda-g es una estructura mecánica formada por materiales semiconductores (poli silicio), utilizando semiconductores en procesos de (enmascaramiento y grabado). Este puede ser modelado como un conjunto de ejes unidos a una masa central móvil que se desplazan entre ejes fijos. Los ejes móviles pueden ser desviados de su posición de reposo al someter el sistema a una aceleración. Como los ejes se encuentran adjuntos a la masa central, la distancia entre los ejes fijos en un lado se incrementará en la misma cantidad de distancia entre los ejes y en el otro lado disminuye. El cambio en la distancia es una medida de la aceleración. Los ejes de la celda-g forman dos condensadores encontrados. A medida que el eje central se mueve con aceleración, la distancia entre los ejes cambian y el valor de cada capacitor también va a cambiar, este comportamiento se define en la ecuación 2:

$$C = A\epsilon / D \quad (2)$$

Donde  $A$  es el área de la viga,  $\epsilon$  es la constante dieléctrica, y  $D$  es la distancia *entre los haces*. El ASIC utiliza técnicas de conmutación de condensador para medir los condensadores de celdas-g y obtener los datos de aceleración de la diferencia entre los dos condensadores. El ASIC también extrae las condiciones de la señal y los filtros (conmutación de condensadores) de la señal, proporcionando un nivel voltaje de alto de salida que es radiométrico y proporcional a la aceleración.[9] En la figura 10 se muestra una descripción gráfica del modelo físico de un acelerómetro.

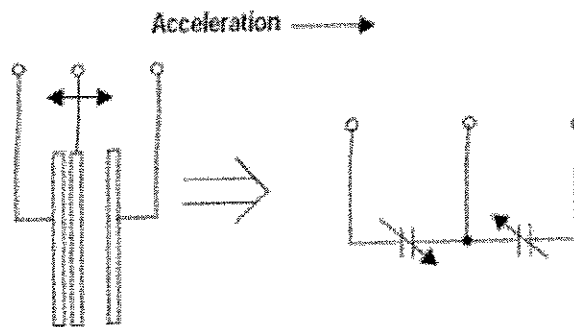


Figura 10. Modelo físico del transductor de aceleración simplificado.  
FUENTE:[9].

#### 5.1.3.2. MMA7361L

El MMA7361L es un acelerómetro de baja potencia, de bajo perfil capacitivo micro mecanizado, con acondicionamiento de señales, un filtro de un polo pasa bajos, compensación de temperatura, autocontrol, detector 0g para protección en caída libre y seleccionador g que permite la selección entre dos sensibilidades. El offset de gravedad cero y la sensibilidad se ajustan en fábrica y no requieren dispositivos externos. Posee bajo consumo de corriente: 400 $\mu$ A, y en modo reposo: 3 $\mu$ A, tiene bajo consumo de voltaje: 2.2 V – 3.6V. Diseño robusto, de alta resistencia a choques

- Conexión Sensor

El acelerómetro MMA7361L posee nueve pines entre los cuales están los respectivos pines de alimentación, el pin para la selección de la sensibilidad, el pin para el Self Test y los tres pines de la señal de salida correspondiente a las aceleraciones detectadas en los tres ejes coordenados, X, Y y Z. En la figura 11 se muestra un diagrama esquemático de las entradas y salidas del sensor, así como también los pines de la tarjeta en la cual va montada. Las tres salidas de aceleración X, Y y Z, entregan los datos de manera analógica con valores de tensión de 800mV/g.

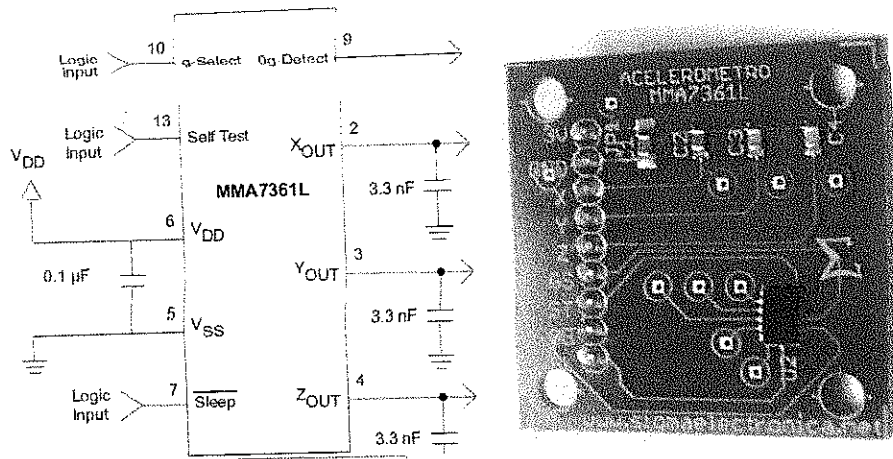


Figura 11. Conexión de pines del sensor de aceleración MMA7561L.  
FUENTE: [12].

#### 5.1.4. Encoder Óptico

##### 5.1.4.1. Generalidades

Un encoder es un sensor electro-opto-mecánico que unido a un eje, proporciona información de la posición angular. Su fin, es actuar como un dispositivo de realimentación en sistemas de control integrado. Un encoder óptico incremental es un disco dividido en sectores que son opacos y transparentes y están alternados entre sí. Una fuente de luz es ubicada en un lado del disco, y un sensor de luz se ubica al lado opuesto. Mientras el disco rota, la salida del detector cambia intermitentemente de encendido a apagado (On - Off), dependiendo de del sector que se encuentre enfrenteado a la luz y al sensor. Debido a esto, el encoder produce una serie de pulsos cuadrados, que cuando son contados, indican la posición angular del eje del motor. El rango de resoluciones permitidas de los encoders (cantidad de sectores transparentes y opacos por disco) van desde 100 a 65 000, cuya precisión absoluta alcanza los 30 grados por segundo. La mayoría de los encoders emplean una segunda fuente de luz y sensor, para indicar la dirección de rotación. Los encoders incrementales necesitan de un contador externo para determinar el ángulo absoluto sin que se haya realizado una rotación, si se pierde la lectura del pulso debido a ruido o apagones momentáneos, la lectura llevaría a un error del dato tomado.

Los encoders ópticos absolutos pueden solucionar estos inconvenientes, ya que el disco de estos encoders están divididos en  $N$  sectores y cada sector está dividido radialmente en secciones opacas y transparentes. Formando un dato digital único de  $N$ -bit, con un conteo máximo de  $2N - 1$ . Este dato va incrementando su valor de un sector al otro, para interpretación de estos datos

se utiliza el código Gray<sup>2</sup>. El valor máximo de error es producido por una discordancia en un único bit del código de Gray. Un arreglo de  $N$  sensores de luz responde al dato digital de  $N$ -bits, que corresponde a la posición angular absoluta del disco. [8] En la figura 12 se comparan las dos configuraciones de encoders mencionadas anteriormente:

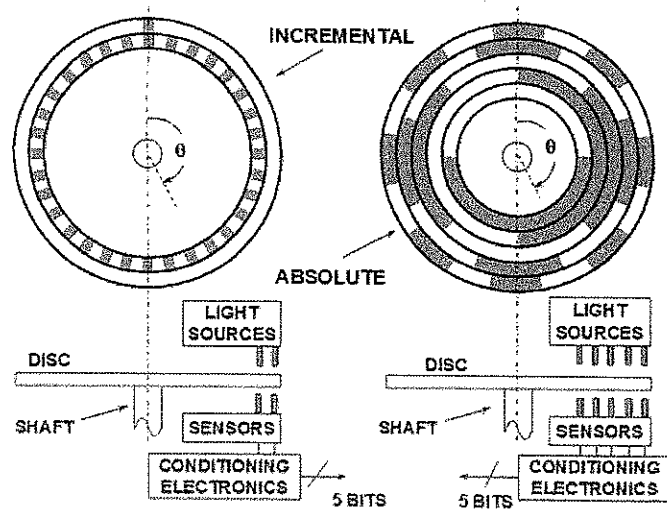


Figura 12. Formas de los encoders incremental y absoluto.  
FUENTE:[9].

#### 5.1.4.2. Encoders Ópticos VEX

El principio de funcionamiento se basa en la configuración incremental de un encoder, la cual posee un disco giratorio con un patrón de rejillas alrededor de una circunferencia la cual se encuentra posicionada entre un LED y un detector de luz, cuando el disco rota, la luz del LED es bloqueada en un patrón regular. Este patrón es procesado para determinar que tanto ha rotado el disco de su posición inicial. El disco es acoplado con la rueda del móvil para determinar la distancia que ha recorrido la rueda como se muestra en la figura 13.

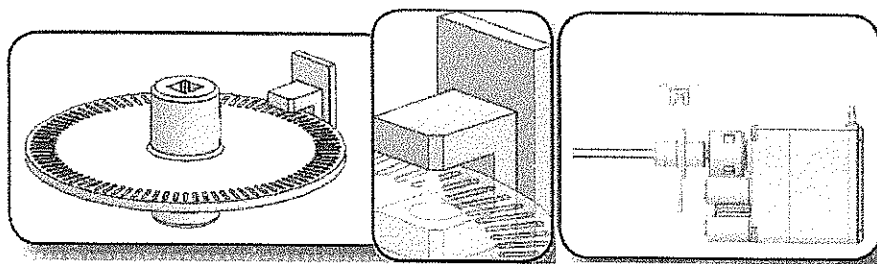


Figura 13. Principio de funcionamiento del encoder óptico VEX.  
FUENTE: [13].

<sup>2</sup> El código binario reflejado o código Gray, nombrado así en honor del investigador Frank Gray, es un sistema de numeración binario en el que dos valores sucesivos difieren solamente en uno de sus dígitos.

En el encoder de cuadratura hay dos canales de salida. Solo una salida puede ser usada para utilizar el sensor como un encoder óptico básico. El término cuadratura se refiere a la situación donde existen dos señales de salida que están desfasadas 90 grados de fase lo cual permite también reconocer no solo posición sino dirección de movimiento. En la figura 14 se muestra las señales que se obtienen a las salidas de un encoder VEX.

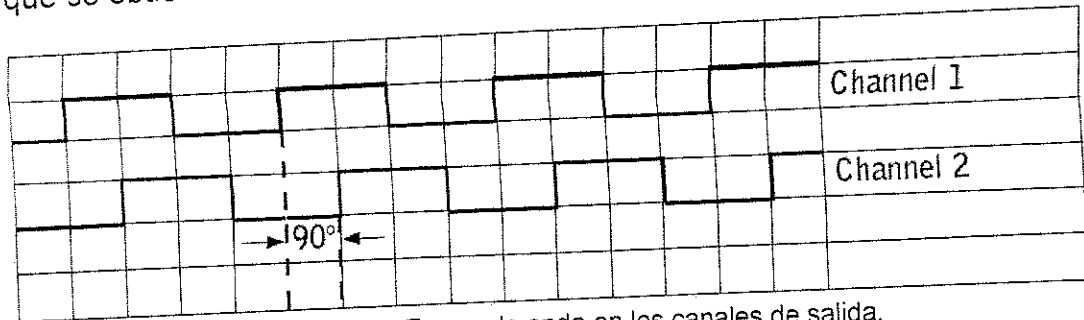


Figura 14. Forma de onda en los canales de salida.  
FUENTE:[13].

Las señales otorgadas por el sensor son digitales, donde nivel lógico bajo (cero) se produce cuando la luz del LED IR pasa a través del risco alcanzando al detector, y un nivel lógico alto (uno) se produce cuando la luz es bloqueada por un segmento opaco del disco. En la figura 15, se muestra la conexión del sensor donde el cable blanco corresponde a la salida de cada canal ya sea A o B que se genera en un mismo sensor, el cable rojo corresponde a la alimentación del sensor la cual va conectada a 5V y el cable negro corresponde a la tierra.

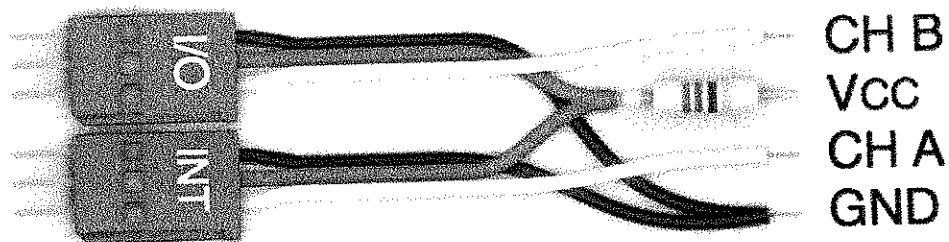


Figura 15. Pines para la conexión del sensor.  
FUENTE:[13].

Para calcular la distancia recorrida por la rueda del móvil, se multiplica la circunferencia por el número de revoluciones que la ha efectuado. Conociendo el número de rejillas ahí en el encoder, es posible determinar cuántas revoluciones la rueda del móvil ha efectuado basado en el número de veces que el detector de luz se ha encendido. El encoder implementado posee 90 rejillas, el sensor es capaz de detectar hasta 1700 pulsos por segundo, que corresponde a 18,9 revoluciones por segundo y 1133 rpm (revoluciones por minuto).

#### 5.1.4.2.1. Adecuación con PIC para comunicación

Para acondicionar las señales de los encoders se utilizó un microcontrolador PIC16F876A Microchip, el cual utiliza la herramienta de interrupción por desbordamiento del temporizador. Al entrar a esta interrupción se tiene que ha transcurrido 0.1024 ms, multiplicando este tiempo por 1000 se obtiene un tiempo total aproximado de 100ms, de esta manera es posible calcular los pulsos que han transcurrido después del tiempo de desbordamiento (100 ms) y se calcula su velocidad con estos datos en LabVIEW<sup>TM</sup>, al mismo tiempo se realiza una AND entre los dos pulsos de los canales A y B del encoder, los cuales se encuentran desfasados noventa grados, es posible determinar la dirección en la cual se mueven los motores.

Para el cálculo del tiempo de interrupción se debe considerar la ecuación 3:

$$T_{int} = \frac{1}{F_{OSC} * (256 - V_{TMR0}) * prescaler} \quad (3)$$

Donde  $F_{OSC}$  es la frecuencia de oscilación en el microcontrolador, en los microcontroladores PIC el cálculo se realiza a partir del cristal que se está utilizando y a este valor se divide por cuatro, así se obtiene el  $F_{OSC}$ ,  $V_{TMR0}$ , es un registro del valor de un byte para variar el  $T_{int}$ , y el prescaler ayuda a aumentar también valores del tiempo, este valor depende del PIC que se esté utilizando. Así los valores que se tiene para el sistema de encoder son:

$$F_{OSC}=2E-7, V_{TMR0}=0, prescaler=2 \quad (4)$$

El resultado va ser igual a 1,024E-4, si lo se repite 10 veces se obtiene 1,024E-3 que es aproximadamente a 1 ms.

Luego de adecuar el dato del tiempo, se realiza una comunicación I<sup>2</sup>C para enviar este dato al dispositivo Host del sistema de comunicación que reúne la información y construye la trama de datos de todos los sensores. Para esto se realiza una interrupción por comunicación I<sup>2</sup>C en el PIC 16F86A, esta se ejecuta cuando un bit de START llega por el canal SDA y SCL. El PIC se comporta como el dispositivo esclavo de la comunicación con la dirección 0xA0 en formato hexadecimal, al ser reconocida esta dirección, el PIC se dispone a recibir el buffer de entrada generado por el dispositivo maestro, luego de recibir el buffer almacena este dato y lo compara para identificar qué información está solicitando el maestro (Encoder 1 o Encoder 2), posteriormente enviar el dato por la línea de datos. En la figura 16, se puede observar el diagrama de flujo de las tareas ejecutadas por el PIC16F876A.

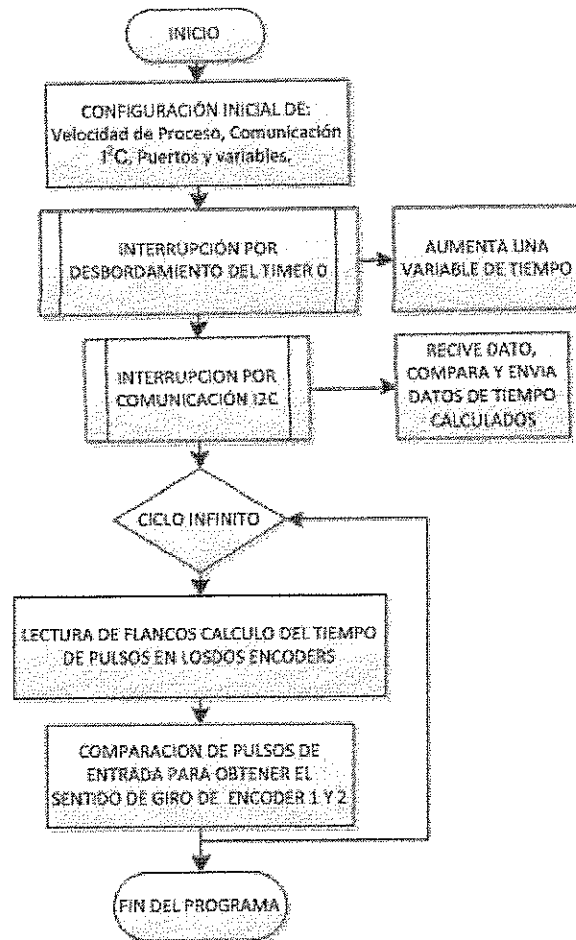


Figura 16. Diagrama de flujo de las tareas ejecutadas por el PIC16F876A.  
FUENTE:[13].

### 5.1.5. Generación de imágenes pasivas Cámara Inalámbrica

#### 5.1.5.1. Generalidades

La visión asistida por computadora es muy utilizada en los últimos desarrollos de vehículos autónomos y en este caso en particular, de vehículos teleoperados, esencialmente en tareas como:

- Detección y seguimiento del camino.
- Detección de Obstáculos.
- Detección u seguimiento de vehículos.
- Detección e identificación de marcas de terreno.

Dentro de las tecnologías empleadas para la construcción de cámaras están los sensores de imagen CCD (Charge-Coupled Device) y los CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor). Un sensor CCD es un circuito integrado sensible a la luz que almacena datos de imagen irradiadas de manera que cada pixel adquirido es convertido en una señal eléctrica. La

tecnología CMOS ofrece ciertas ventajas permiten acceder a mas bloques individuales, esto permite instantáneamente ver una región de interés (ROI) sin la integración de tiempo, temporizando, y sin los registros de corrimiento de los sensores CCD estándar. Una ventaja clave de los sensores CMOS es que los circuitos adicionales pueden ser construidos en silicio lo que permite mejorar la funcionalidad y el desempeño: salida directa digital, reducción de la radiación, incremento del rango dinámico, etc. El rango dinámico es importante cuando se obtienen imágenes del medio en ambientes abiertos con variación de iluminación.[14]

#### 5.1.5.2. Cámara Inalámbrica 2.4 GHz

La cámara utilizada para adquirir imágenes en tiempo tiene como características Transmisor y receptor de 4 canales a una frecuencia modulada de 2.4 GHz y dos líneas de señales de salida de audio y video compuesto. Los componentes del sistema de visión se ilustran en la figura 17.

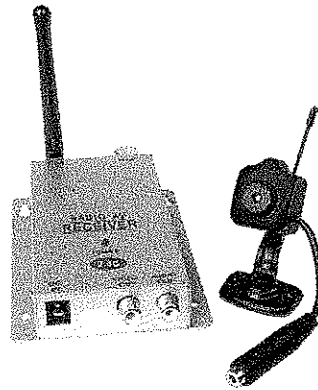


Figura 17. Cámara transmisora y receptor de video y audio.  
FUENTE: Autores.

- Especificaciones técnicas
  - Modelo: LYD – 203CWAS
  - Sensor de Imágenes: 1 / 3 " OmniVision CMOS
  - Validez del pixel (Resolución): PAL - 628\*582 / NTSC - 510x492
  - Angulo de Visión: 54°
  - Frecuencias por canales: CH1: 2,414 GHz
    - CH2: 2,432 GHz
    - CH3: 2,450 GHz
    - CH4: 2,468 GHz
  - Rango de alcance con línea de vista: 100 m
  - Temperatura de trabajo: -10 C a 50 C
  - Alimentación de la cámara: 8 V / 200 mA DC
  - Alimentación del Receptor: 12 V / 500 mA

La señal entregada por el receptor es una señal de video compuesto por conector RCA, esta es una señal de video analógica que consta de:

chrominancia, que porta la información del color de una imagen; luminancia, que porta la información de luz (imagen en blanco y negro) y sincronismos que indican las características del barrido efectuado en la captación de la imagen. El vídeo compuesto tiene diferentes estándares que difieren principalmente en las características utilizadas en el método de descomposición de la imagen y en la codificación del color.

La descomposición de la imagen para su captación se realiza mediante el *barrido de diferentes "fotogramas", o frames, que se descomponen en líneas*. El número de cuadros (que se descomponen a su vez en campos) y de líneas marcan la característica del estándar, se agrupan en la utilización de 60 campos (30 cuadros, determinados por los 60 Hz de la red eléctrica) para América y Asia definidos por el estándar NTSC[15] y 50 campos (25 cuadros, determinados por los 50 Hz de la red eléctrica) para Europa definidos por el estándar PAL[15].

Es importante identificar estos parámetros ya que para captar las imágenes por medio de la capturadora de video es necesario seleccionar el estándar adecuado en el cual se recibe las señales de video, para el caso particular del proyecto se trabaja bajo el estándar NTSC.

## 5.2. Comunicación

Para transmitir y recibir los datos a través de todo el sistema teleoperado (tanto en el móvil como en la estación de monitoreo), se acoplan varios protocolos de comunicación que permiten adaptar diferentes dispositivos que interconectan cada bloque del sistema como se muestra en la figura 18. Para entender el proceso de comunicación es necesario describir los protocolos utilizados y la información que se está acondicionando para realizar la comunicación.

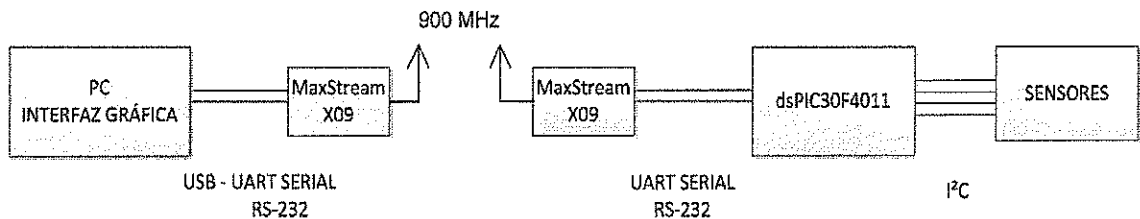


Figura 18. Diagrama de Bloques de los protocolos de comunicación utilizados en el sistema.  
FUENTE: Autores.

### 5.2.1. I<sup>2</sup>C

I<sup>2</sup>C es un bus de comunicaciones en serie. Su nombre viene de Inter-Integrated Circuit (Circuitos Inter-Integrados). La versión 1.0 data del año 1992 y la versión 2.1. del año 2000, su diseñador es Philips. La velocidad es de 100Kbits por segundo en el modo estándar, y la principal característica que posee el protocolo I<sup>2</sup>C es la de conectar varios dispositivos a dos únicas líneas comunes

de transmisión de información: una para los datos y por otra la señal de reloj, las cuales se denominan:

- SDA: la cual transporta los datos entre dispositivos.
- SCL: Reloj que regula los tiempos de la comunicación en el bus.

Estas dos líneas necesitan resistencias de pull-up que los conecte al valor positivo de la alimentación. Los dispositivos conectados al bus I<sup>2</sup>C tienen una *dirección única para cada uno*, también pueden ser maestros o esclavos: El dispositivo maestro inicia la transferencia de datos y además genera la señal de reloj, pero no es necesario que el maestro sea siempre el mismo dispositivo. En la figura 19 se muestra un esquema de conexión de diferentes dispositivos bajo el protocolo I<sup>2</sup>C.

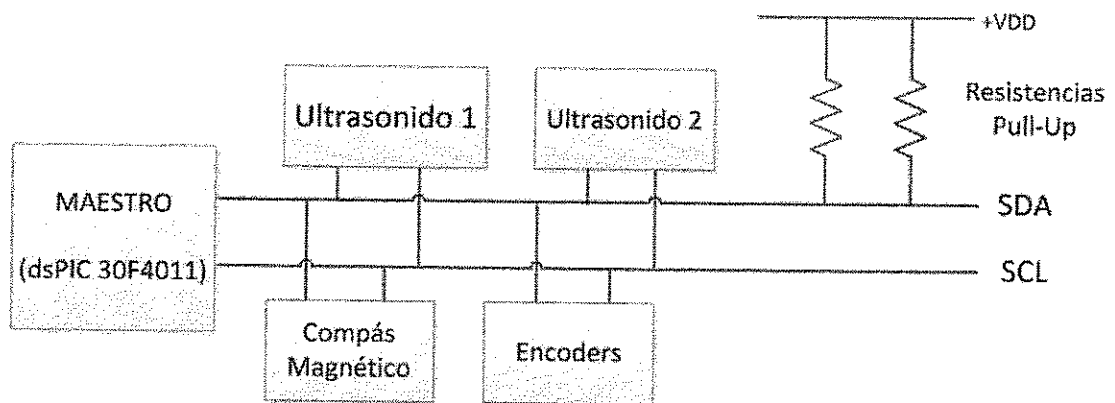


Figura 19. Diagrama de conexión en un sistema I<sup>2</sup>C.  
FUENTE: Autores.

#### 5.2.1.1. Funcionamiento del bus I<sup>2</sup>C

Cada dispositivo es reconocido por su código (dirección) y puede operar como transmisor o receptor de datos. Además, cada dispositivo puede ser considerado como Maestro o Esclavo.

- El Maestro es el dispositivo que inicia la transferencia en el bus y genera la señal de Clock.
- El Esclavo es el dispositivo direccionado.
- Las líneas SDA (serial Data) y SCL (serial Clock) son bidireccionales, conectadas al positivo de la alimentación a través de las resistencias de pull-up. Cuando el bus está libre, ambas líneas están en nivel alto.
- La transmisión bidireccional serie (8-bits) de datos puede realizarse a 100Kbits/s en el modo estándar o 400 Kbits/s en el modo rápido.
- La cantidad de dispositivos que se pueden conectar al bus está limitada, solamente, por la máxima capacidad permitida: 400 pF.

- Condiciones de START y STOP:

Antes de que se establezca un intercambio de datos entre el circuito Master y los Esclavos, el Master debe informar el comienzo de la comunicación (condición de Start): la línea SDA cae a cero mientras SCL permanece en nivel alto. A partir de este momento comienza la transferencia de datos. Una vez finalizada la comunicación se debe informar de esta situación (condición de Stop). La línea SDA pasa a nivel alto mientras SCL permanece en estado alto.

- Transferencia de datos

La secuencia de transferencia de datos respeta un esquema de tiempos definido el cual se muestra en la figura 20, y se describe a continuación:

- El Maestro genera la condición de Start.
- Cada dato puesto en el bus SDA debe tener 8 bits, el primer dato transferido contiene la dirección del Esclavo seleccionado.
- Luego el Maestro lee el estado de la línea SDA, si el valor leído es 0 (impuesto por el esclavo), el proceso de transferencia continúa. Si es 1, indica que el circuito direccionado no valida la comunicación, entonces, el Maestro genera un bit de stop para liberar el bus I<sup>2</sup>C.
- Este acuse de recibo se denomina ACK (acknowledge) y es una parte importante del protocolo I<sup>2</sup>C.
- Al final de la transmisión, el Maestro genera la condición de Stop y libera el bus I<sup>2</sup>C, las líneas SDA y SCL pasan a estado alto.

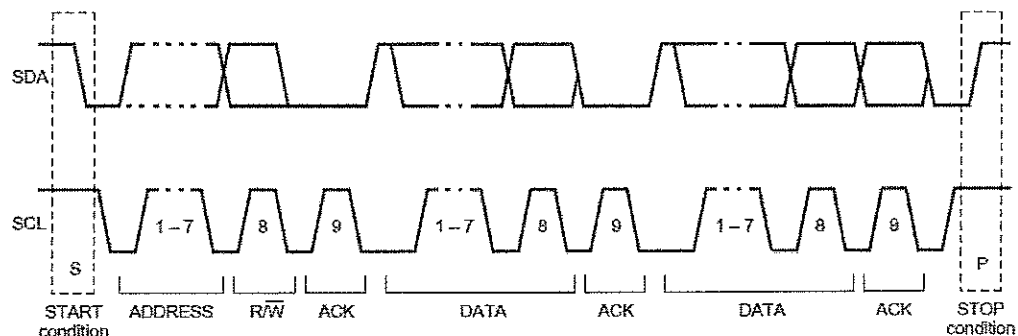


Figura 20. Diagrama de tiempos y estados lógicos en el sistema I<sup>2</sup>C.  
FUENTE:[16].

Dentro del desarrollo del proyecto existen 5 dispositivos esclavos que realizan comunicación bajo el protocolo I<sup>2</sup>C: los dos sensores de ultrasonido SRF08, el compás electrónico CMP09, y los dos encoders VEX a los cuales se direcciona utilizando un dsPIC30F4011 cuya programación se aborda más adelante.

### 5.2.2. UART SERIAL RS-232

RS232 es una interfaz que designa una norma para el intercambio de una serie de datos binarios entre un Equipo terminal de datos (DTE) y un Equipo de Comunicación de datos (DCE). La interfaz puede trabajar en comunicación asíncrona o síncrona y tipos de canal simplex, halfduplex o full duplex.

Las UART o (Transmisor y Receptor Asíncrono Universal) son dispositivos diseñados para convertir las señales que maneja la CPU de un dispositivo transmisor y comunicarlas al exterior con otros dispositivos. Las UART deben resolver problemas tales como la conversión de voltajes internos del DCE con respecto al DTE, gobernar las señales de control, y realizar la transformación de información desde el bus de datos de señales en paralelo a serie y viceversa.

Este protocolo tiene lugar en la comunicación que se realiza entre los dsPIC, tanto en que se encarga de adecuar la trama de sensores, así como el que se encarga de controlar la acción de los motores, y el computador con los módulos de comunicación inalámbrica MaxStream X09. Para la comunicación del sistema entre el dispositivo instalado en el robot móvil y el computador del operador, se opta por utilizar el protocolo de comunicación serial regido por el estándar RS-232, se toma en cuenta este por la disponibilidad de estos en un ordenador y en el micro-controlador.

Las características que presenta el microcontrolador dsPIC30f4011 para efectuar este tipo de comunicación se encuentran:

- Comunicación Full-duplex, 8 o 9 bits de datos de comunicación.
- Par, impar o ninguna opción de paridad (para datos de 8 bits).
- Uno o dos bits de parada.
- Generador totalmente integrado con velocidad de transmisión de 16 bits Prescaler.
- Las velocidades en baudios oscilan entre los 38 bps a 1.875 Mbps a una tasa de instrucción de 30 MHz.
- 4-Word de búfer de transmisión de datos.
- 4-Word de búfer de recepción de datos.
- Paridad, encuadre y la detección de saturación del búfer de error.
- Apoyo a la interrupción solo en la Dirección de Detección (novenos bit=1).
- Transmisión independiente e interrupción de recepción.
- Loopback para modo de apoyo diagnóstico.

Dentro de los parámetros de la comunicación serial que se maneja a través del sistema se tiene una velocidad de 9600 baudios la cual responde muy bien a las necesidades de tiempos que se manejan entre la visualización de los datos

de los sensores en la estación y la respuesta de los actuadores de acuerdo a las órdenes impartidas por el operador.

#### 5.2.2.1. Transmisión de datos serial desde móvil - Estructura de la trama

De acuerdo al número de sensores que se tienen dispuestos en el móvil y la configuración que posee el dispositivo que acondiciona los datos de los mismos, se define una trama de comunicación que comprende 13 bytes entre los que se incluye un tráiler una cabecera y 11 bytes correspondientes a sensores, en la figura 21 se muestra un diagrama general de la trama:

Cabecera (1 byte)	Datos Sensores (11 bytes)	Trailer (1 byte)
----------------------	------------------------------	---------------------

Figura 21. Esquema general de estructura de la trama de comunicación enviada desde el móvil.  
FUENTE: Autores.

#### 5.2.2.2. Recepción de datos en el móvil - Estructura de la trama

De acuerdo al número de actuadores y de las acciones que se deben generar para el movimiento del móvil y la configuración que posee el dispositivo que acondiciona los datos de los mismos, se define una trama de comunicación que comprende 4 bytes, entre los cuales se encuentra su respectiva cabecera y tráiler, y 2 bytes correspondientes a las acciones que deben ejecutar los motores en el móvil, la organización de la siguiente manera:

Cabecera (1 byte)	Datos Acción Motores (2 bytes)	Trailer (1 byte)
----------------------	-----------------------------------	---------------------

Figura 22. Esquema general de estructura de la trama de comunicación enviada al móvil.  
FUENTE: Autores.

Con dichas características se puede realizar una comunicación serial de forma satisfactoria para el envío de varios datos en forma serial y poderlos organizar en el computador o laptop. Pero no todo computador o laptop cuenta con un puerto serial es por esto que se decidió utilizar un convertidor USB serial (universal serial bus a RS-232), ya que el puerto USB es utilizado más comúnmente. El conversor manipulado es de la marca QPCOM, con referencia QP-UDB9 (Conector serial RS-232 de 9 pines), el cual tiene las siguientes características:

- Cumple con la especificación USB versión 1.1.
- Soporta RS-232 serial interfaz.
- Soporta 500 kbps velocidad de transferencia de datos.
- USB suspende condición.
- Plug & Play compatible.
- USB controladores de dispositivos de acogida disponibles.

- Obtiene su poder de conexión USB - no necesita alimentación adicional que se requiere.
- Compatible con Windows 98SE, ME, 2000, XP, Vista y Mac10.x 32/64 bits, Windows 7.

### 5.2.3. MaxStream X09-009

El módulo de comunicación inalámbrica MaxStream mostrado en la figura 23, permite comunicar los datos entre el móvil y la estación de monitoreo conectados uno a la salida del dispositivo host de comunicación, es decir, el dsPIC30F4011, y el otro conectado al computador por medio de una interfaz base. La frecuencia de trabajo de estos módulos es de 900 MHz, los cuales transmiten tramas de datos de forma serial-asincrónica estándar y soportan diversas velocidades de transmisión.

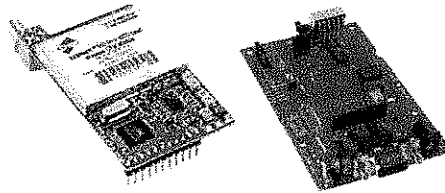


Figura 23. Módulos MaxStream X09-009 y base interfaz.  
FUENTE:[17].

Las características más relevantes de estos módulos se pueden observar en la tabla 6 donde se muestra el rendimiento de los módulos en condiciones de espacios cerrados como en espacios abiertos, así como también los requerimientos de potencia.

Rendimiento	Alcance en ambientes interiores/zonas urbanas (con antena dipolo de 2.1 dB)	450 m
	Alcance de RF en Línea de Visión para ambientes exteriores (con antena dipolo de 2.1 dB)	11 km
	Alcance de RF en Línea de Visión para ambientes exteriores (con antena dipolo de alta ganancia)	32 km
	Potencia de salida de transmisión	100mW (20 dBm)
Requerimientos de Potencia	Régimen de datos de la Interfaz	10 – 57600 bps
	Velocidad de proceso y transferencia de datos	9600 bps      19200 bps
	Régimen RF de datos	10000 bps      20000 bps
	Sensibilidad del receptor	-110 dBm      -107 dBm
	Voltaje de la fuente de Poder	5V ( $\pm 2.5V$ ) Regulado
	Corriente de recepción	50mA
	Corriente de Transmisión	140mA
	Corriente Power-Down	< 26 $\mu$ A

Tabla 6. Características de los Módulos MaxStream X09-009.

- Descripción y disposición de pines del Módulo MaxStream X09-009

Las señales de comunicación están disponibles a través de un conector de 11 pines, los cuales operan a niveles CMOS entre los 2.85-5.50V. En la figura 24 se muestra la conexión típica del módulo MaxStream X09 con el dispositivo host, la cual utiliza cinco pines de los cuales dos son para alimentación (GND y VCC), dos pines para la transmisión y recepción de datos (DI y DO):

- DI (pin 4 – Entrada de datos).
- DO (pin 3 – Salida de datos).
- VCC (pin 10 – Alimentación).
- GND (pin 11 – Tierra).

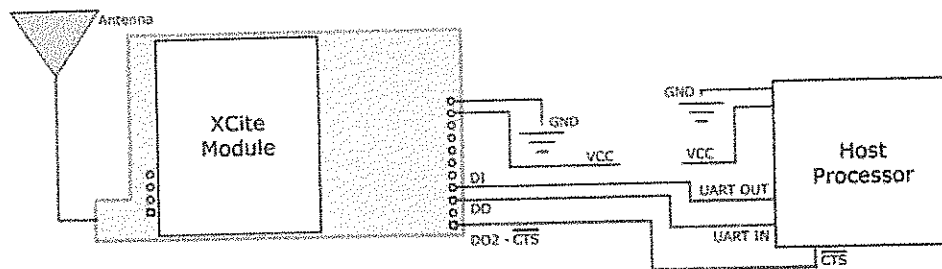


Figura 24. Conexión del módulo MaxStream X09-009 con el dispositivo de gestión de datos.  
FUENTE:[17].

- Tarjeta Interfaz MaxStream RS-232/485: La tarjeta interfaz MaxStream permite conectividad del módulo XCite con cualquier dispositivo que maneje una interfaz RS-232 o RS-485/422. Esta tarjeta se encarga de convertir los niveles lógicos manejados por el módulo (2.85 – 5.50V) a niveles RS-232 (-12 - +12V). La tarjeta interfaz incluye:

- DIP Switch de configuración (figura 25): Configura el modo de transmisión, así como también parámetros de la comunicación serial asincrónica.

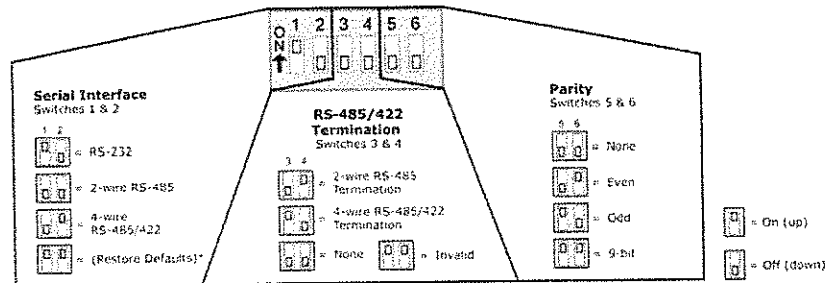


Figura 25. Descripción de la configuración de la tarjeta interfaz del módulo MaxStream X09-009.  
FUENTE:[17].

- Switch de Alimentación: Permite encender o apagar la tarjeta interfaz (alto: encendido, bajo: apagado)
- LEDs: Informan acerca del estatus del diagnóstico de la información
  - Amarillo = Salida Serial de datos (al host)
  - Verde = Entrada serial de datos (del host)
  - Rojo = Indicador de Alimentación/TX (Encendida cuando se alimenta la tarjeta, apagada momentáneamente durante la transmisión RF)
- Conector DB-9
- Conector de alimentación

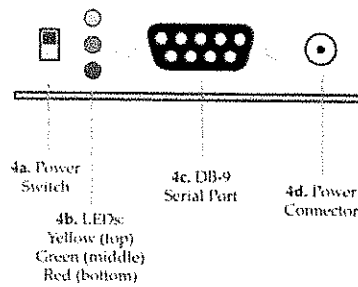


Figura 26. Descripción de conexiones e indicadores de la interfaz del módulo MaxStream X09-009.

FUENTE:[17].

### 5.3. dsPIC 30f4011

Es el dispositivo encargado de administrar la recopilación de datos tanto de sensores como de motores, además de comunicar esta información al computador utilizado como estación de monitoreo para efectuar las diferentes tareas que el sistema telerrobótico va a desempeñar. Dentro de la alta variedad de dsPIC que ofrece Microchip se destaca el dsPIC 30f4011 por su alto rendimiento en diversas aplicaciones, que requieran una mayor velocidad de respuesta con varios procesos simultáneos. El dsPIC posee características de un microcontrolador, pero puede cumplir tareas de un DSP (Digital Signal Processor), como lo es por ejemplo implementación de filtros digitales, además su velocidad de procesamiento es mayor a la de un microcontrolador PIC, esta última característica destaca para la implementación en este proyecto, ya que es necesario un dispositivo de bajo costo de que realice tareas a alta velocidad para la adquisición y comunicación de los datos con la estación de monitoreo. El dsPIC utilizado para esta aplicación es el 30F4011 cuya distribución de pines se muestra en la figura 27.

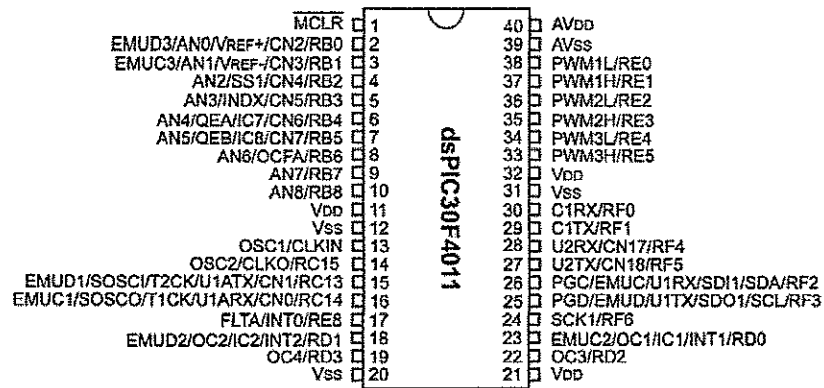


Figura 27. Diagrama de Pines del dsPIC30F4011.  
FUENTE:[18].

Algunas de las características del dsPIC 30F4011:

- Alto rendimiento con CPU RISC Modificada: Arquitectura Harvard modificada, arreglo de registros 16 x 16 bits, operación de 30 MIPS.
- Características de periféricos: Contadores de hasta 16 bits, Funciones de captura de 16 bits, Módulos de comunicación I<sup>2</sup>C con direccionamiento de 7 y 10 bits
- Características análogas: Conversores análogos digitales de 12 bits, 13 canales de conversión

Entre las herramientas que tiene el dsPIC 30f4011, las utilizadas en el proyecto son las siguientes:

- Módulo de control de motor por PWM.
- Módulo I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit).
- Módulo de conversión análoga-digital de alta velocidad (10bits) de resolución.
- Modulo transmisor-receptor asíncrono universal (UART).

De acuerdo a la distribución de tareas que son necesarias gestionar por el dispositivo microcontrolado y a los tiempos de respuesta necesarios para garantizar una acción rápida del móvil condicionada por las ordenes enviados desde la estación de monitoreo, es necesario hacer uso de dos dsPIC 30F4011: el primero denominado *dsPIC Sensores* para gestionar la recopilación, acondicionamiento y transmisión de los datos que entregan los diferentes sensores dispuestos en el móvil, y el segundo denominado *dsPIC Motores* para recepción de los datos que se envían desde la estación de monitoreo y acondicionamiento de las señales de control enviadas a los drivers de potencia que manejan los motores.

### 5.3.1. dsPIC Sensores

Para la transmisión de la información del móvil a la estación de monitoreo es necesario adecuar los datos que proporcionan los sensores para construir una trama de comunicación que pueda ser enviada para la estación de monitoreo. Para esto es necesario configurar tres módulos importantes que gestionaran la recolección y adecuación de la información otorgada por los sensores los cuales son: módulo de comunicación I<sup>2</sup>C, módulo de comunicación serial y módulo de comunicación análoga/digital.

#### 5.3.1.1. Módulo de comunicación I<sup>2</sup>C

El dsPIC30F4011 utiliza los pines 25 (SCL) y 26 (SDA) para comunicarse con los dos sensores de ultrasonido, el compás magnético y los dos encoders por medio del protocolo I<sup>2</sup>C, para iniciar a recopilar los datos de estos cinco dispositivos es necesario definir la velocidad de comunicación con la cual trabaja el bus y las direcciones de los dispositivos esclavo. En la tabla 7 se muestran las direcciones asignadas a cada sensor y el orden en el cual el dsPIC direcciona para solicitar la información de los datos leídos por cada uno.

Orden	Dispositivo	Dirección (Hex)
1	Ultrasonido 1	E0
2	Ultrasonido 2	E4
3	Compas Magnético	C0
4	PIC16F876A (Encoders)	A0

Tabla 7. Orden y direcciones de los dispositivos direccionados por el bus I<sup>2</sup>C.

Para iniciar la secuencia de tareas que ejecuta el dsPIC para entablar comunicación en el bus I<sup>2</sup>C, se define una velocidad de transferencia de datos a una frecuencia de 100kHz que es la velocidad estándar manejada por el protocolo de comunicación I<sup>2</sup>C, a continuación se escribe en el bus la dirección del primer sensor (Ultrasonido 1), luego se accede al registro de configuración del mismo sensor donde se define que el dato que se quiere adquirir se entregue en formato de centímetros, esto se logra enviando un dato 0x51 en formato Hexadecimal en el bus de comunicación (el sensor de ultrasonido también tiene la opción de obtener los datos en pulgadas o tiempo de vuelo), por último se lee el dato medido por el sensor en el formato establecido.

Para el segundo sensor (Ultrasonido 2) se realiza la misma rutina que para el primer sensor cambiando la dirección escrita en el bus con la del dispositivo correspondiente, la cual fue modificada, puesto que viene con la de fábrica (0X51), y existiría conflicto con el otro dispositivo con misma dirección, es por esto que fue cambiada a la dirección (0XE4).

Para el tercer sensor (Compas Magnético), la secuencia es más sencilla, ya que solo es necesario escribir la dirección correspondiente (0XC0) en el bus de comunicación, luego se envía el dato del registro donde el compás magnético

lo almacena en formato de byte (0 a 255) para una circunferencia completa, esto esta comentado anteriormente en *registros CMPS09*, realizado esto se lee el dato, obteniendo un byte que indica la orientación respecto al hemisferio norte.

Por ultimo para el cuarto y el quinto sensor (los encoders), se realiza la misma rutina que el compás magnético, se envía hacia el PIC la dirección correspondiente (0XA0) en el bus de comunicación, luego se envía un dato con el cual el PIC reconoce que debe enviar la información del primer encoder, a continuación, luego de recibir la información, envía el siguiente dato para acceder a la información del segundo encoder. En la figura 28, se observa las señales tomadas de los canales SDA (Canal 1 señal superior) y SCL (Canal 2 señal inferior), del dsPIC30F4011.

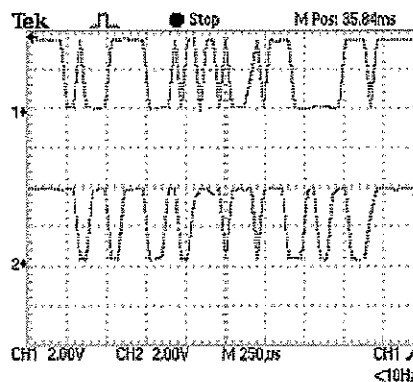


Figura 28. Canales de salida SDA y SCL del dsPIC30F4011.  
FUENTE: Autores.

### 5.3.1.2. Módulo de conversión analógica/digital

El acelerómetro entrega datos con respecto a la vibración que experimenta en los tres ejes coordenados X, Y y Z, la salida de los tres canales corresponde a una señal analógica, la cual es necesaria convertirla en digital para adecuarla dentro de la trama de información que será enviada a la estación. La conversión analógica digital del dsPIC, tiene como característica destacada la resolución que maneja, la cual es de 10 bits por cada canal de conversión (8 canales). Utilizando tres canales de este módulo cuyas entradas son los pines 2, 3 y 4. Para poder incorporar estos datos a la trama de comunicación es necesario convertir el dato de 10 bits entregados por el conversor analógica digital, a datos de 8 bits ya que el módulo de comunicación serial solo envía datos de 8 bits. Para esto el dato de la conversión analógica/digital de 10 bits se almacena en una variable de 16 y a continuación se realiza una operación lógica AND entre el número 01 en hexadecimal y los 8 primeros bits de la variable de 16 bits (Parte Baja), el resultado se almacena en otra variable pero esta vez de 8 bits, luego se realiza nuevamente la operación lógica AND entre el número 10 en hexadecimal para los datos restantes (últimos 8 bits de los 16bits, Parte Alta), donde de estos solo interesan los 2 bits restantes de la conversión analógica

digital, estos últimos 8 bits son almacenados en una variable de este mismo tamaño, pero los 2 bits que son de interés están en la parte alta de la variable, es por esto que es necesario hacer un corrimiento del bits de tal forma que los 2 bits de interés queden en las primeras posiciones del byte.

### 5.3.1.3. Módulo de comunicación serial

Este módulo es el responsable de entregar la trama de comunicación serial construida con los datos de los sensores a los módulos de comunicación inalámbrica. Para la configuración del módulo se inicia definiendo el parámetro de la velocidad de transmisión de datos la cual es de 9600 bps y que se debe mantener constante en todo los dispositivos que manejen este tipo de comunicación.

Luego de tener los datos de los sensores en bytes, se organiza la trama de comunicación de tal manera que sean enviadas en un orden específico. Se comienza definiendo dos bytes que corresponde a la cabecera y al tráiler que delimitaran la trama, por medio de estos dos bytes es posible identificar el comienzo y el final de la trama de comunicación para asegurar que las posiciones de los valores sean recibidos por la estación de monitoreo tal y como son enviados desde el dsPIC de Sensores a continuación se construye la trama con los bytes de los datos de los sensores de la siguiente manera: 6 bytes que corresponden a los 2 bytes de los tres canales de la conversión análoga/digital del acelerómetro, 2 byte que corresponden a los valores del primer y del segundo ultrasonido, seguidos de 1 byte con el dato del compás magnético, por último se ubican los 2 bytes que corresponden a los dos datos de los Encoders. La estructura completa de la trama se muestra en la figura 29, en donde además de mostrar el valor de la cabecera y el tráiler, se muestra la ubicación de los datos de cada sensor.

Cabecera (AA <sub>n</sub> )	Acelerómetro X-H	Acelerómetro X-L	Acelerómetro Y-H	Acelerómetro Y-L	Acelerómetro Z-H	Acelerómetro Z-L	Ultrasonido 1	Ultrasonido 2	Compás Magnético	Encoder 1	Encoder 2	Trailer (55 <sub>n</sub> )
--------------------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	---------------------	------------------	------------------	---------------------	--------------	--------------	-------------------------------

Figura 29. Trama de comunicación enviada desde el dsPIC Sensores.  
FUENTE: Autores.

En la figura 30 es posible observar el diagrama de bloques donde se muestran los módulos involucrados en el proceso de construcción de la trama de comunicación por el dsPIC y su interacción entre sí, así como también la conexión tanto de entrada como de salida de las señales de comunicación al dispositivo.

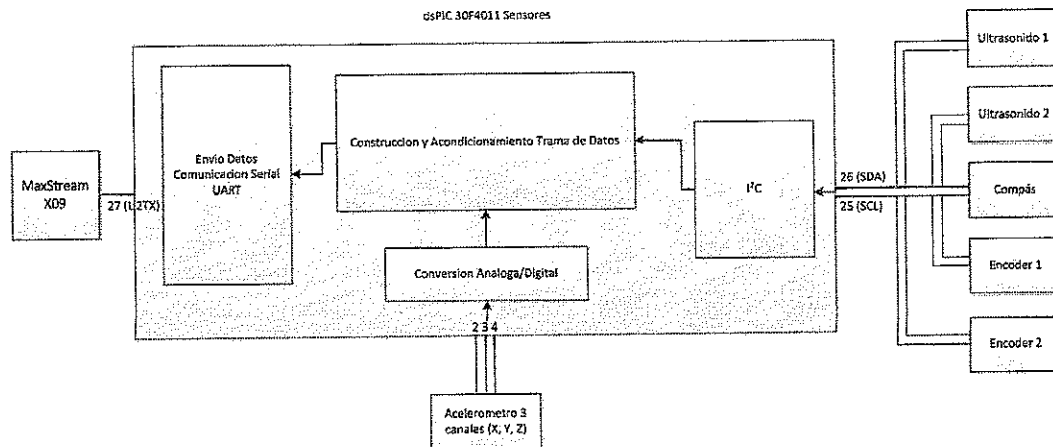


Figura 30. Diagrama de Bloques del dsPIC Sensores.  
FUENTE: Autores.

### 5.3.2. dsPIC Motores

Para el control de dirección y velocidad de cada motor dispuesto en el móvil es necesario adecuar los datos que se obtienen de la recepción de la información que es enviada de la estación de monitoreo por el dsPIC. Para esto es necesario configurar dos módulos importantes que gestionaran la recepción de la trama y adecuación de la información para entregar las señales PWM que controlaran en giro y la velocidad de los motores: módulo de comunicación serial y módulo de PWM.

El módulo que tiene el dispositivo dsPIC 30f4011 tiene como características principales los 6 pines de entrada y salida con 3 generadores de ciclo de trabajo PWM y con una resolución de 16-bit. Realizando pruebas de velocidad se determina los datos que son enviados al dsPIC, así como su velocidad máxima y mínima. Los datos definidos para ser enviados desde la estación de monitoreo, y los generados por el dsPIC para indicar los ciclos de trabajo del PWM se muestran en la tabla 8.

Dato motor 1-2 (Hexadecimal)	Dato motor 3-4 (Hexadecimal)	Dato dsPIC (Decimal)	Velocidad limite
0	0	0	Máxima
1	1	3495	
2	2	6990	
3	3	10485	
4	4	13980	
5	5	17475	
6	6	20970	Detenido
7	7	24465	
8	8	27960	
9	9	31455	
A	A	34950	
B	B	38445	
C	C	41940	
D	D	45435	
E	E	48930	
F	F	52425	Máximo inverso

Tabla 8. Datos de velocidad manejados por el dsPIC.

Los motores 1, 2, 3 y 4 están encargados del movimiento o locomoción del móvil, los motores 1 y 2 responden en el mismo sentido y velocidad al estar dispuestos al mismo lado lateral de la plataforma, al igual que los motores 3 y 4 dispuestos al lado contrario. Existe la posibilidad de conectar dos motores más 5 y 6, pero solo se utiliza el motor 5, para el movimiento horizontal de la cámara que se encuentra sobre el móvil.

#### 5.3.2.1. Módulo de comunicación serial

Este módulo es el responsable de entregar la trama de comunicación serial que es enviada desde la estación de monitoreo con los datos de las acciones a ser realizadas por los motores. El módulo de comunicación serial del dsPIC motores, se configura con la misma velocidad que el módulo de serial del dsPIC sensores la cual es de 9600 bps, luego se empieza a identificar la trama enviada por la estación de monitoreo siguiendo un orden específico.

Lo primero que se debe verificar es si el buffer de datos de entrada del módulo está disponible para leer, si lo está quiere decir que existen datos entrando al dispositivo, si no se espera hasta que la estación base envíe los datos correspondientes y sean identificados por el microcontrolador, luego para el almacenamiento de las variables se inicia un contador el cual contara el número de veces que se almacena un dato de la trama entrante, con esto se asegura posiciones específicas en determinados registros que servirán después para hacer comparación de la correspondiente cabecera y tráiler, cuando el contador llega a 5, se reinicia para recibir una nueva trama y repetir el proceso. El primer dato que se debe identificar es la cabecera de la trama la cual corresponde al dato AAh, el cual debe ser guardado en el primer registro de almacenamiento, se realiza el mismo proceso con los 2 bytes siguientes correspondientes a las acciones a realizar por los motores, y con el último byte que corresponde al tráiler de la trama cuyo valor es el dato 55h. Cuando ya se tienen almacenados los datos en los registros, se efectúa una comparación entre el dato de la cabecera y el tráiler con los valores anteriormente designados para cada uno, si coinciden, se acepta la trama y se procede a realizar el ajuste del dato para identificar la señal adecuada a ser enviada a los motores por el módulo PWM, si no coinciden, se desecha la trama y se procede a realizar nuevamente el proceso de recepción.

#### 5.3.2.2. Módulo PWM

El dsPIC tiene un módulo llamado control de motor por PWM el cual contiene tres generadores de ciclos de trabajo de PWM enumerados de 1 a 3, donde el módulo posee dos canales de salida por cada generador: PWMXH PWMXL, cuya resolución del módulo es de 16 bits. Para la configuración de estos tres canales se define el ciclo de trabajo a 1kHz, donde se usan los seis canales de

forma complementaria, es decir, según el dato recibido va a predominar un canal de salida del generador sobre el otro, de esta manera es posible controlar el sentido de giro de los motores y su velocidad.

Para la configuración del primer generador se utiliza el segundo byte que se recibe de la trama de comunicación para determinar el comportamiento de los cuatro motores que corresponden a la base, este dato se utiliza para el control de los primeros dos generadores del módulo PWM, en donde los 4 primeros bits de este dato se operan con el número 3495 en decimal para ocupar todo el rango de resolución del módulo con valor de 65536. Este dato es ingresado al registro del PWM el cual define el ancho del pulso que se envía por los pines que corresponden al generador. Se realiza lo mismo con los 4 siguientes bits del byte para el control del tercer y cuarto generador del módulo PWM. El mismo proceso es realizado con el tercer byte que se recibe de la comunicación serial para determinar el comportamiento del motor de la cámara conectado al quinto y sexto generador del módulo PWM.

En la figura 31 es posible observar el diagrama de bloques donde se muestran los módulos involucrados en el proceso de recepción de la trama de comunicación enviada de la estación de monitoreo y el módulo de comunicación PWM, también se muestra la conexión de entrada y de salida de las señales de comunicación al dispositivo.

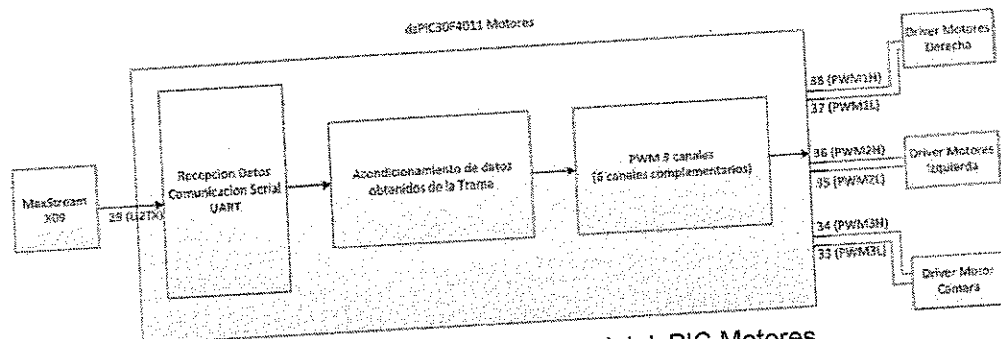


Figura 31. Diagrama de Bloques del dsPIC Motores.  
FUENTE: Autores.

En la figura 32 se muestra el diagrama de flujo que describe los procesos que realizan ambos dsPICs simultáneamente ejecutando de manera independiente cada una de sus tareas específicas comentadas con anterioridad, de esta manera se mejora el proceso de la adquisición de datos de los seis sensores y por otra parte la configuración de velocidad en los motores. Este proceso puede ser interrumpido y reiniciado físicamente, por medio del pulsador RESET que poseen ambos dispositivos. Es posible observar que las tareas ejecutadas por los dsPICs se realizan en paralelo y no depende directamente uno del otro, ya que la gestión de transferencia de datos se realiza a través de la interfaz generada en LabVIEW™.

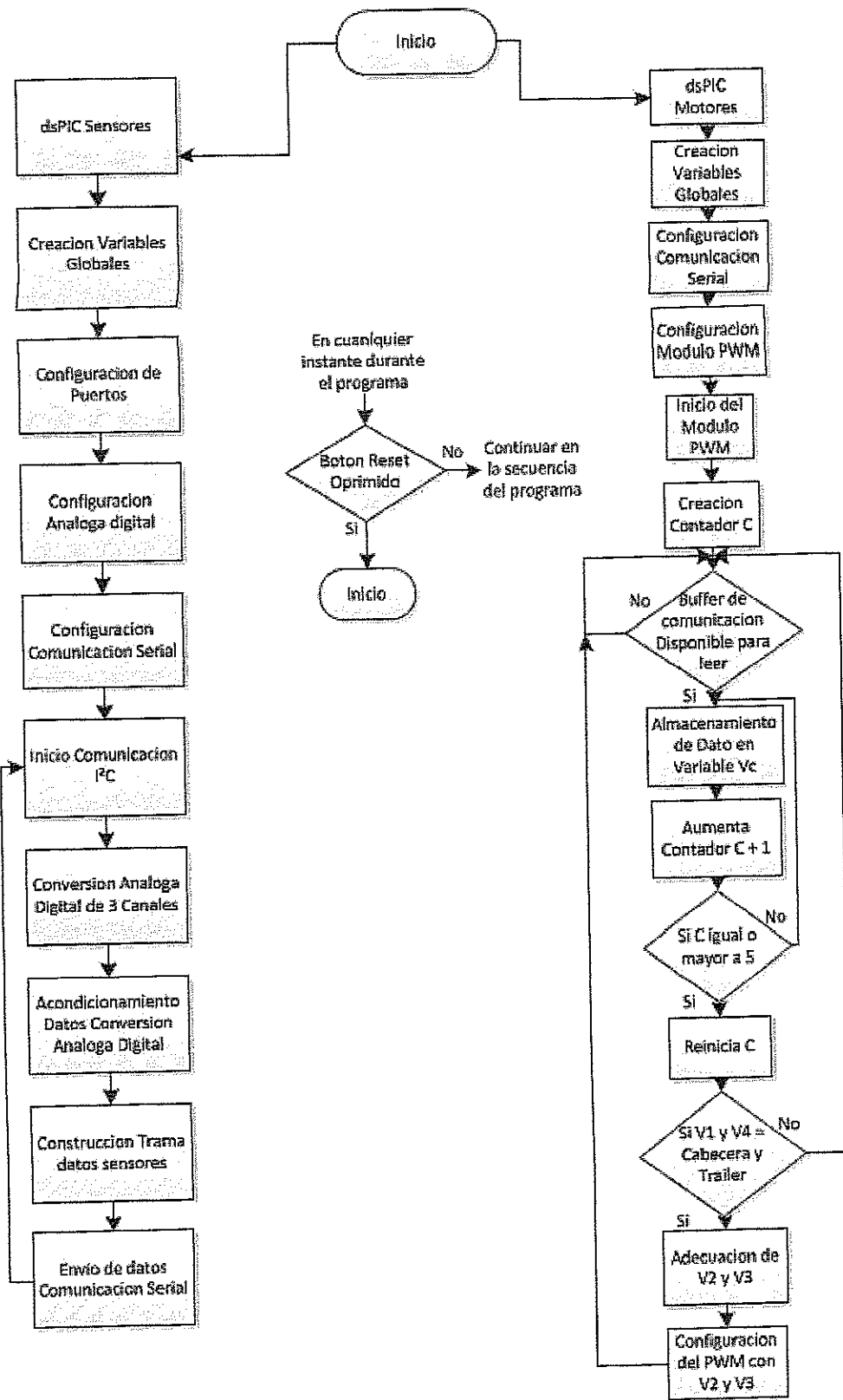


Figura 32. Diagrama de Flujo de las funciones desempeñadas por los dsPIC.  
FUENTE: Autores.

## 5.4. Sistema de potencia

El sistema de potencia contiene dos partes importantes para el funcionamiento del móvil, los actuadores que son los dispositivos utilizados para darle movilidad a la plataforma, y el acondicionamiento de potencia el cual es el que permite acoplar las señales de control, con las señales requeridas para el accionamiento de los actuadores.

### 5.4.1. Actuadores

El móvil implementado cuenta con 5 motores que determinan su movimiento, cuatro motores en la base, es decir, dos pares de motores para controlar el movimiento a cada lado (Derecha Izquierda). El quinto motor se encarga de controlar el movimiento de la cámara inalámbrica.

Para la construcción de la plataforma móvil, se utilizaron los módulos didácticos VEX<sup>3</sup>, en los cuales los actuadores más comunes son los Motores de Rotación Continua 269 y 393, mostrados en la figura 33.

Entre sus características básicas están:

- Engranajes internos de acero.
- No necesita embragues.
- Acoplador de eje (incluido) sustituye al embrague.

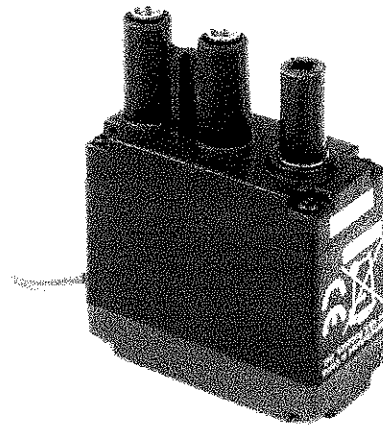


Figura 33. Motor VEX.  
FUENTE:[19]

---

<sup>3</sup>El sistema de diseño para robots VEX es un kit de robótica cuya intención es introducir a estudiantes al mundo de la robótica. El sistema está centrado en el kit prototipo VEX el cual cuenta con sensores, motores, ruedas, sistemas de transmisión de movimiento, motores y piezas metálicas para la elaboración de robots didácticos.

- Motores 269

Son motores que funcionan a 7.2 voltios y poseen una caja reductora que permite convertir la velocidad del motor en fuerza, en la tabla 9 se muestran las especificaciones de los motores dadas por el fabricante.

<b>Especificaciones Motor 269</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad sin carga: 100 rpm</li> <li>• Torque de Parada: 8,6 in-lb</li> <li>• Corriente de Parada: 2,6A</li> <li>• Corriente sin carga: 0,18<sup>a</sup></li> </ul>
-----------------------------------	---

Tabla 9. Especificaciones motor 269 VEX.

- Motores 393

Los motores de dos cables 393 otorgan un 60% de potencia de salida que un motor estándar, el cual permite mecanismos más potentes y con más movilidad. En la tabla 10 se muestran las especificaciones de los motores dadas por el fabricante.

<b>Especificaciones Motor 393</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad sin carga: 100 rpm (Configuración Inicial)/160 rpm (En configuración de alta velocidad)</li> <li>• Torque de Parada: 13,5 in-lb (Configuración Inicial)/8.4 in-lb (En configuración de alta velocidad)</li> <li>• Corriente de Parada: 3.6A</li> <li>• Corriente sin carga: 0,15A</li> </ul>
-----------------------------------	---

Tabla 10. Especificaciones motor 393 VEX.

Todas las especificaciones de los motores vienen dadas para una alimentación de 7,2 Voltios. Las especificaciones actuales de los motores están por encima de los valores descritos anteriormente en un 20%.

#### 5.4.2. Drivers (L6205)

Los drivers L6205 son puentes de potencia específicamente diseñados para manejar una amplia gama de motores. Las características de este integrado permiten que sea usado en aplicaciones con motores DC y motores Paso a Paso. Funciones adicionales incluyen protección del circuito y control de corriente por PWM.

El diagrama de bloques de los drivers se puede observar en la figura 34, donde se muestra el puente H de MOSFETS de Potencia y una serie de protecciones térmicas y contra sobre corrientes que permiten manejar altos valores de alimentación de tensión para el control de motores que demanden valores altos de corriente. El driver L6205, incluye interfaces lógicas para CMOS/TTL, una referencia de tensión que entrega un voltaje auxiliar para controlar los MOSFETS de potencia, circuitos de protección contra corriente no disipativa en los MOSFETS de potencia superiores del puente, con punto fijo de disparo a

5.6 A, protección contra temperaturas elevadas, y bloqueo con detección de Voltaje por debajo de 6V.

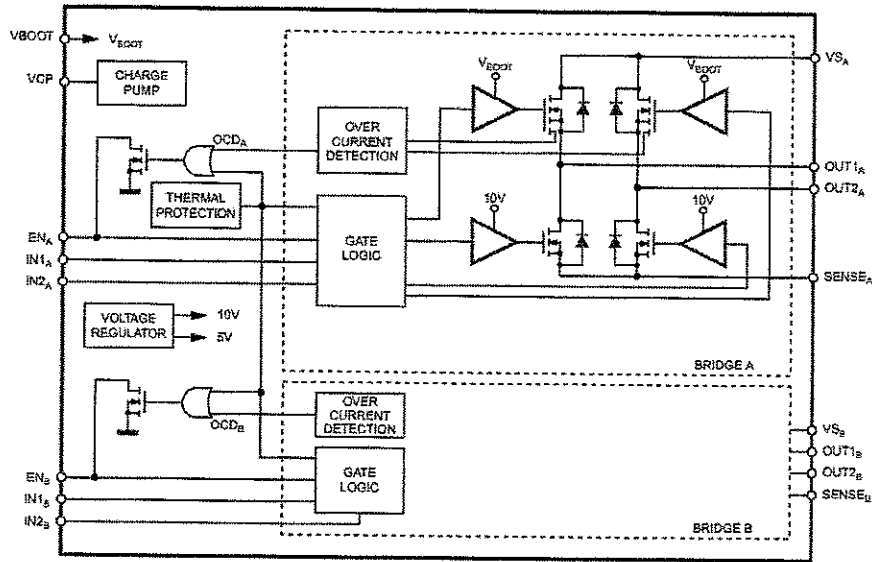


Figura 34. Diagrama de bloques del driver L6205.  
FUENTE:[20].

En la tabla 11 se muestran las condiciones y parámetros de operación para el funcionamiento del driver.

Símbolo	Parámetros	MIN	MAX	Unidad
$V_S$	Voltaje de alimentación	8	52	V
$V_{OD}$	Diferencia de voltaje entre $VS_{A1}$ , $OUT1_{A1}$ , $OUT2_{A1}$ , $SENSE_{A1}$ y $VS_{B1}$ , $OUT1_{B1}$ , $OUT2_{B1}$ , $SENSE_{B1}$ .		52	V
$V_{SENSE_{A}}$	Rangos de voltaje en los pines $SENSE_{A}$ y $SENSE_{B}$	-6	6	V
$V_{SENSE_{B}}$		-1	1	V
$I_{OUT}$	Corriente RMS de salida		2.8	A
$T_I$	Temperatura de operación	-25	+125	°C
$f_{sw}$	Frecuencia de conmutación		100	kHz

Tabla 11. Condiciones de operación recomendadas

#### 5.4.2.1. Descripción y distribución de pines

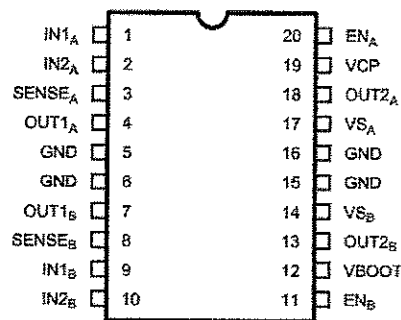


Figura 35. Disposición de pines en el L6205 Encapsulado PowerDIP20/SO20  
FUENTE:[20].

Encapsulado	Nombre	Tipo	Función
SO20/PowerDIP20			
PIN #			
1	IN1 <sub>A</sub>	Entrada Lógica	Entrada Lógica 1 Puente A
2	IN2 <sub>A</sub>	Entrada Lógica	Entrada Lógica 2 Puente A
3	SENSE <sub>A</sub>	Voltaje de alimentación	Pin de Alimentación Puente A. Este Pin debe estar conectado a la Tierra de la alimentación directamente o a través de una resistencia de potencia.
4	OUT1 <sub>A</sub>	Voltaje de Salida	Salida 1 Puente A
5, 6, 15, 16	GND	GND	Terminales de la tierra de la señal. Estos pines también pueden ser usados para disipación de calor a la PBC.
7	OUT1 <sub>B</sub>	Voltaje de alimentación	Salida 1 Puente B
8	SENSE <sub>B</sub>	Voltaje de alimentación	Pin de Alimentación Puente B. Este Pin debe estar conectado a la Tierra de la alimentación directamente o a través de una resistencia de potencia.
9	IN1 <sub>B</sub>	Entrada Lógica	Entrada Lógica 1 Puente B
10	IN2 <sub>B</sub>	Entrada Lógica	Entrada Lógica 2 Puente B
11	EN <sub>B</sub>	Entrada Lógica	Habilitador Puente B. Un nivel lógico bajo apaga todos los MOSFETS de potencia del Puente B. Este pin también se conecta al colector del transistor de protección de térmica y sobre corriente. Si no se usa debe ser conectado a 5V por medio de una Resistencia.
12	VBOOT	Voltaje de alimentación	Voltaje Bootstrap necesario para controlar los MOSFET de potencia superiores en los puentes A y B.
13	OUT2 <sub>B</sub>	Voltaje de Salida	Salida 2 Puente B
14	VS <sub>B</sub>	Voltaje de alimentación	Voltaje de alimentación del Puente B. Debe ser conectado a la fuente de alimentación junto con el Pin VSA.
17	VS <sub>A</sub>	Voltaje de alimentación	Voltaje de alimentación del Puente A. Debe ser conectado a la fuente de alimentación junto con el Pin VSB.
18	OUT2 <sub>A</sub>	Voltaje de Salida	Salida 2 Puente A
19	VCP	Salida	Inyector de carga de salida del oscilador
20	EN <sub>A</sub>	Entrada Lógica	Habilitador Puente A. Un nivel lógico bajo apaga todos los MOSFETS de potencia del Puente A. Este pin también se conecta al colector del transistor de protección de térmica y sobre corriente. Si no se usa debe ser conectado a 5V por medio de una Resistencia.

Tabla 12. Descripción de pines

### 5.4.2.2. Descripción del circuito

Para el circuito implementado en la etapa de potencia que maneja los cuatro motores, un condensador cerámico entre el rango de 100 y 200 nF debe colocarse entre los pines de alimentación ( $V_{SA}$  y  $V_{SB}$ ) y tierra, cerca al L6205 para mejorar el filtro de frecuencias altas en la alimentación de tensión y reducir los transitorios de alta frecuencia generados por la conmutación de estados. El condensador conectado de las entradas  $ENA$  a  $ENB$  a tierra define el tiempo de apagado de los puentes  $A$  y  $B$  respectivamente cuando una sobre corriente es detectada. Las dos fuentes de corriente ( $SENSE_A$  y  $SENSE_B$ ) deben ser conectadas a la tierra de la alimentación con una conexión de la menor longitud posible. Para incrementar la inmunidad al ruido, es necesario deshabilitar los pines lógicos (excepto  $ENA$  y  $ENB$ ) son mejor conectados a 5V (Nivel lógico alto) o a 0V (Nivel lógico bajo). Se recomienda separar la tierra de alimentación de la tierra de referencia de la señal. En la tabla 13 se muestran los valores de los componentes que deben ser conectados al driver para su funcionamiento.

Componente	Valor
$C_1$	100 $\mu$ F
$C_2$	100 nF
$C_{BOOT}$	220 nF
$C_P$	10 nF
$C_{ENA}$	5,6 nF
$C_{ENB}$	5,6 nF
$D_1$	1N4148
$D_2$	1N4148
$R_{ENA}$	100 k $\Omega$
$R_{ENB}$	100 k $\Omega$
$R_P$	100 $\Omega$

Tabla 13. Valores de los componentes electrónicos conectados al driver L6205.

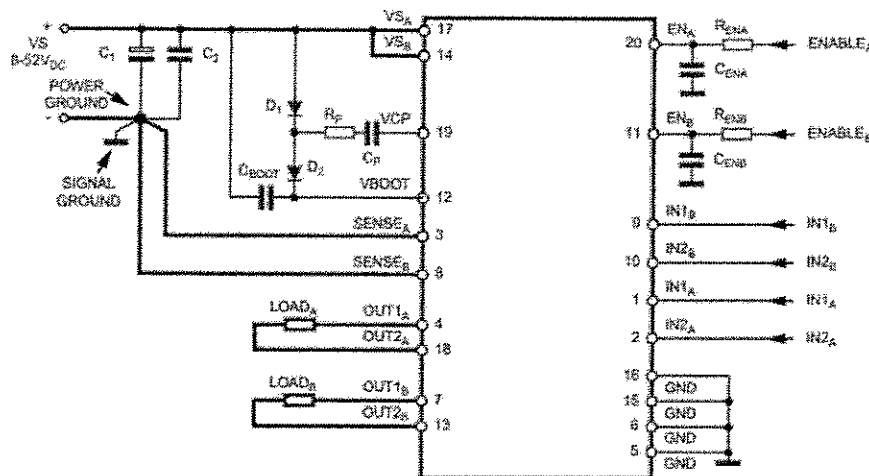


Figura 36. Esquema del circuito de aplicación utilizado para el L6205.  
FUENTE:[20].

- Entradas lógicas: Los pines *IN1A*, *IN2A*, *IN1B* y *IN2B* son entradas lógicas compatibles TTL/CMOS. Los valores típicos de activación encendido y apagado son  $V_{thon}=1,8V$  y  $V_{thoff}=1,3V$  respectivamente, la tabla de verdad (tabla 14) presenta los valores necesarios para activar el puente de potencia, donde *X* es un estado de no importa, y Alta *Z* es estado de alta impedancia.

Entradas			Salidas	
EN	IN1	IN2	Salida 1	Salida 2
L	X	X	Alta Z	Alta Z
H	L	L	GND	GND
H	H	L	Vs	GND
H	L	H	GND	Vs
H	H	H	Vs	Vs

Tabla 14. Tabla de verdad para el L6205

En la figura 37 se muestra el diagrama de bloques del sistema de potencia, el dispositivo de control es el dsPIC30F4011, el cual por medio de sus 6 canales PWM complementarios envía el pulso necesario para definir la velocidad con la que se mueven los motores. Para el acople de las señales de control se utilizan tres drivers de potencia L6205, que entregan una señal de hasta 7.2V a 3A.

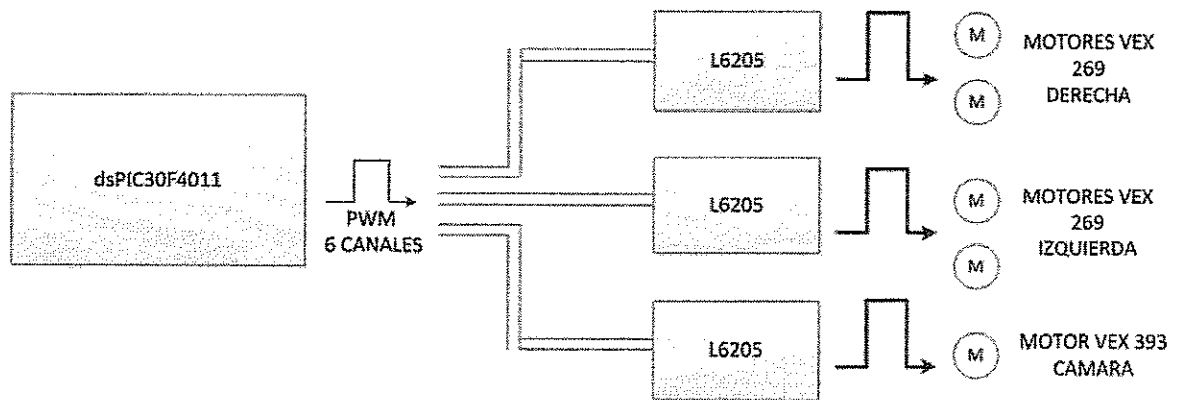


Figura 37. Diagrama de bloques del sistema de potencia.  
FUENTE: Autores.

#### 5.4.2.3. Recomendaciones de conexión

Como resultado de las pruebas realizadas sobre el circuito con respecto a la conexión de los 5 motores utilizados y a la alimentación de los mismos, se determinó que es necesario que la alimentación del sistema de potencia se realice cerca al tercer driver el cual maneja el motor para la movilidad de la cámara, esto evita que se presente una demanda mayor de corriente por parte de los otros dos drivers. Además, es necesario disponer en la entrada de los habilitadores y en la entrada de las señales del PWM de los drivers, una serie de opto transistores lo que permite, que el dsPIC motores se sature por la demanda de corriente que pueda necesitar los drivers para su activación.

### 5.4.3. Alimentación y baterías

Para alimentar los circuitos tanto de control como de potencia se cuenta con dos baterías VEX de 7.2V NiCad, estas baterías de níquel e hidruro metálico otorgan una fuente de alimentación recargable. La primera batería otorga 3000mAh la cual va destinada a alimentar los circuitos de potencia, y la segunda otorga 2000mAh que va destinada a alimentar los circuitos de control. Esto permite que los motores que consumen más corriente tengan su propia alimentación y que el circuito de control tenga un nivel más prolongado de alimentación. Para realizar la recarga de estas dos baterías se utiliza el Smart Charger w, el cual está diseñado para recargar baterías de 7.2V o de 9.7V NiCad. En la figura 38 se ilustran las dos baterías con el dispositivo recargable.

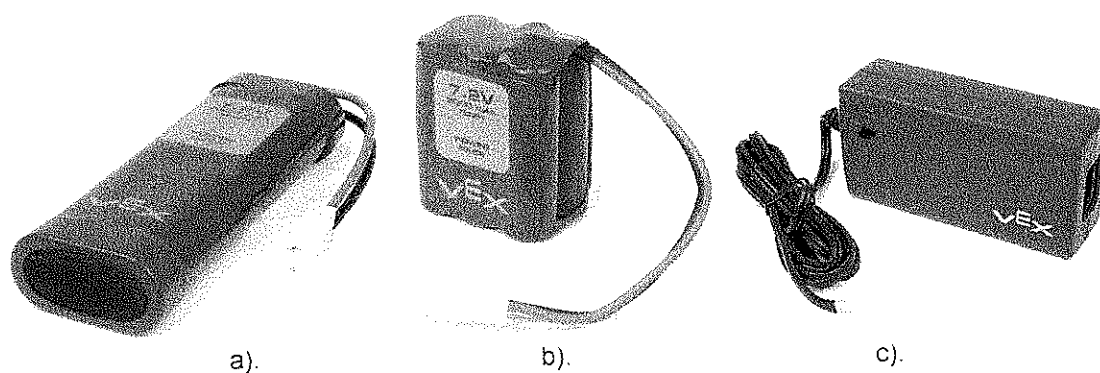


Figura 38. Baterías VEX: a) 7.2V NiCad a 3000mAh. b) 7.2V NiCad a 2000mAh. c) Smart Charger.  
FUENTE:[19].

## 5.5. Estructura mecánica

### 5.5.1. Generalidades

Para la construcción de la estructura mecánica se debe tener en cuenta la locomoción con la cual contara el móvil, esta depende ampliamente de aspectos como:

- Estabilidad
  - Número y geometría de puntos de contacto.
  - Centro de gravedad.
  - Estabilidad estática/dinámica.
  - Inclinación del terreno.
- Características de contacto
  - Puntos de contacto/ tamaño y forma del camino.

- Angulo de contacto.
- Fricción.
- Tipo de ambiente
  - Estructura.
  - Medio (agua, aire, suelo duro o blando).

### 5.5.2. Configuración de Locomoción del móvil

Para el desarrollo de los objetivos del proyecto se propone un móvil cuya configuración es diferencial y apropiado para un ambiente de trabajo en suelo rígido, sin depresiones ni elevaciones, el cual otorga la posibilidad de evaluar de manera eficaz el comportamiento del sistema de supervisión y monitoreo, así como también, los sistemas de potencia.

#### 5.5.2.1. Configuración diferencial

Consta generalmente de dos actuadores ubicados en el eje perpendicular a la dirección del robot. Cada actuador controla un mecanismo de movimiento (ya sea una rueda o una pista de deslizamiento tipo oruga), de tal forma que el giro del móvil queda determinado por la diferencia de velocidad de las ruedas y su sentido. La ventaja que presenta esta configuración es el giro rápido que el móvil puede dar sobre su eje para cambiar de dirección. En la figura 39 se presenta un diagrama básico de lo que es la configuración diferencial y la disposición convencional de los actuadores y los elementos de locomoción.

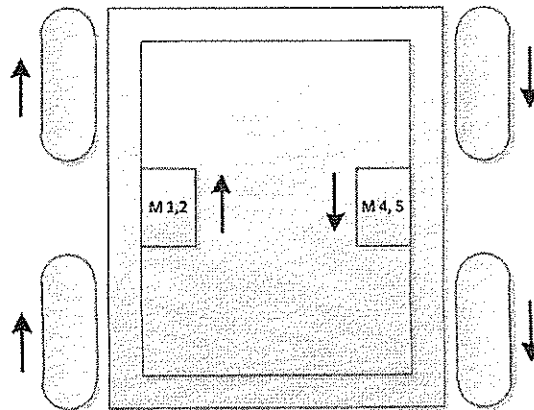


Figura 39. Configuración diferencial de un móvil de cuatro ruedas.  
FUENTE: Autores.

Luego de definir el tipo de configuración para la movilidad, se evalúan dos tipos de ruedas para el terreno anteriormente planteado, como primera opción se tienen las pistas de deslizamiento ideales para terreno irregular, y como segunda opción se encuentran ruedas convencionales

### 5.5.2.2. Pistas de deslizamiento

Se les conoce como vehículos tipo oruga y se basan en el direccionamiento por diferencia de velocidades. De esta forma, cuando se quiere realizar un giro se aumenta la velocidad de una de las pistas, para producir el giro del vehículo. Esta configuración está pensada para trabajar en terrenos irregulares y normalmente se suelen incluir ruedas. Los robots que hacen uso de una banda tipo oruga tienen más puntos de contacto que con llantas convencionales, y esto mejora significativamente la maniobrabilidad. En la figura 40 se observa el tipo de oruga utilizada, la cual hace parte del kit de robótica educativa VEX, así como también, un diseño de un móvil que utiliza este tipo de locomoción.

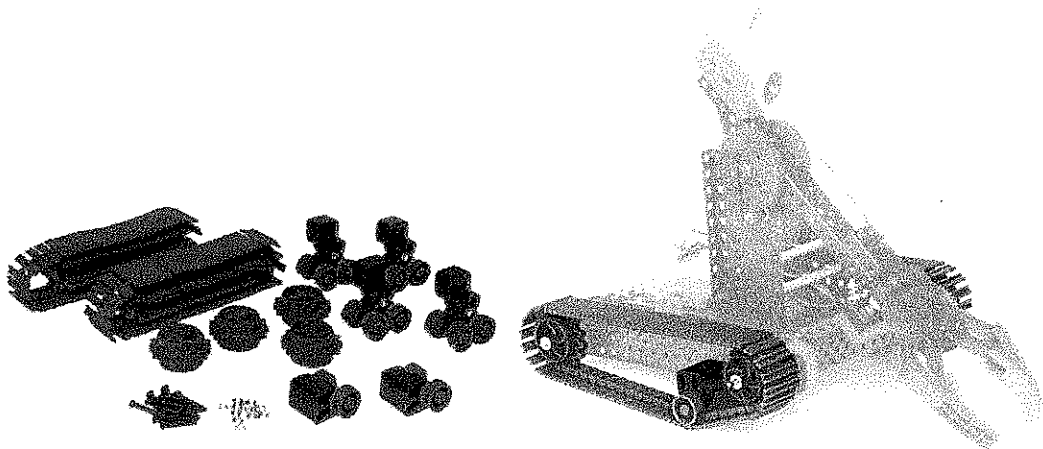


Figura 40. Pistas de deslizamiento sistema VEX.  
FUENTE:[19].

### 5.5.2.3. Ruedas

Las ruedas son los mecanismos de locomoción más utilizados en la robótica móvil, y en los vehículos en general. Puede alcanzar muy buena eficiencia con una implementación mecánica relativamente sencilla. En adición el balance no es un problema de investigación en diseños que utilizan ruedas como locomoción, porque este tipo de móviles se diseñan para que sus ruedas estén en contacto con el suelo todo el tiempo. Las investigaciones se enfocan más en la tracción y la estabilidad, maniobrabilidad y control. En la figura 41, se observan las ruedas utilizadas, las cuales son de alta tracción, con un diámetro de 7.239 cm y recubiertas de goma. En la figura 41 también se observa un diseño VEX utilizando este tipo de locomoción.

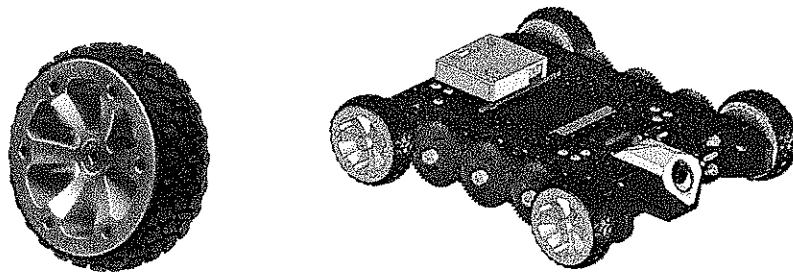


Figura 41. Ruedas de alta tracción sistema VEX.  
FUENTE:[19].

### 5.5.3. Características mecánicas

Para la construcción del prototipo de estructura mecánica se utilizaron las piezas contenidas en los kits de robótica educativa VEX, el cual es un sistema para diseñar robots que utiliza partes metálicas para la construcción de estructuras robóticas. Esto permite realizar modificaciones rápidas al sistema, y obtener una estructura mecánica robusta, que cumple con la funcionalidad para llevar a cabo el objetivo del proyecto.

En primera instancia se construyó el prototipo utilizando pistas de deslizamiento, como se observa en la figura 42, donde es posible apreciar la estructura metálica, así como también los componentes de control, comunicación y potencia integrados a la estructura. Esta configuración, en la experimentación, presentaba buena estabilidad, sin embargo, las vibraciones de la plataforma al moverse eran altas, lo que interfería en los datos tomados por los sensores, además, el cambio de velocidad no era muy notable ya que era necesario seleccionar velocidades extremas para observar algún cambio en la movilidad.

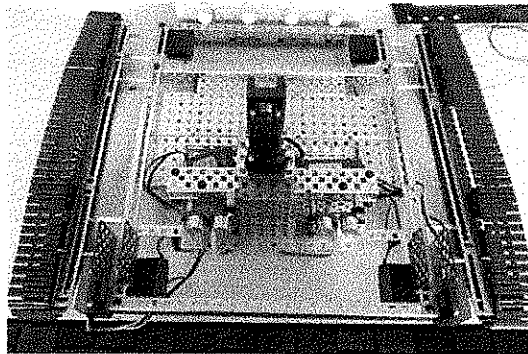


Figura 42. Estructura física del móvil utilizando los módulos didácticos VEX y pistas de deslizamiento como locomoción.  
FUENTE: Autores.

Por esta razón, se decidió cambiar la locomoción a ruedas con goma de alta tracción como se ve en la figura 43, lo que permitió e mejorar la movilidad del prototipo, redujo las vibraciones al desplazamiento, y presentó una mayor sensibilidad al cambio de velocidad.

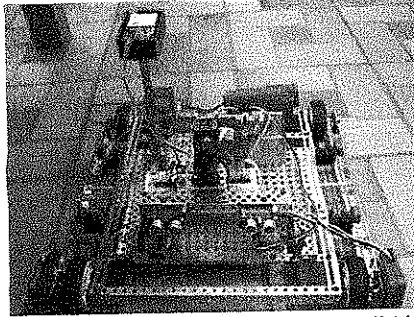


Figura 43. Estructura física del móvil utilizando los módulos didácticos VEX y ruedas con goma de alta tracción como locomoción.  
FUENTE: Autores.

#### 5.5.4. Ubicación de los sistemas electrónicos en el móvil

Es importante considerar la ubicación de los componentes sobre la plataforma, ya que permite reducir cableado y distribuir el peso sobre toda la estructura con el objetivo de no desestabilizarla, además es necesario evitar que componentes como los motores estén muy cerca de los circuitos electrónicos pues estos pueden introducir algún tipo de ruido que altere las señales que se manejan.

##### 5.5.4.1. Actuadores

Definida una configuración diferencial con pistas de desplazamiento tipo oruga, se debe definir la ubicación de los 5 motores utilizados para la locomoción del móvil. Los cuatro motores 269, van ubicados en la base de la plataforma robótica de manera horizontal, uno en cada esquina, constituyendo dos pares de motores que en su ejecución controlaran la dirección y la velocidad a cada lado del móvil (Izquierda y Derecha). El quinto motor corresponde a un motor 393 VEX el cual va ubicado en la parte central de la plataforma de manera vertical y va conectado a la plataforma giratoria donde se encuentra instalada la cámara inalámbrica. En la figura 44, se observa de manera gráfica la ubicación de los 5 motores en el móvil.

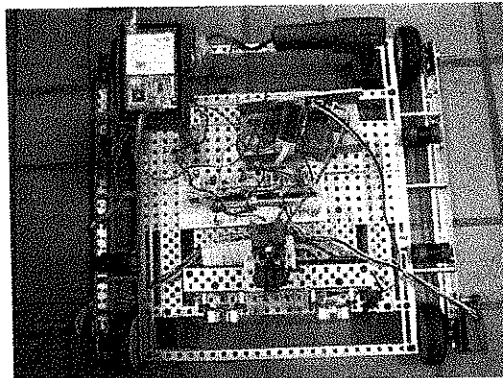


Figura 44. Ubicación de los actuadores en el móvil.  
FUENTE: Autores.

#### 5.5.4.2. Sensores

La primera consideración que se debe tener en cuenta es en la ubicación de los sensores de ultrasonido, los cuales permiten la medición de la distancia entre el móvil y los objetos que pueda encontrar en su recorrido. Partiendo de esta idea, es necesario colocarlos en un lugar donde tengan línea de vista directa con el terreno a una altura considerable (mayor a 3 cm) para evitar causar conflicto con el lóbulo del haz de medición. Uno de los sensores se dispone en la parte frontal de la base que sostiene la cámara inalámbrica con su motor correspondiente, a una altura de 14 cm con respecto al suelo, lo que permite tener una adecuada línea de vista con un rango de medición bastante amplio. El segundo sensor se dispone en la parte trasera del móvil, a una altura de 16 cm con respecto al suelo, esta disposición permite medir obstáculos que se encuentren al frente y al respaldo del robot.

La segunda consideración necesaria es la ubicación del compás magnético, el cual no debe permanecer cerca de dispositivos que generan campo magnético, pues se altera la medida tomada, como por ejemplo los motores de la plataforma, en este caso se coloca un sensor en la parte central posterior de la base que se encuentra en el centro de la plataforma, a una distancia apropiada del motor de la cámara y de los motores posteriores. El acelerómetro va colocado en el mismo sector que el compás magnético, de esta manera se sensa la vibración en el punto central de la plataforma o centro de masa, en los tres ejes coordenados.

La tercera consideración se realiza con respecto a los encoders, estos se ubican en los ejes de los dos motores delanteros de la plataforma uno a cada lado (izquierda y derecha), para sensar la velocidad con la que gira cada par de motores. Por último la cámara inalámbrica es colocada sobre una plataforma móvil, la cual le da un grado de movilidad de 360 grados para observar todo el panorama del ambiente de trabajo del móvil. En la figura 45, se observa de manera gráfica la ubicación de los sensores en el móvil.

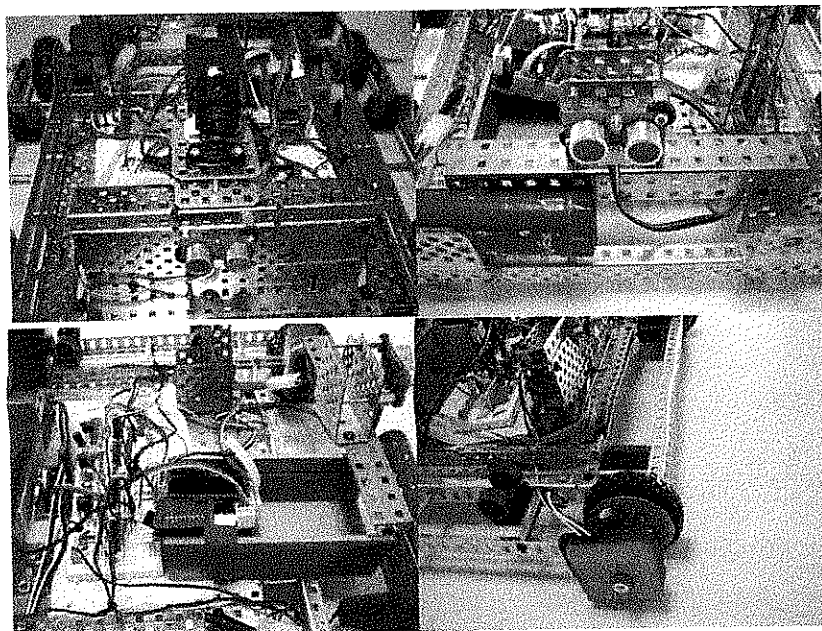


Figura 45. Ubicación de los sensores en el móvil.  
FUENTE: Autores.

#### 5.5.4.3. Circuitos y alimentación.

Los circuitos de adquisición de datos, transmisión, recepción y de potencia deben estar ubicados próximos entre sí ya que poseen elementos comunes para su funcionamiento, además, como allí han de estar ubicados los sensores, los circuitos deben ser colocados en la parte central de la base de la plataforma, asegurando la distancia establecida respecto a los sensores y a los motores, así como también, se asegura la conexión de los motores al circuito correspondiente sin la necesidad de utilizar extensiones de cable adicional.

En la parte central superior del móvil se adecuó un espacio destinado únicamente para la ubicación de los componentes que alimentaran los circuitos, en este caso las dos baterías VEX que alimentan los circuitos de control como también los circuitos de potencia. En la figura 46 se muestra la distribución y ubicación de los circuitos en la plataforma.

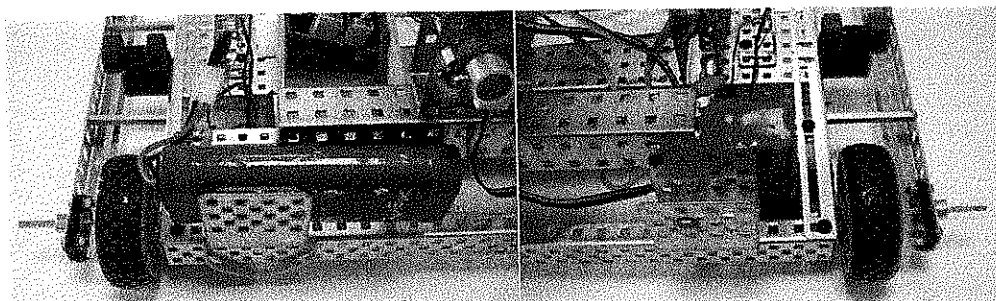


Figura 46. Ubicación de los circuitos y las baterías de alimentación en el móvil.  
FUENTE: Autores.

## 6. ESTACIÓN DE MONITOREO

La estación de monitoreo es el lugar donde el operador supervisa el estado tanto del móvil como del ambiente en el que se desenvuelve y toma el control de los movimientos del móvil. Dicha estación debe ser clara y fácil de interpretar, otorgando la información necesaria en tiempo real. Para el desarrollo de esta etapa se utiliza el software especializado LabVIEW™, en el cual es posible implementar ambientes virtuales de instrumentación con diversos indicadores que sirven al propósito de la estación.

Dentro de los componentes más relevantes de la estación de monitoreo están el dispositivo manual de control y la interfaz gráfica de usuario con los diferentes paneles.

### 6.1. Caracterización e implementación del dispositivo manual de control:

Las unidades manuales de control como los joysticks o los controles, son dispositivos que de forma manual (por el sentido del tacto) permiten reflejar las acciones del operario en ambientes virtuales, como la posición por medio de palancas o pulsadores. Para esto el dispositivo a emplear debe tener dos grandes características: capacidad de movimientos en 2D o 3D para determinar la dirección del desplazamiento del móvil y la sensibilidad, que le otorga al operador la capacidad de replicar los pequeños cambios aplicados al dispositivo.[21]

#### 6.1.1. Joystick

Para el diseño y la implementación del sistema se empleó un joystick Genius Max Fighter F-23U V2 como el que se muestra en la figura 47, como dispositivo manual de entrada, el cual, según el diseño de la interfaz, tiene la capacidad de replicar la dirección deseada para el móvil con respecto a un plano cartesiano en dos dimensiones, y la velocidad con respecto a la inclinación del mismo.

Este dispositivo tiene como características:

- Ocho botones incluido el gatillero.
- POV Localizador de objetivos en ocho direcciones.
- Interfaz USB.
- Controles de ajuste para calibrar el dispositivo en los tres ejes coordenados (X, Y, Z).



Figura 47. Joystick Genius Max Fighter F-23U V2.  
FUENTE: Autores.

La caracterización del comportamiento del joystick se realiza de manera que se pueda identificar las variables que se desean manejar, se utilizó el software de programación LabVIEW™ el cual permite observar en forma numérica los rangos máximos de operación del joystick con respecto a los ejes y a su inclinación.

Para trabajar con dispositivos de hardware como teclados, mouses y joysticks se utilizan las librerías Input Device Control, para identificar al joystick como dispositivo de entrada se debe hacer uso del bloque Initialize Joystick.vi, definiendo un valor numérico en la entrada device index para identificar el dispositivo del que se quiere leer la información. Este valor numérico corresponde al número del dispositivo. Luego se hace uso del bloque Acquire Input Data, el cual otorga información del dispositivo como datos de los ejes, estado de los pulsadores incorporados e información de dirección. Por último es necesario cerrar la sesión del dispositivo con el bloque Close Input Device, para completar el proceso de lectura de los datos del joystick. El diagrama de programación se puede observar en la figura 48.

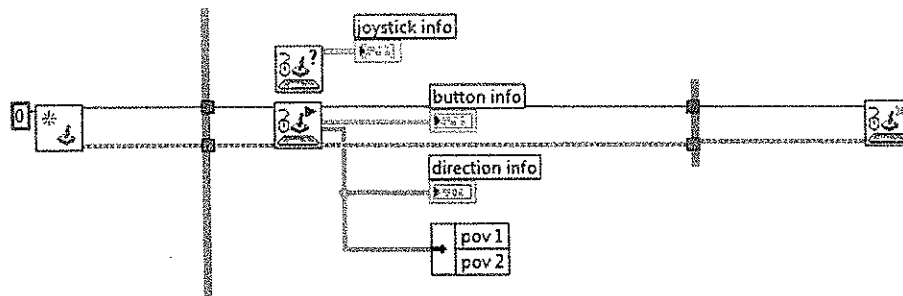


Figura 48. Flujo de adquisición de los datos del joystick en LabVIEW™.  
FUENTE: Autores.

Para el dispositivo se obtuvieron los siguientes datos:

- Eje X: alcanza valores desde los -25000 del centro hacia la izquierda, hasta los 25000 del centro hacia la derecha.

- Eje Y: alcanza valores desde los 2200 del centro hacia abajo, hasta los -26000 del centro hacia arriba.

Los valores para cada eje coordenado se obtienen cuando el dispositivo es ajustado en los valores X igual a cero y E igual a cero, cuando la palanca permanece en reposo y en el centro de la base.

De acuerdo a los datos obtenidos, se determinó el comportamiento del joystick dentro de los siguientes rangos cualitativos:

- Dirección y sentido: se definieron cinco opciones de dirección indicadas por Adelante (Front), Derecha (Right), Izquierda (Left), Atrás (Back) e Inactivo (Stop) que corresponden a las direcciones descritas por el joystick al inclinar la palanca con respecto a su base.
- Velocidad: Para las direcciones Front, Right, Left y Back, se dispone de siete opciones de velocidad, las cuales se reflejarán en un aumento proporcional del ángulo de inclinación manejado por el joystick. Para esto cada uno de los ejes es dividido en siete secciones de igual tamaño como se muestra en la figura 49, para el eje X se tomaron rangos de 3000 unidades para formar cada una de las velocidades, tanto para izquierda como para derecha, para el eje Y se tomaron rangos de 3000 unidades para formar las velocidades correspondientes a la dirección hacia adelante, para la dirección hacia atrás se tomaron rangos de 2600.

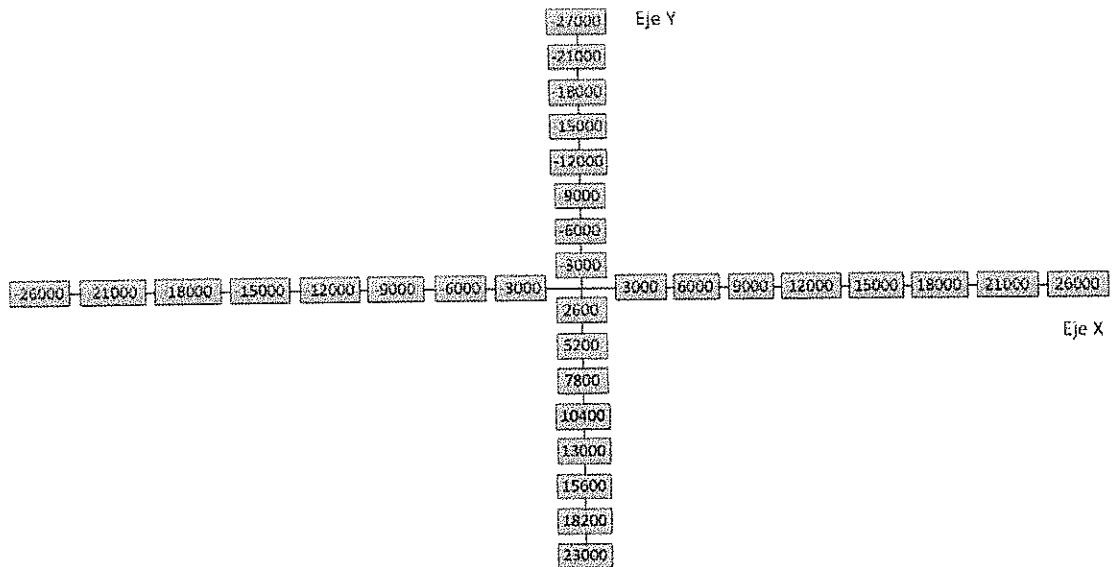


Figura 49. Segmentación de los valores del Joystick en los ejes X y Y.  
FUENTE: Autores.

Para la transmisión de esta información al vehículo, luego de haber dividido el eje coordenado del joystick en 14 posibilidades tanto en el eje de las abscisas (X) como en el eje de las ordenadas (Y), se le asignó a cada uno cuatro bits en

formato hexadecimal, los cuales se integran en 1 byte que contiene en su parte alta las informaciones del eje coordenado X y en su parte baja la información correspondiente al eje coordenado Y, designadas por el comportamiento del joystick, en la tabla 15 se observa los valores asignados a cada posición:

Coordenada	Valor Hexadecimal
x0,y0	7
x1,y1	6
x2,y2	5
x3,y3	4
x4,y4	3
x5,y5	2
x6,y6	1
x7,y7	0
x-1,y-1	9
x-2,y-2	A
x-3,y-3	B
x-4,y-4	C
x-5,y-5	D
x-6,y-6	E
x-7,y-7	F

Tabla 15. Valores asignados para cada rango de operación definido en cada eje del joystick.

En la figura 50 se observa un ejemplo de la asignación de valores de los ejes del joystick, con la división del byte en el cual se integra la información tanto de dirección como de velocidad.

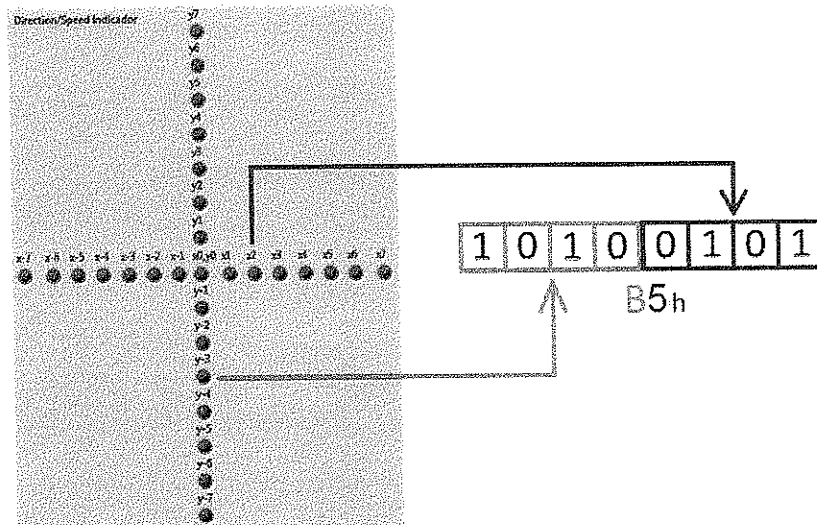


Figura 50. Ejemplo de los valores asignados para los rangos de segmentación del Joystick.  
FUENTE: Autores.

Para el diseño del móvil, la configuración del joystick planteada hasta el momento no es funcional ya que esta posee un diseño para un móvil con configuración Ackerman que cuente con un mecanismo de tracción/movimiento en la parte posterior, el cual determina el movimiento hacia adelante o hacia atrás, y en su parte delantera cuente con un mecanismo de tracción/

movimiento que gire las llantas de la parte anterior para determinar giros o dirección hacia la izquierda o derecha.

Para dar las órdenes de movimiento al móvil es necesario considerar una configuración diferencial, cada par de llantas a la izquierda y a la derecha del móvil son independientes, posee su propio par de motores con su propia velocidad para lograr que el móvil se desplace hacia adelante o hacia atrás, o de giros con diferente velocidad según sea la orden del operador. Partiendo de esta idea, es necesario modificar la información del joystick de los ejes coordenados para que en lugar de otorgar información de los ejes (ordenadas (Y) hacia adelante o atrás, abscisas (X) hacia la izquierda o derecha).

Se acondicionaron 6 posibilidades de acción partiendo de la información anteriormente definida en el joystick, para replicar el movimiento del eje coordenado en los dos pares de motores individualmente definidos como: *M1* los cuales se encuentra ubicados a la izquierda del móvil y *M2* que se encuentra ubicados a la derecha del móvil. En la figura 51 se muestra gráficamente la definición de los parámetros de necesarios para el acondicionamiento de los datos a la nueva configuración del móvil. Se considera todo el rango de trabajo como un plano cartesiano utilizando los datos hexadecimales definidos anteriormente tanto para las abscisas (X) como para las ordenadas (Y), y según la inclinación de la palanca se determina el cuadrante en el cual se está determinando la acción, y según el cuadrante se define el movimiento que debería realizar el móvil. Para esta modificación *M1* toma los valores de X y *M2* toma los valores de Y.

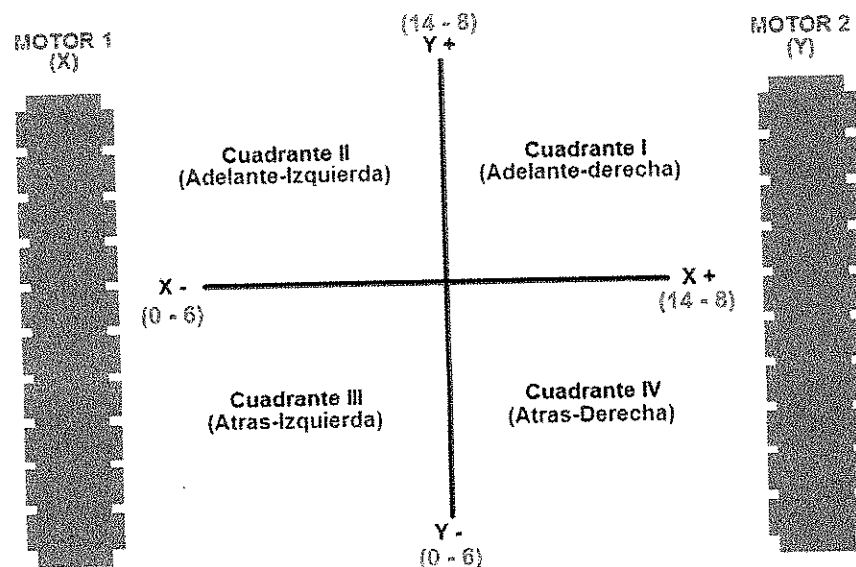


Figura 51. Diagrama de adecuación de los valores proporcionados por el joystick para la configuración diferencial del móvil.

FUENTE: Autores.

1. Cuadrante I (Movimiento: Adelante-Derecha): Los valores hexadecimales de las ordenadas Y de la parte superior comprende los números del 15 al 9, de forma ascendente del centro hacia arriba; los valores hexadecimales de las abscisas X de la parte derecha comprende los números del 15 al 9, ascendiendo de izquierda a derecha. En este cuadrante debe permanecer la velocidad del Motor 1 mayor que la del Motor 2.
2. Cuadrante II (Movimiento: Adelante-Izquierda): Los valores hexadecimales de las ordenadas Y de la parte superior comprende los números del 15 al 9, de forma ascendente del centro hacia arriba; los valores hexadecimales de las abscisas X de la parte izquierda comprende los números del 7 al 1, ascendiendo de derecha a izquierda. En este cuadrante debe permanecer la velocidad del Motor 2 mayor que la del Motor 1.
3. Cuadrante III (Movimiento: Atrás-Izquierda): Los valores hexadecimales de las ordenadas Y de la parte inferior comprende los números del 7 al 1, de forma ascendente del centro hacia abajo; los valores hexadecimales de las abscisas X de la parte izquierda comprende los números del 7 al 1, ascendiendo de derecha a izquierda. En este cuadrante debe permanecer la velocidad del Motor 2 mayor que la del Motor 1.
4. Cuadrante IV (Movimiento: Atrás-Derecha): Los valores hexadecimales de las ordenadas Y de la parte inferior comprende los números del 7 al 1, de forma ascendente del centro hacia abajo; los valores hexadecimales de las abscisas X de la parte derecha comprende los números del 15 al 9, ascendiendo de izquierda a derecha. En este cuadrante debe permanecer la velocidad del Motor 1 mayor que la del Motor 2.
5. Movimiento hacia Adelante/Atrás: Los valores hexadecimales de las ordenadas Y de la parte superior comprende los números del 15 al 9, de forma ascendente del centro hacia arriba, Los valores hexadecimales de las ordenadas Y de la parte inferior comprende los números del 7 al 1, de forma ascendente del centro hacia abajo. La velocidad y la dirección de ambos motores debe ser la misma.
6. Movimiento hacia Derecha/Izquierda: los valores hexadecimales de las abscisas X de la parte derecha comprende los números del 15 al 9, ascendiendo de izquierda a derecha los valores hexadecimales de las abscisas X de la parte izquierda comprende los números del 7 al 1, ascendiendo de derecha a izquierda. La velocidad de ambos motores debe ser la misma pero su dirección debe ser opuesta.

Luego de definir la información general de cada cuadrante, por medio de comparadores en LabVIEW™ se definen las condiciones y las modificaciones para el correspondiente funcionamiento de cada motor:

1. Cuadrante I (Movimiento: Adelante-Derecha):

- Si el dato de las abscisas es igual al de las ordenadas ( $X = Y$ ), se realiza un decremento en uno el dato de  $Y$ .
- Si el dato de las abscisas es menor al de las ordenadas ( $Y > X$ ), se intercambian los valores de las abscisas y de las ordenadas.

2. Cuadrante II (Movimiento: Adelante-Izquierda):

- Los valores de las abscisas que en este cuadrante son del 7 al 1 hexadecimal, ahora toman los valores del 15 al 9 hexadecimal.
- Si el dato de las abscisas es igual al de las ordenadas ( $X = Y$ ), se realiza un decremento en uno el dato de  $X$ .
- Si el dato de las ordenadas es menor al de las abscisas ( $X > Y$ ), se intercambian los valores de las abscisas y de las ordenadas.

3. Cuadrante III (Movimiento: Atrás-Izquierda):

- Si el dato de las abscisas es igual al de las ordenadas ( $X = Y$ ), se realiza un decremento en uno el dato de  $X$ .
- Si el dato de las ordenadas es menor al de las abscisas ( $X > Y$ ), se intercambian los valores de las abscisas y de las ordenadas.

4. Cuadrante I (Movimiento: Adelante-Derecha):

- Los valores de las abscisas que en este cuadrante son del 15 al 9 hexadecimal, ahora toman los valores del 7 al 1 hexadecimal.
- Si el dato de las abscisas es igual al de las ordenadas ( $X = Y$ ), se realiza un decremento en uno el dato de  $Y$ .
- Si el dato de las ordenadas es menor al de las abscisas ( $X > Y$ ), se intercambian los valores de las abscisas y de las ordenadas.

5. Movimiento hacia Adelante/Atrás:

- Si el dato de las abscisas es igual a cero ( $X = 0$ ) tanto abscisas como ordenadas tendrán el dato que correspondiente a las ordenadas en el momento.

## 6. Movimiento hacia Derecha/Izquierda:

- Si el dato de las ordenadas es igual a cero ( $Y = 0$ ) las ordenadas tendrán el dato complementario a las abscisas ( $15 > X > 9$  entonces  $7 > Y > 1$  o viceversa).

A partir de estas condiciones se unen los dos datos de 4 bits en un solo byte en donde la parte alta que antes correspondía a la Información de las abscisas ( $X$ ) ahora corresponde a la *información del par de motores del lado izquierdo del móvil ( $M1$ )* y la parte baja que antes correspondía a las ordenadas ( $Y$ ) ahora corresponde a la información del par de motores del lado derecho del móvil ( $M2$ ). En la figura 52 se observa la disposición de los indicadores en LabVIEW™ con respecto a la velocidad que se envía a los motores.

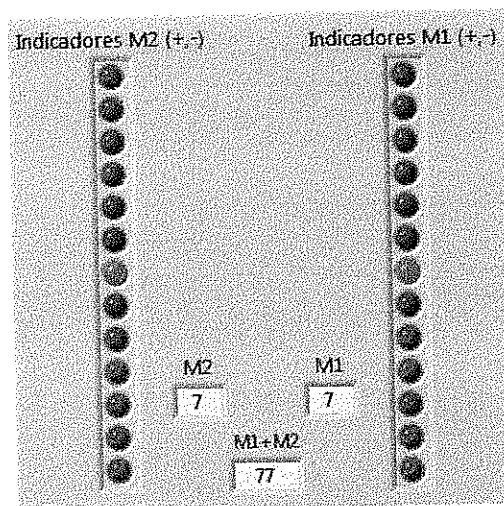


Figura 52. Ejemplo de la nueva configuración de valores asignados para los rangos de segmentación del Joystick.

FUENTE: Autores.

Después de realizar pruebas de desempeño del joystick, se identificó que la sensibilidad de respuesta del joystick era muy alta debido a las 7 opciones de velocidad y los valores de división de los rangos de los ejes del joystick, esto conlleva a que cualquier vibración del joystick cambie los valores, lo que se ve reflejado en el envío de una orden al móvil que en realidad no se está ejecutando por el operador sino por un error al mover un poco la palanca. Para solucionar este inconveniente se decide modificar el valor de la división de los ejes coordenados pasando de 7 posibles velocidades a 6 velocidades, de esta manera se aumenta el rango de datos entre cada opción de velocidad, y se reduce la sensibilidad del joystick al movimiento de la palanca. La nueva segmentación de los ejes del joystick se muestra en la figura 53, los nuevos valores de los intervalos son: para el eje  $X$  rangos de 3500 unidades, tanto para izquierda como para derecha, para el eje  $Y$  se tomaron rangos de 4000 unidades para la dirección hacia adelante, para la dirección hacia atrás se tomaron rangos de 3000.

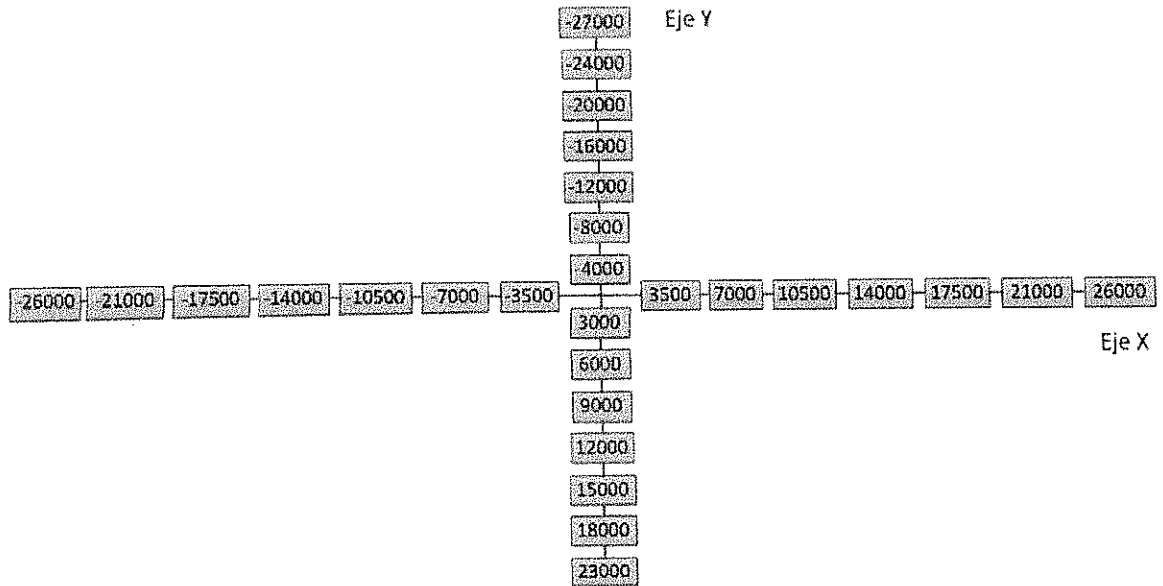


Figura 53. Segmentación de los nuevos valores del Joystick en los ejes X y Y.  
FUENTE: Autores.

Para completar la adecuación de la nueva configuración se decide eliminar la opción de velocidad que aporta los datos 1 y 13, con lo cual se obtienen trece datos con su correspondiente valor hexadecimal los cuales se muestran en la tabla 16.

Coordenada	Valor Hexadecimal
x0,y0	7
x1,y1	6
x2,y2	5
x3,y3	4
x4,y4	3
x5,y5	2
X6,y6	0
x-1,y-1	9
x-2,y-2	A
x-3,y-3	B
x-4,y-4	C
x-5,y-5	E
x-6,y-6	F

Tabla 16. Valores asignados para cada rango de operación definido en cada eje del joystick.

Ahora es necesario definir el mecanismo de accionamiento y los datos que deben ser enviados al motor que controla la cámara. Para controlar los movimientos se utiliza el POV del joystick, este accionamiento entrega ocho valores que indican la posición en la que se encuentra según su inclinación con respecto al origen de un eje coordenado ubicado en el centro del dispositivo. En la figura 54 se puede apreciar las diferentes direcciones en las que es posible mover el POV del joystick y los valores por defecto que tiene cada opción.

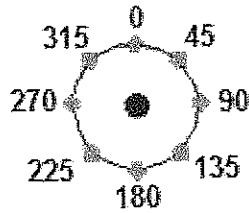


Figura 54. Valores que puede tomar el POV dependiendo de su movimiento.  
FUENTE: Autores.

Ahora, para el movimiento del motor de la cámara, solo son necesarios los valores de 90 y 270 para acondicionar el dato que se va a enviar al dsPIC de motores, los cuales determinan la dirección de movimiento ya sea izquierda o derecha. El dato a enviar se obtiene realizando una comparación con del dato que es entregado por el POV, si es 90 envía un 04 en valor hexadecimal, y si es un 270 envía un 0A en valor hexadecimal, lo que conlleva a tener una velocidad constante ya definida hacia la izquierda o hacia la derecha, si no es ninguno de estos dos valores, se envía un 07 en hexadecimal lo que refleja que el motor no se mueva en alguna dirección.

Después de haber caracterizado el joystick y los datos que debe mandar, la información se reúne para formar un subVI mostrado en la figura 55, el cual presentara como entradas los datos que toman los ejes coordenados en el joystick y el valor que toma el POV, y como salidas el dato de 4 bits enviado a cada par de motores individualmente, el byte que contiene la información de los motores para ser enviado al host en el móvil, los datos originales de las abscisas y ordenadas (X, Y), los indicadores de velocidad y dirección para cada motor y el dato que se envía al motor que controla la cámara.

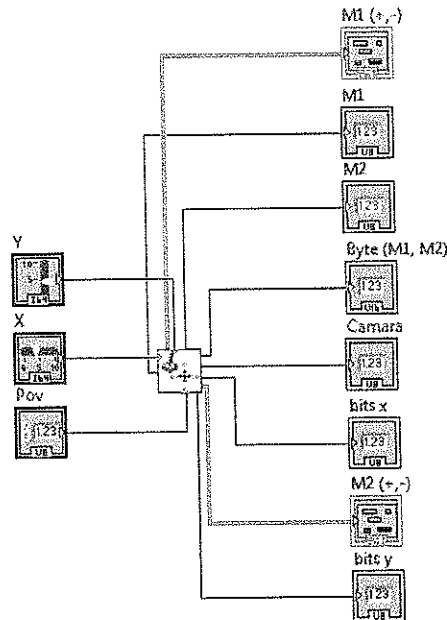


Figura 55. Vista del subVI en LabVIEW<sup>TM</sup>.  
FUENTE: Autores.

Aunque el joystick presenta un manejo fiable y es de fácil manipulación, su ajuste se hace tedioso ya que con cualquier movimiento brusco, los valores de los ejes X y Y cambian, además, es necesario colocarlo sobre una superficie rígida, plana y sin inclinaciones muy pronunciadas para que sus valores en los ejes no se alteren y no se produzca un error a la hora de la manipulación. Por esta razón se procedió a implementar la opción de un dispositivo adicional de manipulación, partiendo de la configuración realizada anteriormente para el joystick convencional y que permitiera un grado mayor de independencia para su manejo.

### 6.1.2. Control inalámbrico de Xbox con receptor

El control de Xbox 360 inalámbrico el cual se muestra en la figura 56, permite otorgar mayor libertad de manipulación al operador, ya que no lo condiciona a tener un espacio de trabajo específico para manejar el dispositivo, como pasa cuando se utiliza el joystick. El control inalámbrico de Xbox 360 y el receptor tiene como características:

- 2.4GHz de tecnología inalámbrica con un alcance de 9m.
- Pueden usarse hasta cuatro controles al mismo tiempo en una consola.
- Puerto integrado para conectar un auricular.
- Dos palancas una derecha y una izquierda.
- Diez botones incluyendo cuatro gatilleros dos izquierdos y dos derechos.
- POV Localizador de objetivos en cuatro direcciones (Pad).

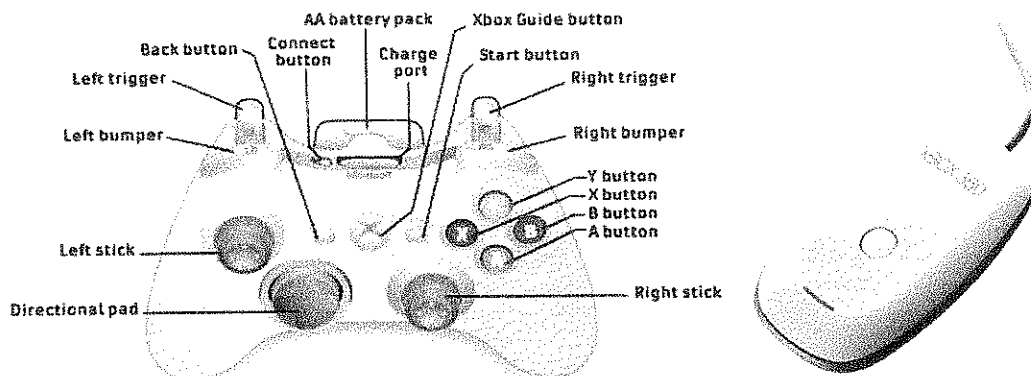


Figura 56. Descripción del Control inalámbrico Xbox 360 y receptor.

FUENTE:

[http://imagehost.vendio.com/preview/a/35010923/aview/xbox360\\_Wireless\\_controller\\_compeve.jpg](http://imagehost.vendio.com/preview/a/35010923/aview/xbox360_Wireless_controller_compeve.jpg).

A partir del trabajo desarrollado para el joystick Genius, se modificó la información de la segmentación de los ejes coordenados en LabVIEW™ de acuerdo al valor de los ejes del nuevo dispositivo, además, en lugar de utilizar el POV para el manejo de la cámara, se hace uso de la palanca derecha del control limitándola a dos movimientos (izquierda y derecha). En la figura 57 se observa la nueva segmentación de los ejes coordenados.

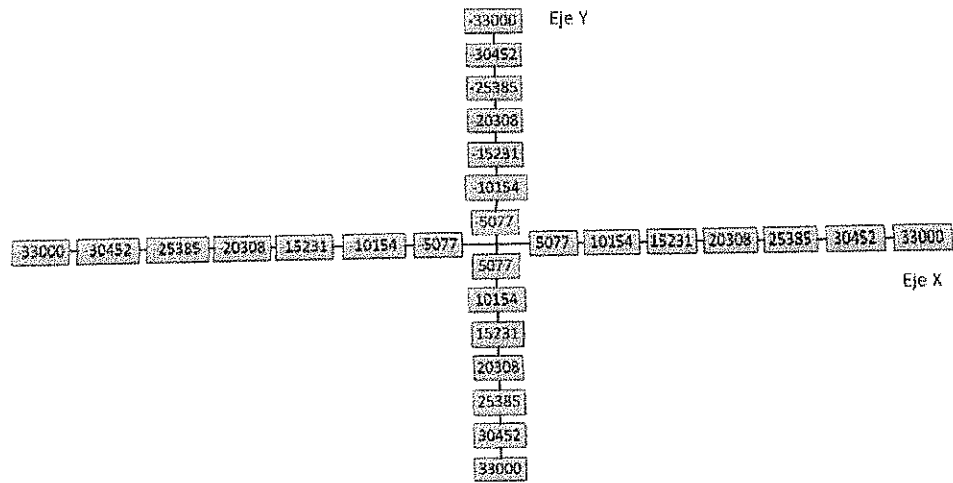


Figura 57. Segmentación de los valores del Control inalámbrico de Xbox 360 en los ejes X y Y.  
FUENTE: Autores.

Para la interfaz en LabVIEW™ se configura la opción y así poder seleccionar con qué dispositivo se quiere trabajar, de esta manera se deja a conveniencia del operador para que utilice el dispositivo que más se acomode a sus necesidades.

## 6.2. Recepción y Transmisión de datos por comunicación serial.

La comunicación que se realiza entre la estación de monitoreo y el móvil es una comunicación serial, para que la transferencia de datos sea exitosa es necesario configurar en LabVIEW™, una serie de parámetros y un flujo de trabajo que aseguran tanto la transmisión como la recepción de los datos a comunicar entre secciones del sistema.

### 6.2.1. Parámetros para la inicialización de la comunicación

Para tener acceso al puerto serial usando LabVIEW™ se debe iniciar una sesión VISA. La configuración del tipo de comunicación serial se hace con "VISA configure serial port". Para la configuración de este bloque se debe respetar los parámetros definidos en ambos dsPICs para la sincronización de la comunicación serial. En este caso se debe definir una velocidad o Baud Rate de 9600. En la figura 58, se observa la configuración definida para la comunicación serial en LabVIEW™, los parámetros del Baud Rate y el puerto por el cual se comunica se definen como variables locales cuyo valor se encuentra dentro del bucle de trabajo, esto permite actualizar la velocidad y el puerto mientras se corre el programa y no tener que detenerlo para modificar estos parámetros y también sean reconocidos.

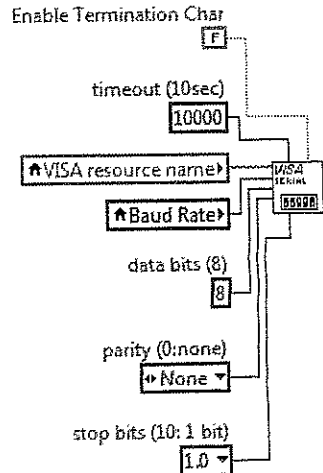


Figura 58. VISA Configure Serial Port en LabVIEW™.  
FUENTE: Autores.

Una vez inicializada la sesión VISA, se procede a configurar la lectura y escritura en el puerto.

### 6.2.2. Escritura En El Puerto Serial

Los datos enviados desde la estación de monitoreo al móvil en campo, permite replicar las ordenes definidas por el operador a través del dispositivo de manipulación de control en los movimientos del móvil. Para el envío de esta información es necesario configurar ciertos bloques en LabVIEW™ que permiten acceder al buffer de comunicación serial.

Para escribir en el puerto serial usando LabVIEW™ primero, se inicializa una sesión VISA con un "VISA Configure Serial Port". Luego, se coloca un "VISA Write" el cual es el bloque que permite escribir la información en el buffer de comunicación a ser enviado al móvil.

Dentro del buffer de escritura se encuentran los 4 bytes anteriormente mencionados que constituyen la trama de transmisión de datos de la estación al móvil. Para construir el arreglo de 4 bytes se utiliza un "build array" y en orden se colocan los bytes que van a ser enviados al móvil: cabecera, dato de sentido y velocidad de los motores de la base, sentido del motor de la cámara y tráiler, como se muestra en la figura 59. Luego de tener los datos es necesario hacer una conversión de tipo byte a string.

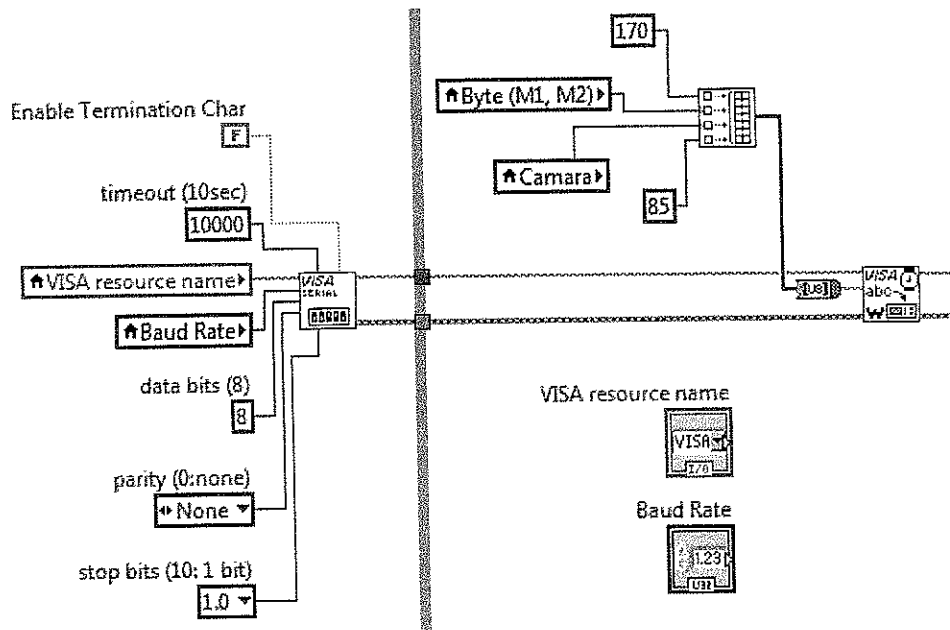


Figura 59. VISA Write en LabVIEW™.  
FUENTE: Autores.

### 6.2.3. Lectura Del Puerto Serial

Los datos enviados desde el móvil en campo a la estación de monitoreo, permite no solo la supervisión de las condiciones en las que se encuentra el móvil, sino también, la recopilación de los parámetros necesarios para la descripción gráfica que del terreno que se realizará posteriormente.

Para la adquisición de esta información es necesario utilizar el bloque "VISA Read". El nodo de "byte count" recibe el tamaño de buffer que se escribió en el puerto. Su nodo de referencia se conecta a la sesión VISA creada y se selecciona, Number of bytes at serial port.

Una vez que se lee la trama de comunicación enviada por el móvil, se debe identificar cada byte para ser visualizado en su correspondiente indicador y obtener los datos necesarios para los posteriores procesos, para esto se utilizó el bloque "index array", por el cual es posible seleccionar la ubicación del byte que se quiere visualizar dentro de la trama y su valor.

Primero se seleccionan y se compara los valores del tráiler y la cabecera con los números 55 y AA en formato hexadecimal correspondientemente. Si estos valores coinciden, se da paso a identificar el resto de valores de la trama, realizando el mismo proceso, se selecciona la posición del byte a la que se quiere acceder y se lee su contenido para ser visualizado, de lo contrario se descarta la trama y se vuelve a leer el buffer de entrada. En la figura 60, se muestra la distribución de los bloques en LabVIEW™ y el acondicionamiento de los datos recibidos.

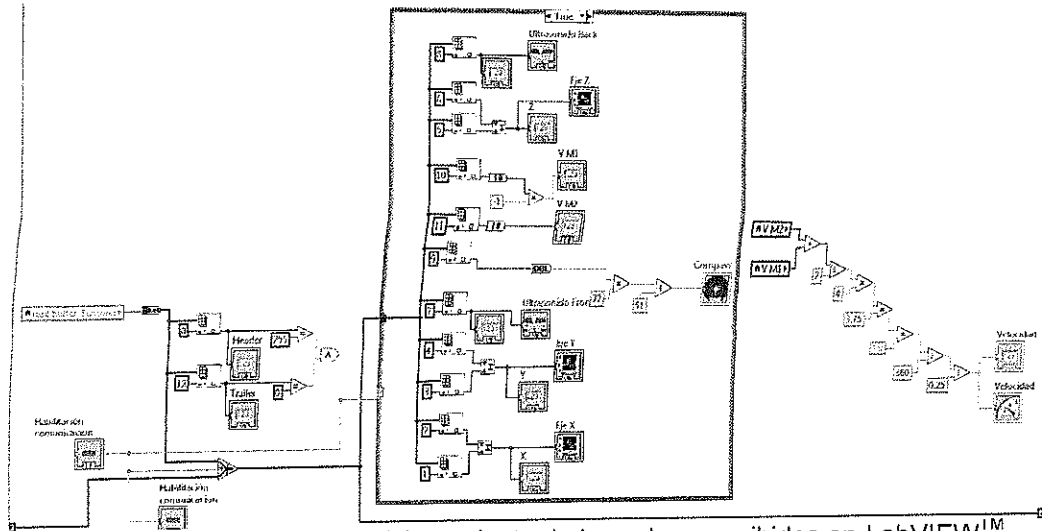


Figura 60. Selección y acondicionamiento de los valores recibidos en LabVIEW<sup>TM</sup>.  
FUENTE: Autores.

Por último se debe cerrar la sesión VISA para liberar el puerto y poderle dar otra función, esta acción se realiza cuando se detiene el programa.

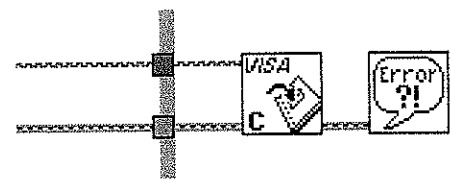


Figura 61. Simple Error Handler en LabVIEW<sup>®</sup>.  
FUENTE: Autores.

#### 6.2.4. Acondicionamiento por software de los datos de los sensores.

Los datos recibidos del compás magnético y de los encoders es necesario hacerles un ajuste por software para que estos sean entendibles por el operador, es así como al dato del compás magnético que se entrega como un dato de 0 a 255 en decimal, se debe acondicionar por medio de la ecuación 5 para que sea posible visualizar datos de 0 a 360 como los ángulos de una circunferencia, cuyo valor depende de la desviación al norte magnético. La ecuación 5 se obtiene por medio de una relación lineal entre el valor digital del compás y su correspondiente valor angular de la circunferencia:

$$\theta_{CM} = \frac{\text{valor digital entregado por el compás} \cdot 72}{51} \quad (5)$$

De igual manera los datos recibidos de los encoders representan el número de muescas que pasan en una unidad de tiempo determinada, es por eso que el dato necesita ser modificado para que entregue el valor de velocidad, este valor

se modifica en primera instancia, por medio de la ecuación de la longitud de un arco de circunferencia la cual se define por la ecuación 6:

$$x = \theta * d \quad (6)$$

Donde  $x$  corresponde a la longitud del arco,  $\theta$  es el ángulo que recorre el arco que se desea hallar en radianes y  $d$  es el diámetro de la rueda utilizada como mecanismo de locomoción en el móvil. Cada muesca del Encoders representa una división angular de 4 grados, y el diámetro de la rueda utilizada es de aproximadamente 7.239 cm, es así como se obtiene la ecuación que determina el arco de circunferencia que se desplaza en función al número de muescas por unidad de tiempo leído por los encoders. La ecuación 7 resume el proceso anteriormente descrito:

$$x = (4 * \# \text{ de muescas}) * 7.239 \text{ cm} \quad (7)$$

Ahora, para obtener la velocidad con la que se mueve la plataforma, se divide el dato del arco de circunferencia en 250 ms el cual representa aproximadamente el tiempo en que demora la lectura del número de muescas por los encoders como se muestra en la ecuación 8:

$$v = \frac{x}{t} = \frac{(4 * \# \text{ de muescas}) * 7.239}{0.25} \text{ cm/s} \quad (8)$$

### 6.3. Video

El video es el componente esencial en todo sistema de teleoperación, ya que es por medio de este que el operador puede tener contacto visual con el ambiente de trabajo del móvil. Por esta razón es necesaria la adecuación de la información enviada desde la cámara inalámbrica para ser visualizada en la interfaz de usuario, de manera clara y continua en tiempo real, evitando retardos y pérdida de la información.

Para la adquisición de video en LabVIEW™ es necesario primero acoplar los dispositivos físicos que entregan la señal requerida para la visualización. El receptor de video entrega la señal de video compuesto por medio de un conector RCA, el cual no existe como entrada en los computadores o notebooks. Para poder visualizar el video se debe convertir esta señal en digital por medio de una capturadora de video la cual posee conector USB el cual se encuentra como dispositivo conector de entrada en los computadores y laptops actuales.

Para identificar el nuevo hardware conectado al PC por LabVIEW™, se utiliza la aplicación Measurement & Automation de National Instruments™, cuyo entorno de trabajo se muestra en la figura 62, el cual reconoce el hardware externo que puede ser utilizado en aplicaciones en LabVIEW™, para el reconocimiento de

la cámara. Se debe desplegar la ventana My systems, de esta se selecciona Devices and Interfaz, aquí se espera a que el software reconozca los dispositivos de hardware conectados al PC, en donde se encuentra la ventana NI-IMAQdx Camera, al desplegar esta opción se encuentran todos los dispositivos que entreguen señal de video, en este caso en cam0 se reconoce a la cámara web incorporada en el computador, y en cam1 se reconoce como la capturadora de video la cual entrega la señal del receptor de la cámara inalámbrica.

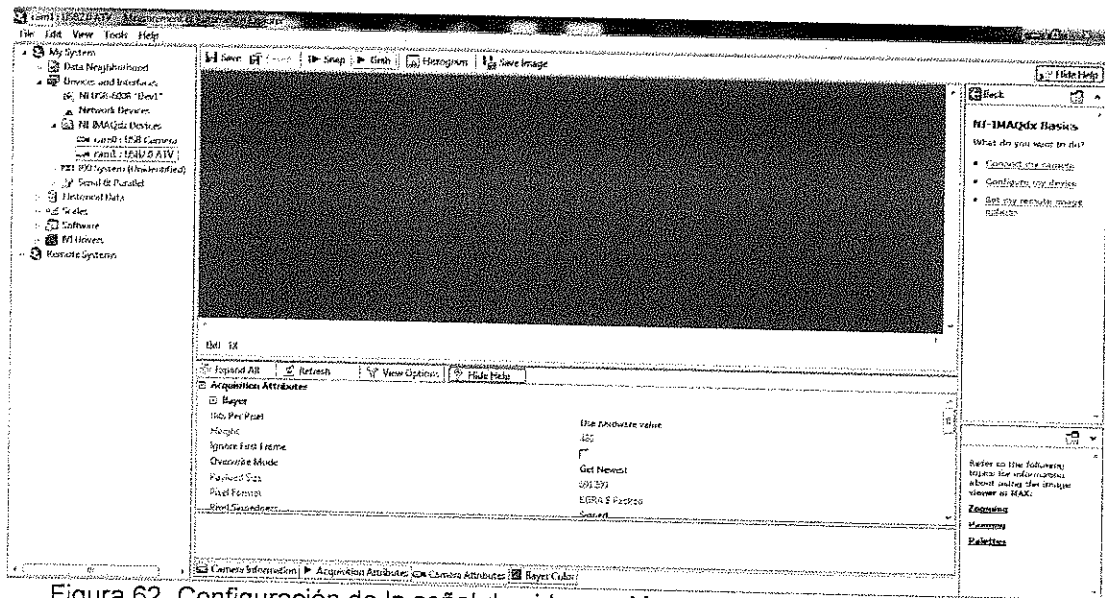


Figura 62. Configuración de la señal de video en Measurement & Automation de NI®.  
FUENTE: Autores.

Para la adquisición de imágenes en LabVIEW™, se requiere hacer uso de las librerías NI-IMAQdx, las cuales se encargan de la adquisición, adecuación y procesamiento de la señal las imanes adquiridas por el dispositivo. Partiendo de estas librerías se realiza el flujo de adquisición. Para construir un flujo de adquisición de imágenes, los pasos básicos que se deben seguir son inicialización, configuración y adquisición

### 6.3.1. Flujo de adquisición - Inicialización

- Abrir cámara: Para adquirir imágenes, lo primero que se debe realizar es abrir una sesión de cámara. Una sesión de cámara es un proceso que identifica el dispositivo que será usado para las aplicaciones NI-IMAQdx. Al abrir una sesión de cámara es necesario definir dos parámetros: nombre de la cámara y modo de control de la cámara.
  - Nombre de la cámara: El NI-IMAQdx referencia todas las sesiones de cámara por nombre. El driver crea nombres por defecto de cada cámara conectada en el sistema en orden. Lo nombres se muestran en la tabla 17. En el caso de la aplicación desarrollada

en LabVIEW™, como se mencionó anteriormente se selecciona el dispositivo 1, que corresponde a la cámara inalámbrica.

Camera Name	Cámara Instalada
Cam0	Device 0
Cam1	Device 1
...	...
Camn	Device n

Tabla 17. Convención de nombres de dispositivos de las cámaras conectadas al PC.

### 6.3.2. Flujo de adquisición - Configuración de adquisición

Después de abierta la sesión de la cámara, se configura con el propósito de la adquisición de imágenes, esta se especifica mediante los siguientes parámetros: si es adquisición de una toma o continua, y el número de buffers internos a utilizar. Se recomienda no configurar la adquisición en un bucle ya que se demandaría más tiempo de proceso y se retrasa la adquisición. La adquisición de video es un proceso en tiempo real, por esta razón se debe realizar en todo momento que esté operando el dispositivo para no perder detalles del entorno de trabajo y para poder realizar posteriormente un procesamiento de la información, por esta razón se selecciona una adquisición continua.

- **Adquisición Continua:** La adquisición continua adquiere las imágenes y las almacena en buffers internos, permite examinar el buffer más reciente. Si la actividad del CPU incrementa durante la adquisición continua de imágenes, el driver podría perder sub-secuencias de imagen, es importante no estar ejecutando otra aplicación grande mientras se trabaja con la aplicación desarrollada en LabVIEW™, para no perder información del video adquirido.
- **Formato del Pixel:** El formato del pixel especifica el tipo de formato de imagen fuente.

### 6.3.3. Flujo de adquisición - Adquisición

Luego de configurar e inicializar la adquisición, la cámara envía la información a los buffers internos para realizar las acciones de procesamiento y visualización, para ello se define la acción de grabación Grab para la adquirir información de video continuamente a alta velocidad. La figura 64, ilustra el diagrama de flujo que describe el proceso de programación para captura en modo Grabo adquisición continua de video, y en la figura 63, se muestra un ejemplo de flujo de adquisición de imagen continua en LabVIEW™.

## 6.4. Descripción gráfica de rutas

Siendo la descripción gráfica de rutas del móvil, en ambientes de dos dimensiones, el objetivo final de esta etapa del proyecto, es necesario acondicionar las señales de los sensores implementados en el móvil para describir la ruta que cursa en un ambiente virtual por medio de gráficas e indicadores. Para tal fin es necesario identificar los trazos que compondrán el mapa final del ambiente donde se desenvuelve el móvil. El primer trazo es el *que describe la ruta del robot, y sirve de base para graficar y el Segundo trazo comprende la detección de obstáculos en el terreno.*

Para generar el primer trazo correspondiente a la ruta del móvil, se utiliza el modelamiento odométrico para una plataforma con movilidad tipo diferencial. La odometría es el estudio de la estimación de la posición de vehículos con ruedas durante la navegación, para realizar esta estimación se usa información sobre la rotación de las ruedas para evaluar cambios en la posición a lo largo del tiempo, lo que requiere modelar el movimiento cinemático del sistema de movilidad escogido, y posteriormente definir las variables requeridas para graficar la ruta del móvil.

### 6.4.1. Localización odométrica

Se denomina odometría al estudio de la estimación de la posición de vehículos con ruedas durante la navegación. Para realizar esta estimación se usa información sobre la rotación de las ruedas a lo largo del tiempo. Este término también suele usarse para referirse a la distancia que se ha recorrido.

Los robots móviles usan la odometría para estimar (y no determinar) su posición relativa a su localización inicial. La odometría proporciona una buena precisión a corto plazo, permite tasas de muestreo muy altas. Sin embargo, la idea fundamental de la odometría es la integración de información incremental del movimiento a lo largo del tiempo lo cual conlleva una inevitable acumulación de errores. En concreto, la acumulación de errores de orientación además de grandes errores en la estimación de la posición los cuales van aumentando proporcionalmente con la distancia recorrida por el robot.

A pesar de estas limitaciones, muchos investigadores están de acuerdo en que la odometría es una parte importante del sistema de navegación y que debe usarse con medidas del posicionamiento absolutas para proporcionar una estimación de la posición más fiable. La odometría se basa en ecuaciones simples que se pueden implementar fácilmente y que utilizan datos de encoders situados en las ruedas del robot. Sin embargo, la odometría también está basada en la suposición de que las revoluciones de las ruedas pueden ser traducidas en un desplazamiento lineal relativo al suelo, suposición que no tiene una validez absoluta.

Al ser una aproximación a lo que es estimar la ruta del móvil en un espacio cerrado controlado con terrenos llanos sin depresiones, se parte del modelamiento cinemático de una plataforma diferencial, con lo cual se pretende obtener las variables que me definen el comportamiento odométrico

#### 6.4.2. Modelamiento cinemático del sistema diferencial

En la configuración diferencial solo son posibles las rotaciones alrededor del punto central del eje de ruedas y las traslaciones en la dirección longitudinal del móvil como se muestra en la figura 65. Sin embargo, combinando estos movimientos, es posible llevar las rotaciones del móvil alrededor de cualquier punto situado en la línea que contiene el eje de ruedas, llamado Centro de Rotación Instantáneo (IRC)[23].

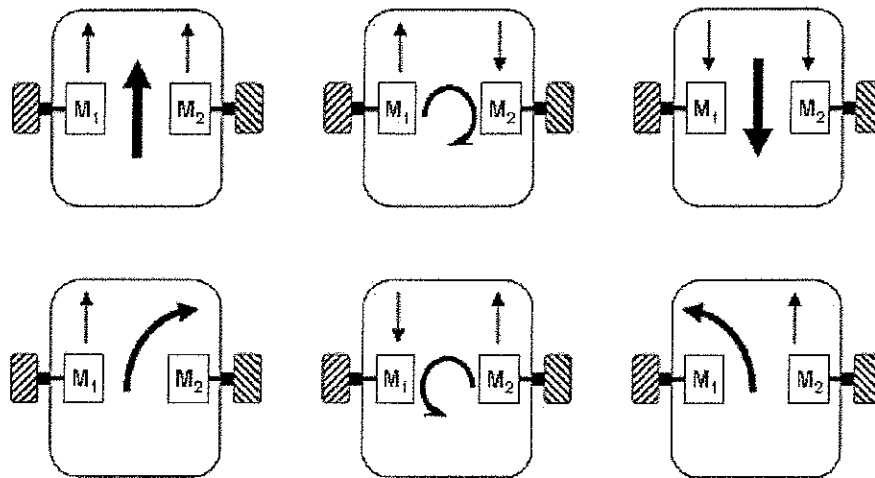


Figura 65. Giros de plataforma diferencial.  
FUENTE: [23].

El IRC es la distancia entre el punto de intersección de cada línea imaginaria trazada desde los ejes de las ruedas motoras, y definida por el sistema de coordenadas:

$$IRC = (x - R \sin \theta, y + R \cos \theta) \quad (9)$$

En la ecuación 9,  $R$  es el radio de curvatura instantáneo de la trayectoria del móvil y relativo al punto medio del eje de las ruedas motoras, y  $\theta$  el ángulo de orientación de la plataforma en el espacio.

Si el móvil se desplaza en línea recta, el radio de curvatura instantáneo tiende a infinito, y si el radio de curvatura instantáneo es cero, puede afirmarse que el robot está girando sobre su centro de giro. Generalizando estos casos, se puede encontrar que los radios de curvatura de trayectoria para cada rueda están dados por  $R + \frac{L}{2}$ , tanto para la rueda izquierda como para la derecha

Haciendo el IRC variable a lo largo del tiempo, es posible describir cualquier tipo de trayectoria plana. Así, considerando que en un instante dado un móvil describe una rotación alrededor de un punto arbitrario IRC, la cinemática de su movimiento puede ser descrita a partir de las ecuaciones 10 y 11, donde  $\omega$  es la velocidad angular,  $v$  la velocidad lineal del móvil,  $R$  el radio de curvatura y  $v_L$  y  $v_R$  las velocidades de las ruedas motoras. Nótese que la velocidad angular de cualquier punto del móvil es igual en cualquier instante.

$$\omega(t) = \frac{v_R(t)}{R+L/2} = \frac{v_L(t)}{R-L/2} \quad (10)$$

$$v(t) = R * \omega(t) \quad (11)$$

En la figura 66 se describe de manera gráfica las variables que componen el modelamiento cinemático de una plataforma diferencial con respecto a un punto de referencia en el plano cartesiano.

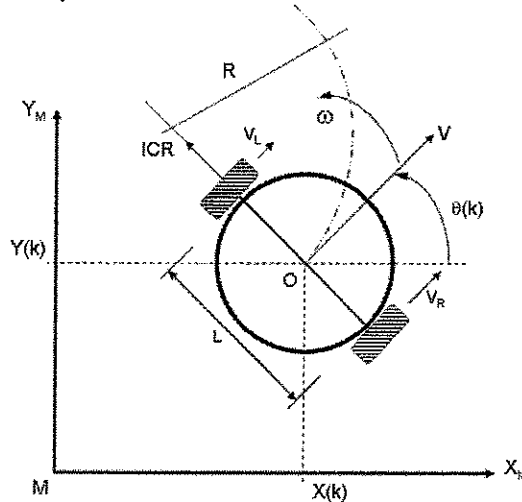


Figura 66. Esquema de la plataforma diferencial en el espacio.  
FUENTE: [23].

A partir de las ecuaciones 10 y 11, se pueden deducir las ecuaciones 12, 13 y 14 que relacionan las velocidades angulares y lineales de la plataforma con las velocidades lineales de las respectivas ruedas motoras:

$$\omega(t) = \frac{v_R(t) - v_L(t)}{L} \quad (12)$$

$$v(t) = \frac{v_R(t) + v_L(t)}{2} \quad (13)$$

$$R = \frac{L(v_R(t) + v_L(t))}{R(v_R(t) - v_L(t))} \quad (14)$$

La configuración de desplazamiento sobre el plano para un móvil, está dada por:

$$\bar{X} = [x, y, \phi] \quad (15)$$

Donde el vector configuración  $X$  contiene los tres valores necesarios para definir la localización completa del móvil en el plano referencia, esto es, su posición en las direcciones  $X$  y  $Y$ , y su orientación  $\phi$  en el plano bidimensional. Con base en lo anterior, puede plantearse un modelo cinemático inicial, referenciado en el mismo móvil:

$$v(t) = \frac{v_R(t) + v_L(t)}{2} = \frac{r(\omega_R(t) + \omega_L(t))}{2} \quad (16)$$

En la ecuación anterior,  $r$  es el radio nominal de cada rueda y  $\omega_L$ ,  $\omega_R$  son las velocidades angulares de cada rueda motora.

De forma matricial el modelo se presenta de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} v_x(t) \\ v_y(t) \\ \dot{\theta}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r/2 & r/2 \\ 0 & 0 \\ r/L & -r/L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_R(t) \\ \omega_L(t) \end{bmatrix} \quad (17)$$

Este primer modelo es utilizado para analizar el comportamiento de la plataforma bajo sus propias condiciones, pero es inútil para la planificación de trayectorias o sistemas de navegación inteligentes aplicables a robots móviles autónomos, debido a que se requieren sistemas de navegación inercial que acompañen el modelo cinemático de la plataforma. Este problema se soluciona fácilmente con un modelo cinemático del móvil y una base referencial en el espacio, es decir, con un punto de referencia espacial conocido. Este nuevo modelo cinemático, basado en el presentado anteriormente, se define mediante las ecuaciones 18, 19 y 20:

$$\dot{x}(t) = v(t) \cos(\theta(t)) \quad (18)$$

$$\dot{y}(t) = v(t) \sen(\theta(t)) \quad (19)$$

$$\dot{\theta}(t) = \omega(t) \quad (20)$$

Con base en las ecuaciones anteriores puede realizarse una integración del sistema de ecuaciones para obtener la posición y orientación en cualquier instante del tiempo.

$$x(t) = \int_0^t v(t) \cos(\theta(t)) dt \quad (21)$$

$$y(t) = \int_0^t v(t) \sen(\theta(t)) dt \quad (22)$$

$$\theta(t) = \int_0^t \omega(t) dt \quad (23)$$

Teniendo estas ecuaciones, se obtiene el modelo matricial del sistema:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{y}(t) \\ \dot{\theta}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta(t)) & 0 \\ \text{sen}(\theta(t)) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} \quad (24)$$

$$\dot{x}(t) = \frac{v_R(t)+v_L(t)}{2} \cos(\theta(t)) \quad (25)$$

$$\dot{y}(t) = \frac{v_R(t)+v_L(t)}{2} \text{sen}(\theta(t)) \quad (26)$$

$$\dot{\theta}(t) = \frac{v_R(t)-v_L(t)}{L} \quad (27)$$

Realizando una desratización del modelo continuo para  $t \geq tk$ , para estimar y determinar la posición se plantean las ecuaciones 18, 29 y 30:

$$x(t) = \int_{t_k}^t \frac{v_R(t)+v_L(t)}{2} \cos(\theta(t)) dt \quad (28)$$

$$y(t) = \int_{t_k}^t \frac{v_R(t)+v_L(t)}{2} \text{sen}(\theta(t)) dt \quad (29)$$

$$\theta(t) = \int_{t_k}^t \frac{v_R(t)-v_L(t)}{L} dt \quad (30)$$

#### 6.4.3. Generación del trazo de la ruta del móvil

A partir del modelamiento odométrico se identifican las variables necesarias para calcular la estimación de la posición de la plataforma móvil. Por medio de los encoders se puede determinar la velocidad con la cual se desplaza la plataforma para cada par de ruedas motoras, y el compás magnético proporciona el ángulo de dirección con respecto al norte magnético, por esta razón se dispensa de la ecuación que calcula el ángulo y se toma directamente los datos obtenidos del tiempo real por el compás.

Para construir el trazo de la ruta generada por el móvil se utilizan los datos proporcionados por el compás magnético y los encoders, los cuales representan los grados de desviación con respecto al norte magnético (siendo 0 grados el norte, 90 grados Oriente, 180 grados Sur y 270 grados el Este), y la velocidad con la que se mueve el móvil. Antes de comenzar a describir la ruta es necesario identificar el tipo de gráfica donde se construirán los trazos y cuál será el punto de referencia. Se define que los encoders proporcionarán la magnitud del vector, cuyo valor es integrado en el dominio del tiempo continuo, para obtener la magnitud del Vector Distancia, y el compás magnético

Teniendo estas ecuaciones, se obtiene el modelo matricial del sistema:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{y}(t) \\ \dot{\theta}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta(t)) & 0 \\ \sin(\theta(t)) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} \quad (24)$$

$$\dot{x}(t) = \frac{v_R(t)+v_L(t)}{2} \cos(\theta(t)) \quad (25)$$

$$\dot{y}(t) = \frac{v_R(t)+v_L(t)}{2} \sin(\theta(t)) \quad (26)$$

$$\dot{\theta}(t) = \frac{v_R(t)-v_L(t)}{L} \quad (27)$$

Realizando una desratización del modelo continuo para  $t \geq tk$ , para estimar y determinar la posición se plantean las ecuaciones 18, 29 y 30:

$$x(t) = \int_{t_k}^t \frac{v_R(t)+v_L(t)}{2} \cos(\theta(t)) dt \quad (28)$$

$$y(t) = \int_{t_k}^t \frac{v_R(t)+v_L(t)}{2} \sin(\theta(t)) dt \quad (29)$$

$$\theta(t) = \int_{t_k}^t \frac{v_R(t)-v_L(t)}{L} dt \quad (30)$$

#### 6.4.3. Generación del trazo de la ruta del móvil

A partir del modelamiento odométrico se identifican las variables necesarias para calcular la estimación de la posición de la plataforma móvil. Por medio de los encoders se puede determinar la velocidad con la cual se desplaza la plataforma para cada par de ruedas motoras, y el compás magnético proporciona el ángulo de dirección con respecto al norte magnético, por esta razón se dispensa de la ecuación que calcula el ángulo y se toma directamente los datos obtenidos del tiempo real por el compás.

Para construir el trazo de la ruta generada por el móvil se utilizan los datos proporcionados por el compás magnético y los encoders, los cuales representan los grados de desviación con respecto al norte magnético (siendo 0 grados el norte, 90 grados Oriente, 180 grados Sur y 270 grados el Este), y la velocidad con la que se mueve el móvil. Antes de comenzar a describir la ruta es necesario identificar el tipo de gráfica donde se construirán los trazos y cuál será el punto de referencia. Se define que los encoders proporcionarán la magnitud del vector, cuyo valor es integrado en el dominio del tiempo continuo, para obtener la magnitud del Vector Distancia, y el compás magnético

suministrará el grado de inclinación que tiene el vector, es decir, la pendiente del vector cuyo origen será el centro del móvil. La gráfica escogida para generar los trazos de la distancia y los obstáculos es un Plano Cartesiano XY.

Utilizando las ecuaciones generadas del análisis cinemático del móvil con configuración diferencial, se adecua un subVI en LabVIEW™ mostrado en la figura 67, el cual se encarga de adquirir los datos de los dos encoders y del compás magnético para generar el trazo de la ruta del móvil.

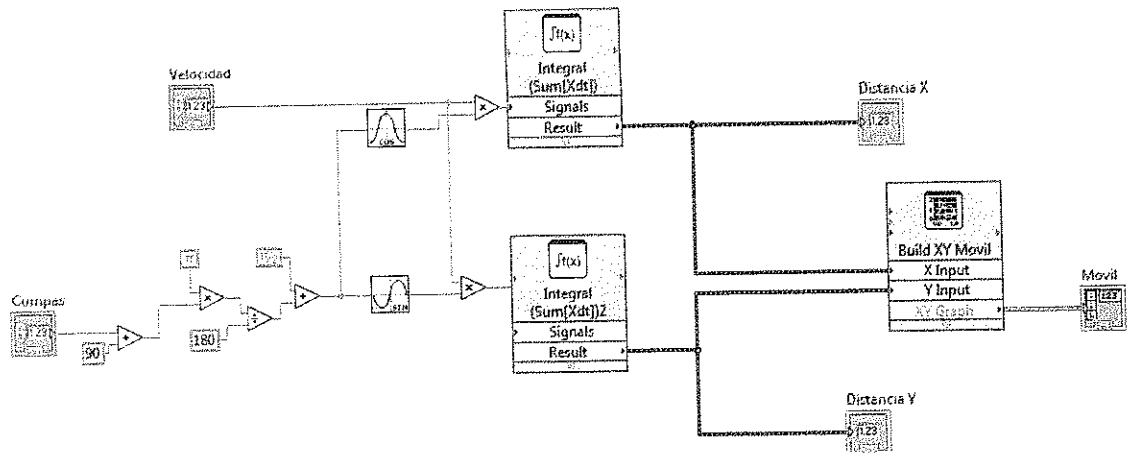


Figura 67. SubVI para generar los datos para graficar a partir del modelamiento odométrico. FUENTE: [23].

Para probar el acondicionamiento realizado, se construyó una interfaz en LabVIEW™, la cual permite observar el comportamiento de la gráfica a medida que se modifica el ángulo del compás magnético y de la velocidad del móvil como se muestra en la figura 68.

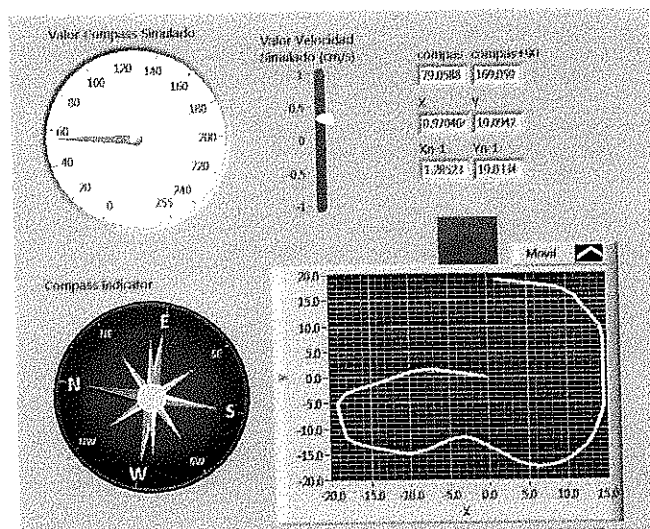


Figura 68. Interfaz de prueba para trazado de la ruta en LabVIEW™. FUENTE: Autores

#### 6.4.4. Generación del trazo de los obstáculos del ambiente del móvil

Para generar el segundo trazo, el cual corresponde a la ubicación en el plano, los obstáculos que pueda encontrar el móvil, se utiliza un segundo par de señales que correspondan a las componentes  $X_U$  y  $Y_U$  del objeto en el plano con respecto al móvil descritos en las ecuaciones 39 y 41. En este caso se tendrán dos trazos, uno para los obstáculos que el móvil detecte en su parte anterior, y el segundo para los obstáculos detectados en la parte posterior del móvil. Para graficar el segundo trazo, se dispone del valor de los ultrasonidos, así como también del trazo generado para el móvil utilizando el compás magnético y los encoders. En la figura 69, se muestra un esquema de los puntos necesarios para graficar los dos trazos y su distribución en el plano.

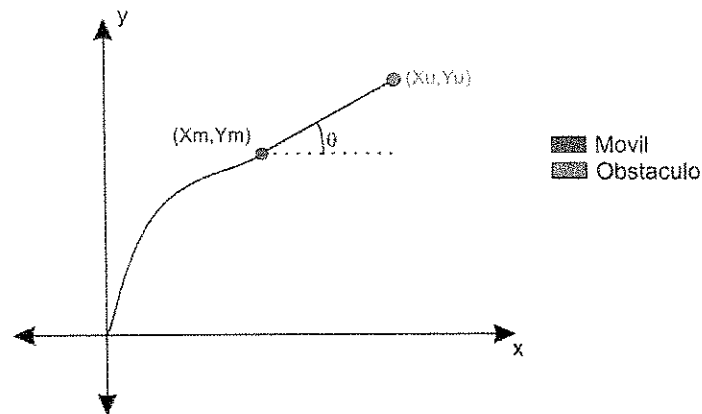


Figura 69. Plano con los dos puntos correspondientes al móvil y al obstáculo detectado.  
FUENTE: Autores

El trazo se genera al conocer los puntos  $X_U$  (ecuación 41) y  $Y_U$  (ecuación 39) descritos en las ecuaciones 39 y 41, que corresponden a la distancia que indican los ultrasonidos con respecto al punto de posicionamiento del móvil. Para esto se hace uso de dos ecuaciones que relaciona los dos puntos uno correspondiente a la posición del móvil en el plano y el otro a la posición del obstáculo en el plano con respecto al móvil, la distancia entre estos dos puntos que se representa por la ecuación 31 y la pendiente de la recta que se genera entre estos dos puntos representada en la ecuación 32:

$$d = \sqrt{(x_U - x_M)^2 + (y_U - y_M)^2} \quad (31)$$

$$m = \frac{y_U - y_M}{x_U - x_M} \quad (32)$$

Donde  $x_U$  es la componente en el eje  $x$  del ultrasonido y  $y_U$  es la componente en el eje  $y$  y los cuales son los términos que se deben hallar para conocer la posición del obstáculo con respecto al móvil,  $x_M$  es la componente en el eje  $x$  del móvil y  $y_M$  es la componente en el eje  $y$  y  $m$  es la pendiente del trazo generado entre estos dos puntos. La pendiente se relaciona con el ángulo de inclinación por la ecuación 33:

$$\tan \theta = m \quad (33)$$

A partir de las ecuaciones 31 y 32, se despejan los valores de los puntos coordenados correspondientes al obstáculo detectado por el ultrasonido:

$$x_U - x_M = \frac{y_U - y_M}{m} \quad (34)$$

$$d^2 = (x_U - x_M)^2 + (y_U - y_M)^2 \quad (35)$$

$$d^2 = \left(\frac{y_U - y_M}{m}\right)^2 + (y_U - y_M)^2 \quad (36)$$

$$d^2 = (y_U - y_M)^2 \left(\left(\frac{1}{m}\right)^2 + 1\right) \quad (37)$$

$$(y_U - y_M)^2 = \frac{d^2}{\left(\frac{1}{m}\right)^2 + 1} \quad (38)$$

$$y_U = \frac{d}{\sqrt{\left(\frac{1}{m}\right)^2 + 1}} + y_M \quad (39)$$

$$x_U - x_M = \frac{\frac{d}{\sqrt{\left(\frac{1}{m}\right)^2 + 1}} + y_M - y_M}{m} \quad (40)$$

$$x_U = \frac{d}{m\sqrt{\left(\frac{1}{m}\right)^2 + 1}} + x_M \quad (41)$$

A partir de las ecuaciones 39 y 40 se genera el trazo para el primer ultrasonido, es necesario tener en cuenta que cuando se encuentre entre en los cuadrantes tres y cuatro del plano cartesiano (entre los ángulos 180 y 360) la magnitud del ultrasonido debe ser multiplicada por menos uno, para cubrir todo el rango de valores en el plano dependiendo del grado de inclinación otorgado por el compás. Para el segundo trazo del ultrasonido que se ubica en la parte posterior del móvil, la magnitud de la medida del ultrasonido debe ser negativa, ya que esta debe tener el sentido contrario a la del desplazamiento del móvil, lo cual describe los obstáculos medidos con respecto a su parte posterior. Para evitar que medidas erróneas sean graficadas al detectar los obstáculos, se define que si el objeto es medido a más de 50 cm no sea graficado.

En la figura 70 se muestra el SubVI generado que comprende el proceso de graficación de la ruta del móvil y de los obstáculos.

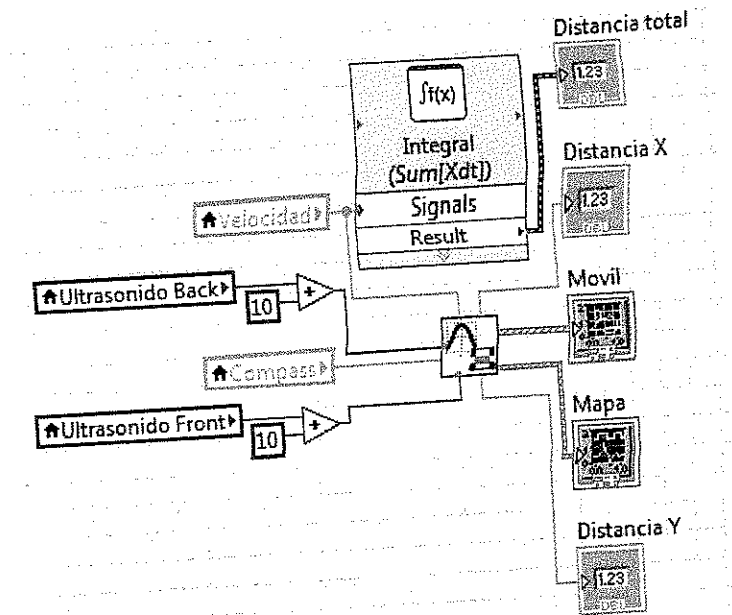


Figura 70. subVI generado para las gráficas de ruta del móvil y obstáculos en LabVIEW™.  
FUENTE: Autores

#### 6.4.5. Fuentes de error en la odometría

Los sistemas odométricos se basan en la integración de la información de los movimientos incrementales de los vehículos; ellos originan acumulaciones de pequeños errores que pueden ser fuentes de equivocación en la localización en el espacio de un vehículo. Dichos errores pueden ser clasificados en sistemáticos y no sistemáticos.

Los errores sistemáticos son ocasionados por el propio sistema, con una contribución directa sobre el error total, ya que constantemente son de naturaleza aditiva. Los errores no sistemáticos son caracterizados por la relación del robot con el medio ambiente en el cual interactúa; dependiendo de la naturaleza de esta relación, pueden ser considerados como los errores dominantes. Analizando los errores presentados en los sistemas odométricos como el que se presenta en la figura 71 se observa un sistema diferencial de ruedas a través de una trayectoria completamente lineal y una perturbación sobre una de ellas. El sistema registrará el desplazamiento de la ruedas sin tener en cuenta la perturbación (por ejemplo, un hundimiento del suelo), es decir, como una trayectoria recta; no obstante, la realidad es que cuando la rueda alcance la perturbación cambiará su velocidad y el vehículo tendrá otro sentido en su movimiento. Este tipo de error puede ser tenido en cuenta en un análisis del modelo odométrico, incluyendo el modelo cinemático generado para un sistema, que pueda ser controlado para corregir la trayectoria.[24]

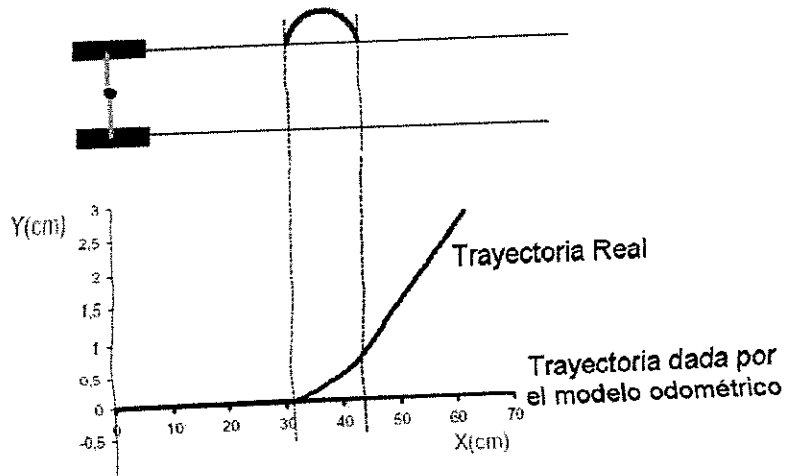


Figura 71. Un error presentado con sistemas odométricos.  
FUENTE: [23].

#### 6.4.6. Escalización:

Es importante que la gráfica que se genera a partir de la ruta del móvil y los trazos de los obstáculos detectados, presente las unidades adecuadas para su fácil y eficaz interpretación. Las unidades con las cuales se trabajan la velocidad, la distancia recorrida por el móvil y la distancia de los obstáculos están definidas en centímetros. En la figura 72 se muestra un trazo generado por el móvil, en este se puede observar que los valores de las escalas corresponden a una segmentación en centímetros, se ha adecuado una cuadrícula fija en el plano de la gráfica la cual corresponde a un área de 2000 cm x 2000 cm (20 m x 20 m), lo que permite observar la evolución del trazo de manera más sencilla al igual que cubrir una amplia proporción de terreno al describir la ruta del móvil.

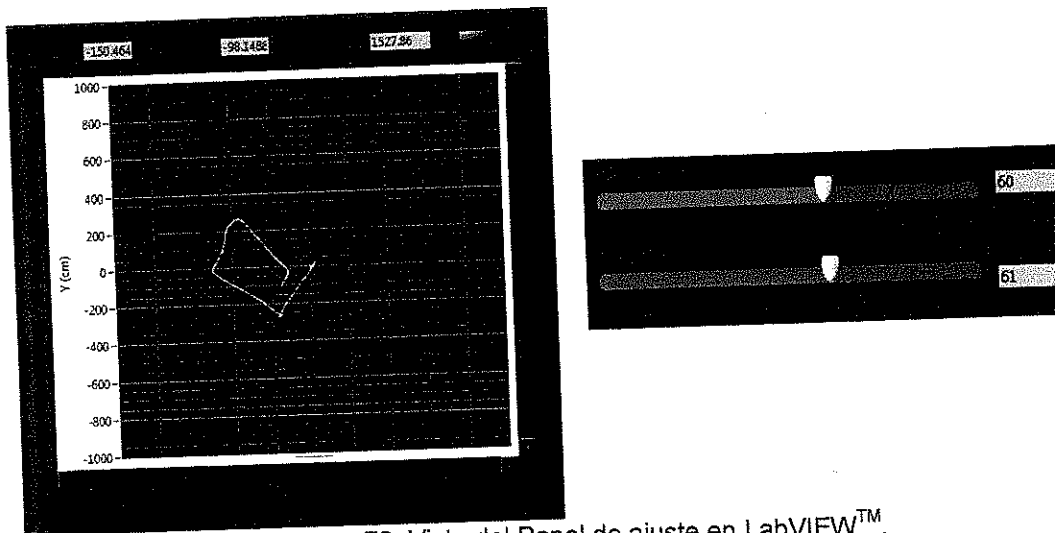


Figura 72. Vista del Panel de ajuste en LabVIEW™.  
FUENTE: Autores.

## 6.5. Interfaz Gráfica de Usuario:

La interfaz de usuario es la herramienta por la cual el operador es capaz de monitorear las actividades del móvil por medio de indicadores que reflejan de manera gráfica los valores de los sensores dispuestos en el móvil, así como, la información derivada como en este caso, las gráficas de la ruta del móvil y la adquisición de imágenes del medio. Para el diseño se implementaron dos paneles, correspondientes a tres procesos importantes para el desempeño del móvil y la supervisión del mismo:

### 6.5.1. Panel de ajuste

Para asegurar un correcto funcionamiento del sistema y que la información suministrada al operador sea verídica, se dispuso un panel de ajuste en el cual se muestra la información referente a dispositivos como el joystick, la cámara inalámbrica y la comunicación entre el vehículo y la estación como el que se muestra en la figura 73.

Los valores del joystick o del control son mostrados de manera gráfica, donde se presentan al operario las características del dispositivo manual como: el nombre del dispositivo, número de ejes y su valor, número de pulsadores y el valor inicial de las coordenadas X, Y, Z. El ajuste de los parámetros del joystick se realiza por medio de dos controles deslizantes tanto para el eje x como para el eje y, ubicados en la parte posterior del dispositivo. En el caso del control inalámbrico el ajuste no aplica ya que los valores de sus ejes son predeterminados.

Se dispuso de una gráfica cartesiana XY en la cual es posible visualizar un punto que indica el valor en el que se encuentra el joystick o una palanca del control inalámbrico en el momento de establecer sus parámetros iniciales antes de empezar a trabajar con el sistema. Mientras que el punto se encuentre visualizado en la gráfica, se garantiza que el sistema opera entre valores ideales y no existan problemas en la concordancia de los datos. Una vez que se encuentren tanto el valor del eje X y del eje Y en el punto de operación, se debe habilitar el envío por parte del joystick de los datos asignados en la caracterización y del control inalámbrico, de lo contrario se enviara un cero al buffer serial de escritura, esto evita que mientras se ajusta el valor de operación del joystick, el móvil adquiera movimiento por datos erróneos correspondientes al ajuste. Además se dispone de un switch que permite seleccionar el dispositivo de manipulación con el cual se quiera trabajar, ya sea con el joystick o con el control inalámbrico.

Para los parámetros la comunicación, se disponen tres controles que determinan los parámetros del número del puerto al cual va conectado el dispositivo receptor MaxStream, la velocidad de comunicación asincrónica

(Baudrate) que por defecto se determina de 9600 y el tiempo en el cual debe ejecutarse cada iteración del programa para obtener los datos de los sensores, también se cuenta con indicadores numéricos que muestran al operario características como la cabecera y el tráiler de la trama obtenida de los sensores y el contenido de la trama, así como también el dato enviado al móvil compuesto por bits que se condicionan dependiendo de la posición del joystick o de la palanca del control inalámbrico.

Para los parámetros la cámara se dispone un solo control el cual determina el dispositivo para la adquisición de video que se quiere utilizar, en este caso el dispositivo identificado con el numero 0 hace referencia a la cámara web conectada al computador, y el dispositivo identificado con el numero 1 hace referencia a la cámara que está dispuesta en el móvil. En cuanto a los indicadores de la cámara se dispusieron cuatro los cuales hacen referencia al nombre del dispositivo, al tipo de imagen obtenida por la cámara y la resolución con la que es entregada.

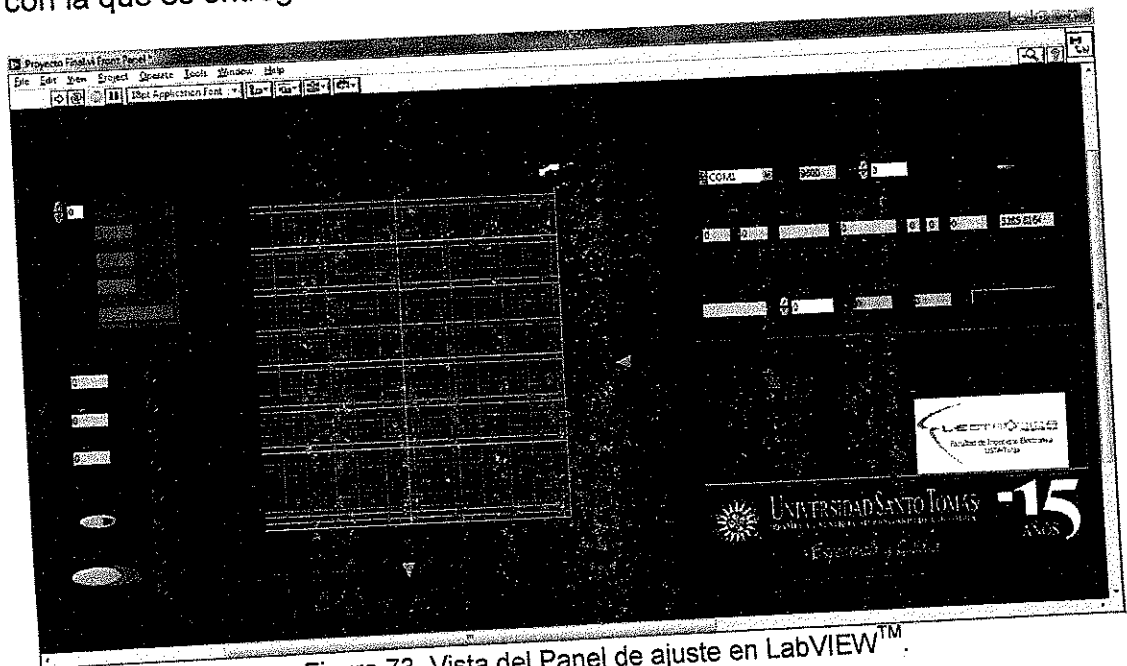


Figura 73. Vista del Panel de ajuste en LabVIEW™  
FUENTE: Autores.

### 6.5.2. Panel de Instrumentación

En el panel de instrumentación se le permite al operador monitorear los datos enviados de los sensores desde móvil por medio de diferentes indicadores que están dispuestos de manera que el operador concentre su atención en las imágenes adquiridas por la cámara, sin dejar de lado la supervisión de las demás variables de tal forma que sea fácil su lectura sin desviar la atención del resto de procesos.

Partiendo de la idea anterior se definen varios tipos de indicador para los datos que son enviados y recibidos del móvil.

- a. Indicadores de Monitoreo: Indicadores que visualizan las variables de orientación del móvil (Compás magnético), la distancia a la cual se encuentra de los objetos (Ultrasonidos), vibración de la plataforma con respecto a los tres ejes coordenados (Acelerómetro) y velocidad del móvil (Encoders).
- b. Indicadores de Operación: Indicadores que visualizan las instrucciones del operador a transmitir hacia el móvil, esta sección comprende dos arreglos de LEDs que visualizan la dirección y la velocidad con la que se indica el comportamiento de los motores de cada lado del móvil.
- c. Visualización de video: se realiza en tiempo real, lo cual le permite al operador observar el terreno por el cual se está desplazando en móvil, otorgando datos más exactos de la descripción del entorno y de las condiciones del mismo.

Además, en este panel se dispone de la gráfica XY que muestra el trazo de la ruta del móvil y los obstáculos que encuentra en el terreno por donde se desplaza.

En la figura 74, se observa el panel de visualización y monitoreo con cada uno de los indicadores anteriormente mencionados.

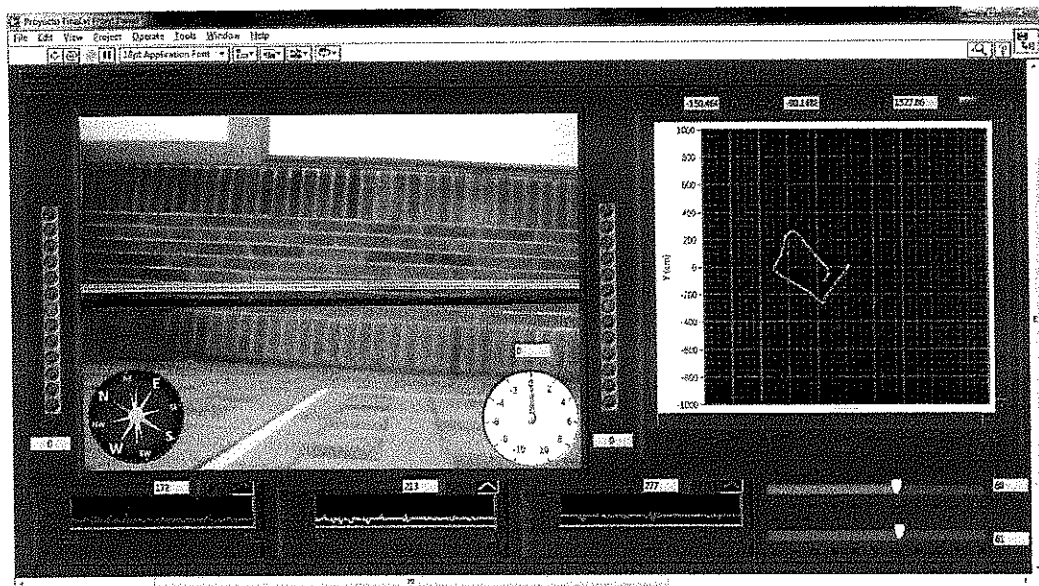


Figura 74. Vista del Panel de instrumentación en LabVIEW™.  
FUENTE: Autores.

El primer paso necesario para ejecutar la interfaz es ajustar los valores de operación de cada uno de los componentes conectados al sistema (el joystick o el control inalámbrico, la cámara, y la comunicación serial), una vez estén en el punto de operación se da paso a la visualización de los datos y a la descripción grafica de la ruta en los siguientes paneles descritos anteriormente. En la figura 75 se muestra el diagrama de flujo de la interfaz gráfica desarrollada en LabVIEW™.

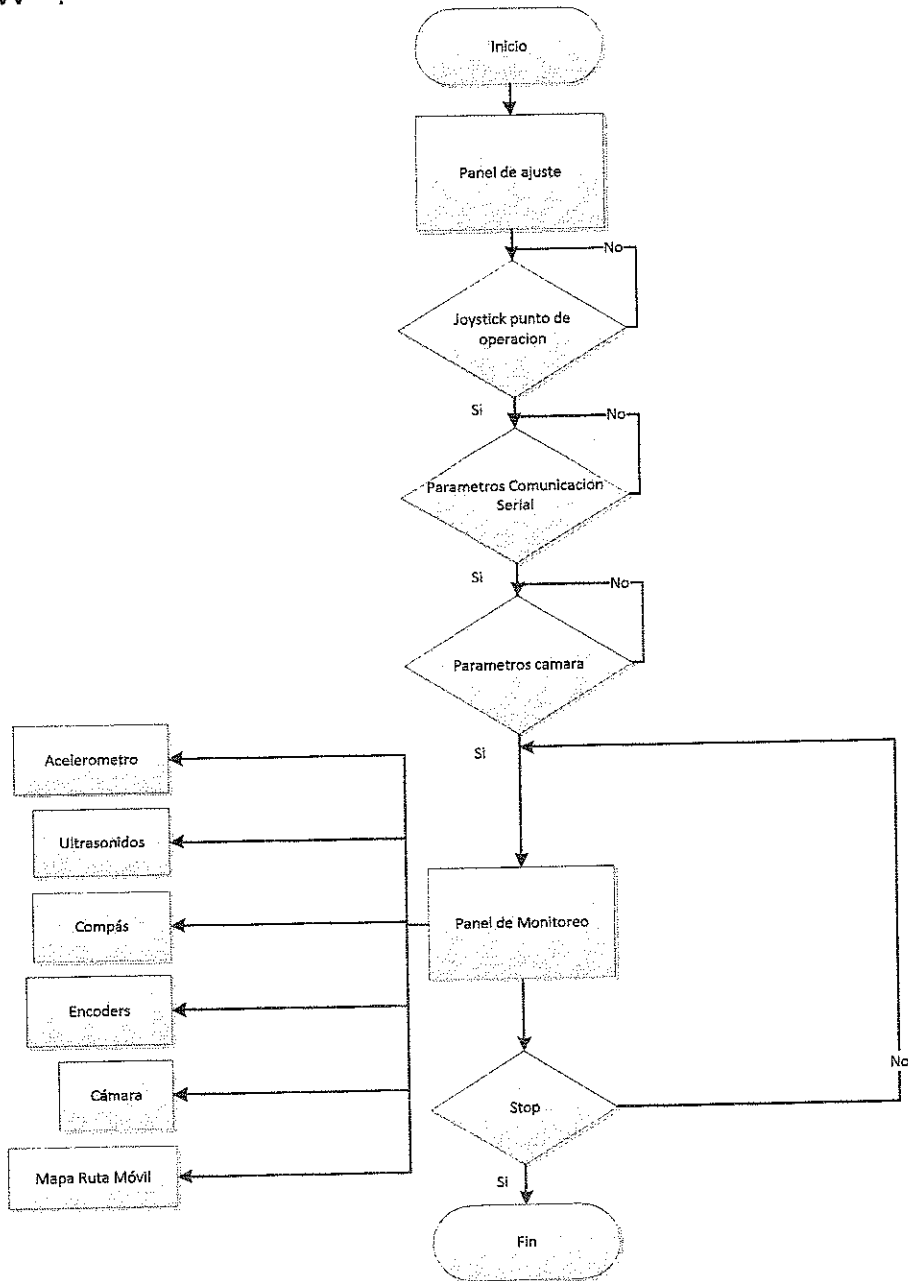


Figura 75. Diagrama de Flujo de las funciones desempeñadas por la Interfaz Gráfica de Usuario en LabVIEW™.

FUENTE: Autores.

## 7. EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO Y RESPUESTA DEL SISTEMA

El sistema final desarrollado comprende el móvil desarrollado para movilidad en terrenos llanos y una base de monitoreo que permite observar la información de los diferentes sensores mencionados con anterioridad, también permite el envío de información para el control del móvil. El esquema general del proyecto se puede observar en la figura 76 en forma de diagrama de bloques, así como también en la figura 77 los dispositivos físicos que pertenecen tanto a la estación de monitoreo como a la plataforma móvil.

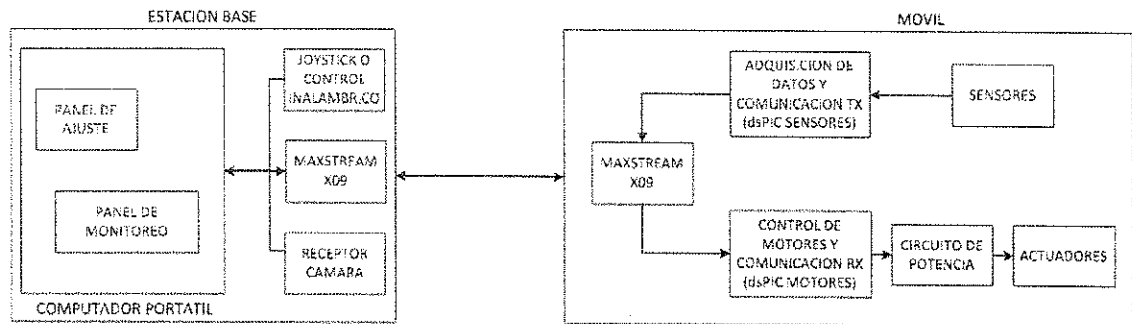


Figura 76. Diagrama de bloques del desarrollo del proyecto.  
FUENTE: Autores.



Figura 77. Componentes físicos que hacen parte del prototipo del sistema teleoperado.  
FUENTE: Autores.

Para evaluar el sistema y determinar su eficacia a la hora de adquirir la información de los sensores, así como también la respuesta del móvil a las órdenes del operador, se utilizó el Laboratorio C de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás Tunja el cual puede ser observado en la figura 78, se dispuso de diferentes marcas que formaban un cuadrado con una dimensión de 3,16 m x 4,44 m, esto con el fin de marcar una ruta la cual debe ser seguida por el móvil y comparada con el trazo generado virtualmente en LabVIEW™.

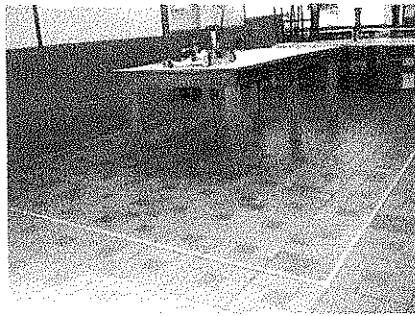


Figura 78. Espacio de trabajo y grafica de la ruta obtenida en LabVIEW™.  
FUENTE: Autores.

Como primera prueba se realizó la descripción de una línea recta como ruta del móvil. La distancia real recorrida por este se compara con el dato que se genera en el programa y con la gráfica que muestra la ruta, los resultados obtenidos de muestran en la tabla 18 y en la figura 79 se observa el espacio de trabajo y el rango de distancia utilizado para tomar los datos.

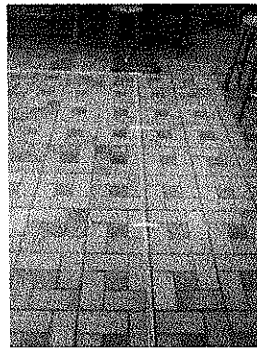


Figura 79. Espacio de trabajo de los datos tomados.  
FUENTE: Autores.

Medición Realizada	Dato Metro	Dato LabVIEW	Error Absoluto	Error Relativo
1	2.03	2.13	-0.1000	4.93%
2	2.11	2.18	-0.0700	3.32%
3	2.09	2.11	-0.0200	0.96%
4	1.96	1.88	0.0800	4.08%
5	2.1	2.26	-0.1600	7.62%
6	2.02	2.14	-0.1200	5.94%
7	2.18	2.19	-0.0100	0.46%
8	2.11	2.18	-0.0700	3.32%
9	2.2	2.3	-0.1000	4.55%
10	2.06	2.17	-0.1100	5.34%
11	2.1	2.1	0.0000	0.00%
12	2	1.84	0.1600	8.00%
13	2.11	2.06	0.0500	2.37%
14	2.24	2.26	-0.0200	0.89%

Medición Realizada	Dato Metro	Dato LabVIEW	Error Absoluto	Error Relativo
15	2.12	2.18	-0.0600	2.83%
16	2.14	2.26	-0.1200	5.61%
17	2.2	2.23	-0.0300	1.36%
18	1.96	1.89	0.0700	3.57%
19	2.03	2.05	-0.0200	0.99%
20	2.03	2.06	-0.0300	1.48%
21	2.04	2.12	-0.0800	3.92%
22	2.18	2.33	-0.1500	6.88%
23	2.2	2.2	0.0000	0.00%
24	2.2	2.22	-0.0200	0.91%
25	1.11	1.23	-0.1200	10.81%
26	1.13	1.25	-0.1200	10.62%
27	1.11	1.11	0.0000	0.00%

Medición Realizada	Dato Metro	Dato LabVIEW	Error Absoluto	Error Relativo
28	1.22	1.27	-0.0500	4.10%
29	0.91	0.89	0.0200	2.20%
30	1.08	1.16	-0.0800	7.41%
31	1.1	1.12	-0.0200	1.82%
32	1.19	1.12	0.0700	5.88%
33	1.03	1.04	-0.0100	0.97%
34	1.14	1.18	-0.0400	3.51%
35	1.1	1.07	0.0300	2.73%
36	1.17	1.13	0.0400	3.42%
37	1.11	1.2	-0.0900	8.11%
38	1.11	1.2	-0.0900	8.11%
39	1.17	1.21	-0.0400	3.42%
40	1.09	1.09	0.0000	0.00%
41	1	1.02	-0.0200	2.00%
42	1.01	1.19	-0.1800	17.82%

Medición Realizada	Dato Metro	Dato LabVIEW	Error Absoluto	Error Relativo
43	1.29	1.4	-0.1100	8.53%
44	0.88	0.98	-0.1000	11.36%
45	0.9	0.92	-0.0200	2.22%
46	1.08	1.09	-0.0100	0.93%
47	1.11	1.18	-0.0700	6.31%
48	1.12	1.12	0.0000	0.00%
49	1.12	1.18	-0.0600	5.36%
50	1.15	1.24	-0.0900	7.83%
51	3.86	4.11	-0.2500	6.48%
52	3.16	3.28	-0.1200	3.80%
53	3.56	3.62	-0.0600	1.69%
54	3.16	3.05	0.1100	3.48%
55	3.16	3.22	-0.0600	1.90%
56	3.21	3.38	-0.1700	5.30%
57	3.2	3.31	-0.1100	3.44%
58	3.22	3.26	-0.0400	1.24%

Tabla 18. Comparación de datos de distancia con sus respectivos errores.

En la tabla 18, se tomaron datos independientes de diferentes distancias recorridas por el móvil en línea recta, a estos datos se les calculó el error absoluto y el error relativo. En la figura 80 se observan las diferentes distancias medidas de metros recorridos en el eje Y y el eje X representa a las diferentes mediciones tomadas, en un gráfico de dispersión; se analiza la ubicación los datos medidos con respecto a los datos patrón, esta grafica sirve para hacer un análisis de los datos separados entre la medida con metro (modelo) y la mostrada por LabVIEW™, en la medición 51 se encuentra el mayor error absoluto, sin embargo, este no quiere decir que sea el dato que presenta el mayor error relativo. Ya que el error relativo no depende de las unidades de medida, es posible generalizar los datos y realizar una comparación y un análisis estadístico para datos independientes.

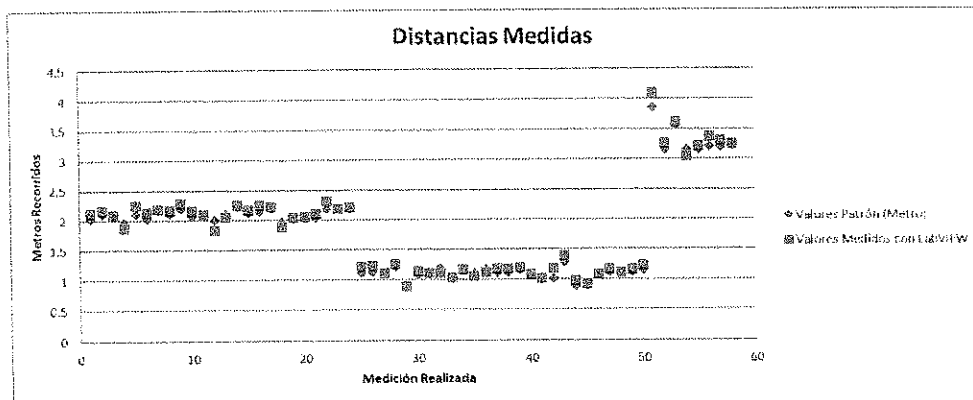


Figura 80. Gráfico de dispersión de los datos medidos en la prueba.  
FUENTE: Autores.

Después de esto se analiza el error relativo que presentan las distancias medidas, los datos obtenidos de la estadística descriptiva del análisis, se encuentran en la tabla 19, es importante destacar el cálculo de la regla de Sturges mostrada en las ecuaciones 42 y 43, propuesta por Herbert Sturges en 1926, es una regla práctica acerca del número de clases que deben considerarse al elaborarse un histograma.[25]

Este número viene dado por la siguiente expresión:

$$c = 1 + \log_2 N \quad (42)$$

Donde N es el tamaño de la muestra. La ecuación 42 puede representarse en logaritmo base 10 de la siguiente forma:

$$c = 1 + 3.322 * \log N \quad (43)$$

El valor de "c" (número de clases) es común redondearlo al entero más cercano., llamada en la tabla "k" la cual se utiliza para considerar el número de clases al realizar un histograma, con el dato "k" se aproxima el dato a un número entero, así se puede calcular el valor de cada clase utilizando el valor aproximado para dividirlo al rango, con esta información se tiene la amplitud de cada clase.

<i>Error Relativo</i>	
Media	0.04173679
Error típico	0.00454307
Mediana	0.03459256
Moda	0
Desviación estándar	0.03459897
Varianza de la muestra	0.00119709
Curtosis	3.00654769
Coficiente de asimetría	1.38330496
Rango	0.17821782
Mínimo	0
Máximo	0.17821782
Suma	2.4207341
Cuenta	58
k	6.85810779
Amplitud	0.02545969

Tabla 19. Análisis estadístico del valor del error relativo obtenido de los valores de la medición.

La tabla 20 muestra cómo se distribuyen las clases del histograma, la frecuencia con la que se encuentran los datos en cada clase, y el porcentaje acumulado de cada uno. La figura 81 representa un histograma que muestra la frecuencia con que se distribuyen los datos en cada una de las clases calculadas. Así mismo, en color rojo, se presenta una curva que indica el porcentaje acumulado de los datos asociado a las diferentes clases del histograma, donde la pendiente de la línea que indica el porcentaje acumulado, describe donde hay más concentración de datos.

Clase	Frecuencia	% acumulado
0.0000	5	8.62%
0.0255	17	37.93%
0.0509	16	65.52%
0.0764	11	84.48%
0.1018	5	93.10%
0.1273	3	98.28%
0.1528	0	98.28%
0.1782	1	100.00%

Tabla 20. Clases definidas para el análisis de los valores del error relativo.

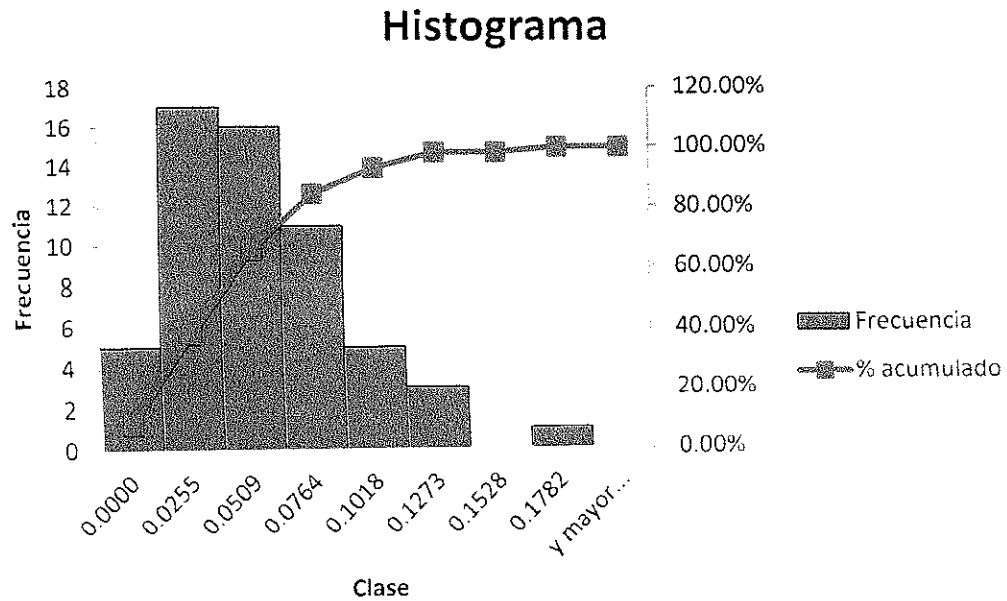


Figura 81. Histograma que muestra la distribución de los datos del error relativo de las mediciones.

FUENTE: Autores.

## 8. CONCLUSIONES

La integración de diferentes tecnologías para la construcción de este tipo de sistemas le otorga flexibilidad no solo al dispositivo en sí, sino también a los investigadores, permitiendo el uso de dispositivos que manejen diferentes protocolos de transferencia de datos, programación y comunicación, y no solo comprometerse con una sola marca de desarrollo. Además, es necesario tener especial cuidado en el formato de los datos que se manejan a través de todo el sistema, pues de esto depende la garantía de que no existan conflictos en la interpretación de la información tanto en la estación como en el móvil.

Es importante considerar la manera en cómo se proporciona la información al operador por medio de la interfaz gráfica de usuario, ya que al poseer demasiados iconos en la pantalla, se distrae la atención con mucha información, por lo tanto es necesario seleccionar adecuadamente la información más relevante para ser presentada por pantalla y concentrar la atención del operador para evitar riesgos en la operación.

De los datos obtenidos en la medición de distancias y el análisis estadístico, se puede observar que la mayor concentración de datos se encuentra en la clase dos que reúne errores desde 2.55% a 5.09%, el cual es un dato aceptable ya que no se está aplicando ningún tipo de corrección de error para el sistema odométrico, lo cual se podría hacer en una etapa posterior. Es por esto que se puede decir que el sistema desarrollado realiza un trazo de la distancia de la ruta muy aproximado al que recorre en realidad, aun sin aplicar ninguna técnica de reducción de error.

El prototipo se encuentra en una etapa que solamente se puede utilizar con fines educativos, debido al tipo de materiales empleados para su desarrollo, si se quiere implementar para ambientes industriales donde las condiciones del medio sean más complejas, se debe considerar el uso de materiales más robustos inmunes a diferentes problemas de contaminación como la polución y el ruido.

Se tomaron diferentes modelos de locomoción para probar el desempeño del móvil en terreno llano, aunque se eligió un sistema con ruedas como configuración de locomoción final ya que respondía de una manera rápida y era sensible a los cambios de velocidad que se manejan desde la estación, es necesario apoyar este tipo de diseños con disciplinas como la mecánica para lograr sistemas más funcionales y solucionar problemas en la parte física de la locomoción.

Los sensores encontrados en el sistema teleoperado pueden llegar a ser afectados por las vibraciones ocasionadas por el desplazamiento del móvil, es por esto que, se hace necesario utilizar un material que amortigüe los sensores

y así evitar interferencias en el momento que se realiza la medida de la variable.

Es necesario poner atención a la sensibilidad de los dispositivos manuales para el control de la plataforma, por que entre más sensibles, se debe tener mayor precisión en la orden que se desea enviar al móvil, por esto se requiere encontrar un equilibrio adecuado entre sensibilidad del dispositivo y precisión de manejo para que pueda ser operado por cualquier persona destinada a esta labor.

La comunicación I<sup>2</sup>C es ideal para adquirir datos de múltiples dispositivos de forma ordenada, rápida y segura, además permite la conexión de estos múltiples dispositivos por dos únicas líneas comunes de comunicación, lo que permite ahorrar cableado y espacio.

El Módulo de control de motores por PWM del dsPIC 30F4011, reduce procesos de cálculos de ciclos de trabajo, y salidas lógicas para el sentido de giro del motor.

Fue necesario realizar un acondicionamiento por software en el dsPIC Motores para prevenir la activación de movimiento de los motores cuando no se les enviaba dato para tal fin desde la estación de monitoreo.

El uso de dos fuentes de alimentación permite que se prolongue el tiempo de trabajo de la plataforma, ya que se destina una sola fuente de alimentación para el consumo de energía de los motores, así como también, la distribución de energía de la parte de control.

## 9. RECOMENDACIONES

- Alimentación

Para alimentar el sistema tele robótico hay que tener en cuenta, que existen diferentes fuentes de alimentación, la primera es la que opera el sistema digital, que comprende los microcontroladores (2 dsPICs 30F4011 y PIC 16f876A) y sensores (2 Ultrasonidos, 1 compas 1 acelerómetro y 2 encoders), donde el punto de conexión debe encontrarse cerca a los sensores de ultrasonido, esto porque son los dispositivos que requieren de mayor demanda de corriente. Del el suministro de energía del sistema digital se encarga una batería de 7.2 Voltios con un Amperaje de 2000 miliamperios. La segunda alimentación sule la parte de potencia (3 drivers L6205), donde este debe ser conectado en el tercer driver (encargado de controlar motor de la cámara), para que la corriente se distribuya de forma uniforme en los 3 drivers y así respondan de forma adecuada en la locomoción, esta batería es de 7.2 Voltios con un Amperaje de 3000 miliamperios.

- Uso de sensores

Para trabajos futuros se recomienda integrar más dispositivos de sensórica, así como también obtener más información de los sensores actuales como la cámara, para mejorar la respuesta de las gráficas generadas en esta etapa del proyecto.

- Estructura mecánica

Las plataformas VEX permiten la flexibilidad a la hora de evaluar diseños de prototipos, sin embargo para aplicaciones robustas, no son muy recomendables debido a los mismos materiales y piezas que se utilizan para su construcción; luego de tener el diseño definido, se recomienda construir estructuras más robustas con otro tipo de materiales que permitan su uso en ambientes exteriores.

- Selección de la ubicación del Compás Magnético.

Se debe montar el sensor lo más cerca posible del centro de gravedad del vehículo. Cuanto más bajo se monte, más estable será y, por tanto, más precisas serán las indicaciones del compás.

Se debe montar el sensor cerca del centro del eje longitudinal del vehículo. De este modo las indicaciones de cabeceo y balanceo serán más precisas. Se deben evitar ubicaciones cerca de la parte delantera y de la parte trasera del móvil.

Para prevenir interferencias con el compás magnético interno, se debe mantener alejado de cualquier objeto magnético o que pueda crear un campo magnético.

Así mismo, Se debe montar alejado de toda estructura o equipamiento que contenga metales ferrosos. Se debe Montar alejado de cualquier objeto que pueda crear un campo magnético, como por ejemplo: materiales imantados, motores eléctricos, equipos electrónicos, motores, generadores, cables de alimentación/encendido y baterías.

Se sugiere Observar las distancias recomendadas por los respectivos fabricantes y escoger una superficie con un nivel mínimo de vibraciones para que los datos sean más estables.

MONITOREO DE ACTIVIDADES DE UN TGV ORIENTADO A LA APLICACIÓN EN SISTEMAS TELERROBÓTICOS” para participar en el 3er Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica en la UNAB, Bucaramanga, 2011.

- Presentación de Ponencia titulada “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN PARA EL MONITOREO DE ACTIVIDADES DE UN TGV ORIENTADO A LA APLICACIÓN EN SISTEMAS TELERROBÓTICOS” en el 3er Congreso Internacional de Ingeniería Mecatrónica en la UNAB, 2011.
- Aceptación de artículo científico titulado “Diseño e Implementación de un Prototipo de TGV Orientado a la Aplicación en Sistemas Telerrobóticos con Capacidad de Exploración y Mapeo” para participar en el Segundo Congreso Internacional de Instrumentación, Control y Telecomunicaciones CIICT2011 en la USTA-Tunja del 24 al 28 de Octubre de 2011.
- Presentación de Ponencia y artículo científico titulado “Diseño e Implementación de un Prototipo de TGV Orientado a la Aplicación en Sistemas Telerrobóticos con Capacidad de Exploración y Mapeo” en el Segundo Congreso Internacional de Instrumentación, Control y Telecomunicaciones CIICT2011 en la USTA-Tunja, 2011.
- Presentación del proyecto en el X Encuentro Departamental de Semilleros de Investigación RedCOLSI, realizado en Santa Rosa de Viterbo, Boyacá, 2010.
- Presentación de artículo científico a la revista Ingenio Magno 2012 de la Universidad Santo Tomás – Tunja.

#### 10.2. Distinciones obtenidas con el desarrollo del Proyecto

- Este proyecto fue presentado en el encuentro de la Red Nacional de Semilleros de Investigación, en el segundo semestre de 2010 en donde obtuvo un reconocimiento Sobresaliente.
- Obtención de Certificado de Reconocimiento por parte de National Instruments y ES Instrumentación, por el trabajo realizado en el proyecto, su excelente aplicación y artículo presentado en el CIICT2011.
- Reconocimiento como mejor proyecto de investigación con el Premio futuro en la competencia de robótica VEX realizada en la ciudad de Bogotá, en marzo del 2012.

## 10. PUBLICACIONES Y TRABAJOS DE DIVULGACIÓN DEL PROYECTO

Como parte del desarrollo del proceso investigativo al desarrollar este proyecto, se realizó una serie de ponencias y presentaciones de artículos científicos presentados en eventos nacionales e internacionales, para divulgar los resultados parciales en cada etapa del proyecto

### 10.1. Publicaciones y Socializaciones del Proyecto

- Ponencia asociada al proyecto de investigación "Diseño e Implementación de un Robot Móvil Teledirigido", en el marco de la semana de la ciencia, desarrollada en la Fundación Universitaria Juan de Castellanos, en el segundo semestre del 2010.
- Presentación del proyecto en el VIII Encuentro Departamental de Semilleros de Investigación RedCOLSI, realizado en Sogamoso, Boyacá, 2010.
- Presentación del proyecto en el XIII Encuentro Nacional y VIII Internacional de Semilleros de Investigación RedCOLSI, realizado en Barranquilla, Atlántico, 2010.
- Presentación del proyecto en el NI Academic Day 2011, realizado en Bogotá, Cundinamarca, 2011.
- Presentación del proyecto en el Concurso Expo electrónica realizado en Bogotá, Cundinamarca, 2011.
- Aprobación de Artículo Científico del proyecto, titulado "Design and Implementation of a prototype station for monitoring activities of a TGV Oriented to Telerobotic Systems' Applications" para participar en The Latin American Robotics Symposium (LARS) 2011.
- Presentación del proyecto en el IX Encuentro Departamental de Semilleros de Investigación RedCOLSI, realizado en Tunja, Boyacá, 2011.
- Presentación del proyecto en el XIV Encuentro Nacional y IV Internacional de semilleros de investigación RedCOLSI, realizado en Neiva, Huila, 2011.
- Presentación de Ponencia titulada "Design and Implementation of a prototype station for monitoring activities of a TGV Oriented to Telerobotic Systems' Applications" en The Latin American Robotics Symposium (LARS) 2011.
- Aprobación de Artículo Científico del proyecto, titulado "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN PARA EL

## ANEXOS

Anexo 1: Artículo IEEE

# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS MICROCONTROLADO PARA UN PROTOTIPO DE VEHÍCULO TERRESTRE TELEOPERADO (TGV).

Laura A. Martínez Tejada

Daniel A. Rodríguez Caro

Camilo Ernesto Pardo Beainy

Facultad de Ingeniería Electrónica  
Universidad Santo Tomas  
Tunja, Boyacá, Colombia

**Abstract**— The location and motion of mobile robots is one of the biggest sub fields in robotic research, this element aims to give to the robotic system the tools to autonomous activities. In our particular case we want to build a telerobotic system to the exploration and mapping of structured environments as buildings floors, to generate escape routes. The telerobotic is an advance teleoperation's technique where a mechanism can function in autonomous way, without an operator's supervision, for short time periods; its principal approach is the development of robots operated from the distance specially in remote zones, of difficult access or with risk of human injured [1]. Nowadays develop of telerobotics' systems have become in a strong field where are combine skills from the human and the machine to obtain efficient responses, that's why is very important to provide with accurate information to the system's operator because the response of the robot in field depends on the instruction given by him, to accomplish this goal is necessary to have present the quality of the devices used and the communication systems in real time and the self-communication system. This paper shows the description and the results of develop and the implementation of a prototype of the telerobotic station and robot, to monitor the performance of a tracked robotic vehicle and develop of the mechanical mobile robot prototype.

**Index Terms** – Field Description, Ground Exploration, Mobile robot, Telemetrics, Telerobotic, Wireless Monitory.

## I. INTRODUCCIÓN

En un vehículo terrestre teleoperado o Teleoperated Ground Vehicle (TGV) un operador controla un vehículo a la distancia, esta puede ser lo suficientemente grande para que el operador no pueda observar directamente al vehículo ni su espacio de trabajo. El operador realiza todos los procesos cognitivos. Los sensores a bordo del vehículo y los enlaces de comunicación permiten visualizar la posición y el movimiento del TGV en su ambiente.

Para los vehículos teleoperados características como la interacción humano - vehículo, preservación de la salud y tecnologías de comunicación y energía y alimentación asumen mayor prioridad. Los vehículos teleoperados actuales se basan

en interfaces de usuario dispuestas en un PC, utilizando teclados, joysticks y pantallas táctiles que son necesarias para operar. Los sistemas actuales en TGV también requieren más técnicos para reparar y prevenir daños. En los futuros desarrollos de TGV se debe tener la capacidad de auto monitoreo y para otorgar información a lugares remotos para diagnóstico y posible recuperación.

Las características de los TGV se combinan en los sistemas teleoperados para incrementar, mejorar y aumentar en cierto grado aspectos como: distancia, fuerza, volumen, protección, precisión y versatilidad. Entre las características más relevantes de estos sistemas están la percepción, interacción Humano-Maquina, comunicación y la movilidad del sistema.

## II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA TELEOPERADO

Para lograr garantizar las características con las que debe contar todo sistema de teleoperación es necesario diseñar e implementar dos elementos importantes para su funcionamiento, el primero es el dispositivo teleoperado que cumple una tarea específica en un ambiente donde una persona no puede tener un fácil acceso, y la segunda es la estación de teleoperación la cual permite al operador desde una posición remota y libre de riesgo, monitorear el desempeño del dispositivo teleoperado e interactuar con su ambiente de trabajo.

### A. Sistemas de adquisición y acondicionamiento de datos.

El dispositivo teleoperado a su vez se divide en dos sistemas importantes las cuales se encargan de adquirir la información y de controlar los dispositivos que comprenden la percepción como la movilidad del móvil.

El dispositivo encargado de administrar la recopilación de datos tanto de sensores como de motores es el dsPIC 30F4011, además de comunicar esta información al computador utilizado como estación de monitoreo para efectuar las diferentes tareas que el sistema telerrobótico va a desempeñar.

Este microcontrolador se destaca por su alto rendimiento en diversas aplicaciones, que requieran una mayor velocidad de respuesta con varios procesos simultáneos. El dsPIC posee características de un microcontrolador, pero puede cumplir tareas de un DSP (procesador digital de señales), como lo es por ejemplo implementación de filtros digitales, además su velocidad de procesamiento es mayor a la de un microcontrolador PIC, esta última característica destaca para la implementación en este proyecto, ya que es necesario un dispositivo de bajo costo de que realice tareas a alta velocidad para la adquisición y comunicación de los datos con la estación de monitoreo. El dsPIC utilizado para esta aplicación es el 30F4011 cuya distribución de pines se muestra en la figura 1.

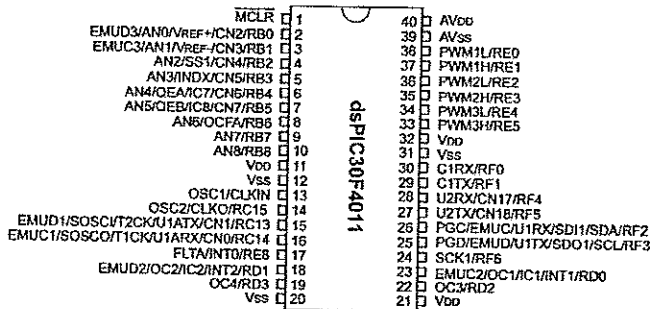


Figura 1. Diagrama de Pines del dsPIC30F4011.  
FUENTE: Autores.

De acuerdo a la distribución de tareas que son necesarias gestionar por el dispositivo microcontrolado y a los tiempos de respuesta necesarios para garantizar una acción rápida del móvil condicionada por las ordenes enviados desde la estación de monitoreo, es necesario hacer uso de dos dsPIC 30F4011: el primero denominado **dsPIC Sensores** para gestionar la recopilación, acondicionamiento y transmisión de los datos que entregan los diferentes sensores dispuestos en el móvil, y el segundo denominado **dsPIC Motores** para recepción de los datos que se envían desde la estación de monitoreo y acondicionamiento de las señales de control enviadas a los drivers de potencia que manejan los motores.

### 1) dsPIC Sensores

La percepción es una parte fundamental en el desarrollo del móvil teleoperado, ya que es por medio de esta que se adquieren las variables necesarias para determinar las condiciones del móvil y el estado del ambiente de trabajo. Para lograr esto se dispuso de 5 dispositivos que miden diferentes variables que permiten contextualizar al operador en la parte de monitoreo sobre las condiciones tanto del móvil como del ambiente de trabajo, en la tabla 1 se muestran una relación de los dispositivos y de la variable medida.

TABLA 1. SENSORES UTILIZADOS PARA LA TOMA DE VARIABLES EN EL MÓVIL.

Sensor	Referencia	Variable
Ultrasonido	SRF08	Distancia a obstáculos
Compas Magnético	CMPS09	Desviación en grados con respecto al norte magnético de la tierra

Acelerómetro	MMA7361L	Aceleración del móvil en los tres ejes coordenados (x, y, z)
Encoder Incremental	VEX	Velocidad
Cámara	Inalámbrica 2.4 GHz	Imágenes del ambiente de trabajo

Para la transmisión de la información del móvil a la estación de monitoreo es necesario adecuar los datos que proporcionan los sensores para construir una trama de comunicación que pueda ser enviada para la estación de monitoreo. Para esto es necesario configurar tres módulos importantes que gestionaran la recolección y adecuación de la información otorgada por los sensores los cuales son: módulo de comunicación I<sup>2</sup>C, módulo de comunicación serial y módulo de comunicación analógica/digital.

- **Módulo de comunicación I<sup>2</sup>C:** El dsPIC30F4011 utiliza los pines 25 (SCL) y 26 (SDA) para comunicarse con los dos sensores de ultrasonido, el compás magnético y los dos encoders por medio del protocolo I<sup>2</sup>C, para iniciar a recopilar los datos de estos cinco dispositivos es necesario definir la velocidad de comunicación con la cual trabaja el bus y las direcciones de los dispositivos esclavo. En la tabla 2 se muestran las direcciones asignadas a cada sensor y el orden en el cual el dsPIC direcciona para solicitar la información de los datos leídos por cada uno.

TABLA 2. ORDEN Y DIRECCIONES DE LOS DISPOSITIVOS DIRECCIONADOS POR EL BUS I<sup>2</sup>C.

Orden	Dispositivo	Dirección (Hex)
1	Ultrasonido 1	E0
2	Ultrasonido 2	E4
3	Compas Magnético	C0
4	PIC16F876A (Encoders)	A0

Para iniciar la secuencia de tareas que ejecuta el dsPIC para etablar comunicación en el bus I<sup>2</sup>C, se define una velocidad de transferencia de datos a una frecuencia de 100kHz que es la velocidad estándar manejada por el protocolo de comunicación I<sup>2</sup>C, a continuación se escribe en el bus la dirección del primer sensor (Ultrasonido 1), luego se accede al registro de configuración del mismo sensor donde se define que el dato que se quiere adquirir se entregue en formato de centímetros, esto se logra enviando un dato 0x51 en formato Hexadecimal en el bus de comunicación (el sensor de ultrasonido también tiene la opción de obtener los datos en pulgadas o tiempo de vuelo), por último se lee el dato medido por el sensor en el formato establecido.

Para el segundo sensor (Ultrasonido 2) se realiza la misma rutina que para el primer sensor cambiando la dirección escrita en el bus con la del dispositivo correspondiente, la cual fue modificada, puesto que viene con la de fábrica (0X51), y existiría conflicto con el otro dispositivo con misma dirección, es por esto que fue cambiada a la dirección (0XE4).

Para el tercer sensor (Compas Magnético), la secuencia es más sencilla, ya que solo es necesario escribir la dirección correspondiente (0XC0) en el bus de comunicación, luego se envía el dato del registro donde el compás magnético lo almacena en formato de byte (0 a 255) para una circunferencia completa, esto esta comentado anteriormente en registros CMPS09, realizado esto se lee el dato, obteniendo un byte que indica la orientación respecto al hemisferio norte.

Por ultimo para el cuarto y el quinto sensor (los encoders), se realiza la misma rutina que el compás magnético, se envía hacia el PIC la dirección correspondiente (0XA0) en el bus de comunicación, luego se envía un dato con el cual el PIC reconoce que debe enviar la información del primer encoder, a continuación, luego de recibir la información, envía el siguiente dato para acceder a la información del segundo encoder. En la figura 2, se observa las señales tomadas de los canales SDA (Canal 1 señal superior) y SCL (Canal 2 señal inferior), del dsPIC30F4011.

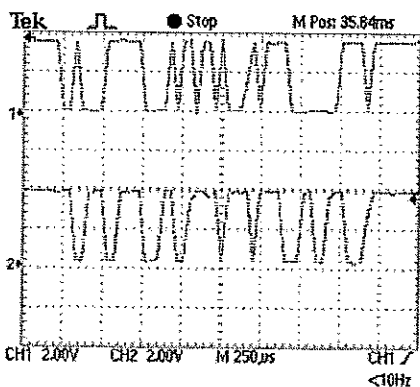


Figura 2. Canales de salida sda y scl del dspic30f4011.  
Fuente: autores.

- Módulo de conversión analógica/digital:** El acelerómetro entrega datos con respecto a la vibración que experimenta en los tres ejes coordenados X, Y y Z, la salida de los tres canales corresponde a una señal analógica, la cual es necesaria convertirla en digital para adecuarla dentro de la trama de información que será enviada a la estación. La conversión analógica digital del dsPIC, tiene como característica destacada la resolución que maneja, la cual es de 10 bits por cada canal de conversión (8 canales). Utilizando tres canales de este módulo cuyas entradas son los pines 2, 3 y 4. Para poder incorporar estos datos a la trama de comunicación es necesario convertir el dato de 10 bits entregados por el conversor analógica digital, a datos de 8 bits ya que el módulo de comunicación serial solo envía datos de 8 bits. Para esto el dato de la conversión analógica/digital de 10 bits se almacena en una variable de 16 y a continuación se realiza una operación lógica AND entre el número 01 en hexadecimal y los 8 primeros bits de la variable de 16 bits (Parte Baja), el resultado se almacena en otra variable pero esta vez de 8 bits, luego se realiza nuevamente la operación lógica AND entre el número 10 en

hexadecimal para los datos restantes (últimos 8 bits de los 16bits, Parte Alta), donde de estos solo interesan los 2 bits restantes de la conversión analógica digital, estos últimos 8 bits son almacenados en una variable de este mismo tamaño, pero los 2 bits que nos interesan están en la parte alta de la variable, es por esto que es necesario hacer un corrimiento de los bits de tal forma que los 2 bits de interés queden en las primeras posiciones del byte.

- Módulo de comunicación serial:** Este módulo es el responsable de entregar la trama de comunicación serial construida con los datos de los sensores a los módulos de comunicación inalámbrica. Para la configuración del módulo se inicia definiendo el parámetro de la velocidad de transmisión de datos la cual es de 9600 bps y que se debe mantener constante en todo los dispositivos que manejen este tipo de comunicación.

Luego de tener los datos de los sensores en bytes, se organiza la trama de comunicación de tal manera que sean enviadas en un orden específico. Se comienza definiendo dos bytes que corresponde a la cabecera y al tráiler que delimitaran la trama, por medio de estos dos bytes es posible identificar el comienzo y el final de la trama de comunicación para asegurar que las posiciones de los valores sean recibidos por la estación de monitoreo tal y como son enviados desde el dsPIC de Sensores a continuación se construye la trama con los bytes de los datos de los sensores de la siguiente manera: 6 bytes que corresponden a los 2 bytes de los tres canales de la conversión analógica/digital del acelerómetro, 2 byte que corresponden a los valores del primer y del segundo ultrasonido, seguidos de 1 byte con el dato del compás magnético, por último se ubican los 2 bytes que corresponden a los dos datos de los Encoders. La estructura completa de la trama se muestra en la figura 3, en donde además de mostrar el valor de la cabecera y el tráiler, se muestra la ubicación de los datos de cada sensor.

Cabecera (AA)	Acelerómetro X-H	Acelerómetro X-L	Acelerómetro Y-H	Acelerómetro Y-L	Acelerómetro Z-H	Acelerómetro Z-L	Ultrasonido 1	Ultrasonido 2	Compás Magnético	Encoder 1	Encoder 2 (55)	Tráiler
---------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	---------------	---------------	------------------	-----------	----------------	---------

Figura 3. Trama de comunicación enviada desde el dsPIC Sensores.  
FUENTE: Autores.

En la figura 4 es posible observar el diagrama de bloques donde se muestran los módulos involucrados en el proceso de construcción de la trama de comunicación por el dsPIC y su interacción entre sí, así como también la conexión tanto de entrada como de salida de las señales de comunicación al dispositivo.

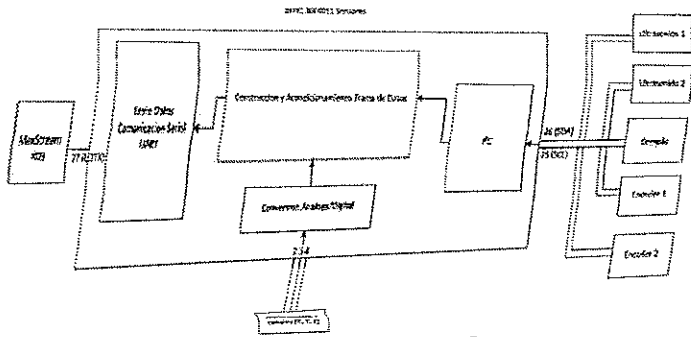


Figura 4. Diagrama de Bloques del dsPIC Sensors.  
FUENTE: Autores.

## 2) dsPIC Motores

Para el control de dirección y velocidad de cada motor dispuesto en el móvil es necesario adecuar los datos que se obtienen de la recepción de la información que es enviada de la estación de monitoreo por el dsPIC. Para esto es necesario configurar dos módulos importantes que gestionaran la recepción de la trama y adecuación de la información para entregar las señales PWM que controlaran en giro y la velocidad de los motores: módulo de comunicación serial y módulo de PWM.

El módulo que tiene el dispositivo dsPIC 30f4011 tiene como características principales los 6 pines de entrada y salida con 3 generadores de ciclo de trabajo PWM y con una resolución de 16-bit. Realizando pruebas de velocidad se determina los datos que son enviados al dsPIC, así como su velocidad máxima y mínima. Los datos definidos para ser enviados desde la estación de monitoreo, y los generados por el dsPIC para indicar los ciclos de trabajo del PWM se muestran en la tabla 3.

TABLA 3. DATOS DE VELOCIDAD MANEJADOS POR EL DSPIC.

Dato motor 1-2 (Hexadecimal)	Dato motor 3-4 (Hexadecimal)	Dato dsPIC (Decimal)	Velocidad límite
0	0	0	Máxima
1	1	3495	
2	2	6990	
3	3	10485	
4	4	13980	
5	5	17475	
6	6	20970	Detenido
7	7	24465	
8	8	27960	
9	9	31455	
A	A	34950	
B	B	38445	
C	C	41940	
D	D	45435	
E	E	48930	
F	F	52425	Máximo inverso

Los motores 1, 2, 3 y 4 están encargados del movimiento o locomoción del móvil, los motores 1 y 2 responden en el mismo sentido y velocidad al estar dispuestos al mismo lado lateral de la plataforma, al igual que los motores 3 y 4 dispuestos al lado contrario. Existe la posibilidad de conectar dos motores más 5 y 6, pero solo se utiliza el motor 5, para el

movimiento horizontal de la cámara que se encuentra sobre el móvil.

- **Módulo de comunicación serial:** Este módulo es el responsable de entregar la trama de comunicación serial que es enviada desde la estación de monitoreo con los datos de las acciones a ser realizadas por los motores. El módulo de comunicación serial del dsPIC motores, se configura con la misma velocidad que el módulo de serial del dsPIC sensores la cual es de 9600 bps, luego se empieza a identificar la trama enviada por la estación de monitoreo siguiendo un orden específico.

Lo primero que se debe verificar es si el buffer de datos de entrada del módulo está disponible para leer, si lo está quiere decir que existen datos entrando al dispositivo, si no se espera hasta que la estación base envíe los datos correspondientes y sean identificados por el microcontrolador, luego para el almacenamiento de las variables se inicia un contador el cual contara el número de veces que se almacena un dato de la trama entrante, con esto se asegura posiciones específicas en determinados registros que servirán después para hacer comparación de la correspondiente cabecera y tráiler, cuando el contador llega a 5, se reinicia para recibir una nueva trama y repetir el proceso. El primer dato que se debe identificar es la cabecera de la trama la cual corresponde al dato AAh, el cual debe ser guardado en el primer registro de almacenamiento, se realiza el mismo proceso con los 2 bytes siguientes correspondientes a las acciones a realizar por los motores, y con el ultimo byte que corresponde al tráiler de la trama cuyo valor es el dato 55h. Cuando ya se tienen almacenados los datos en los registros, se efectúa una comparación entre el dato de la cabecera y el tráiler con los valores anteriormente designados para cada uno, si coinciden, se acepta la trama y se procede a realizar el ajuste del dato para identificar la señal adecuada a ser enviada a los motores por el módulo PWM, si no coinciden, se desecha la trama y se procede a realizar nuevamente el proceso de recepción.

- **Módulo PWM:** El dsPIC tiene un módulo llamado control de motor por PWM el cual contiene tres generadores de ciclos de trabajo de PWM enumerados de 1 a 3, donde el modulo posee dos canales de salida por cada generador: PWMXH PWMXL, cuya resolución del módulo es de 16 bits. Para la configuración de estos tres canales se define el ciclo de trabajo a 1kHz, donde se usan los seis canales de forma complementaria, es decir, según el dato recibido va a predominar un canal de salida del generador sobre el otro, de esta manera es posible controlar el sentido de giro de los motores y su velocidad.

Para la configuración del primer generador se utiliza el segundo byte que se recibe de la trama de comunicación para determinar el comportamiento de los cuatro motores que corresponden a la base, este dato se utiliza para el control de los primeros dos generadores del módulo PWM, en donde los

4 primeros bits de este dato se operan con el número 3495 en decimal para ocupar todo el rango de resolución del módulo con valor de 65536. Este dato es ingresado al registro del PWM el cual define el ancho del pulso que se envía por los pines que corresponden al generador. Se realiza lo mismo con los 4 siguientes bits del byte para el control del tercer y cuarto generador del módulo PWM. El mismo proceso es realizado con el tercer byte que se recibe de la comunicación serial para determinar el comportamiento del motor de la cámara conectado al quinto y sexto generador del módulo PWM.

En la figura 5 es posible observar el diagrama de bloques donde se muestran los módulos involucrados en el proceso de recepción de la trama de comunicación enviada de la estación de monitoreo y el módulo de comunicación PWM, también se muestra la conexión de entrada y de salida de las señales de comunicación al dispositivo.

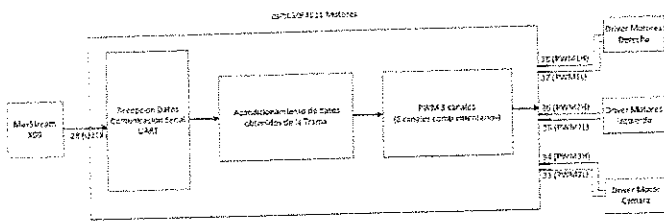


Figura 5. Diagrama de Bloques del dsPIC Motores.  
FUENTE: Autores.

### B. Sistemas de adquisición de datos y comunicación en la estación de teleoperación.

La estación de monitoreo es el lugar donde el operador supervisa en estado tanto del móvil como del ambiente en el que se desenvuelve y toma el control de los movimientos del móvil. Esta debe ser clara y fácil de interpretar, otorgando la información necesaria en tiempo real. Para el desarrollo de esta etapa se utiliza el software especializado LabVIEW®, en el cual es posible implementar ambientes virtuales de instrumentación con diversos indicadores que sirven en propósito de la estación.

Dentro de los componentes más relevantes de la estación de monitoreo están el dispositivo manual de control y la interfaz gráfica de usuario con los diferentes paneles. En estos paneles es posible observar la información que se transmite desde el móvil, así como también la información que será transmitida al móvil, es por esto que se debe realizar un acondicionamiento de los datos para que puedan ser interpretados de manera precisa por los dispositivos microcontrolados dispuestos en el móvil.

#### 1) Recepción y Transmisión de datos por comunicación serial.

La comunicación que se realiza entre la estación de monitoreo y el móvil es una comunicación serial, para que la transferencia de datos sea exitosa es necesario configurar en LabVIEW®, una serie de parámetros y un flujo de trabajo que

aseguran tanto la transmisión como la recepción de los datos a comunicar entre secciones del sistema.

- Parámetros para la inicialización de la comunicación: Para tener acceso al puerto serial usando LabVIEW® se debe iniciar una sesión VISA. La configuración del tipo de comunicación serial se hace con "VISA configure serial port". Para la configuración de este bloque se debe respetar los parámetros definidos en ambos dsPICs para la sincronización de la comunicación serial. En este caso se debe definir una velocidad o Baud Rate de 9600. En la figura 6, se observa la configuración definida para la comunicación serial en LabVIEW®, los parámetros del Baud Rate y el puerto por el cual se comunica se definen como variables locales cuyo valor se encuentra dentro del bucle de trabajo, esto permite actualizar la velocidad y el puerto mientras se corre el programa y no tener que detenerlo para modificar estos parámetros y que sean reconocidos.

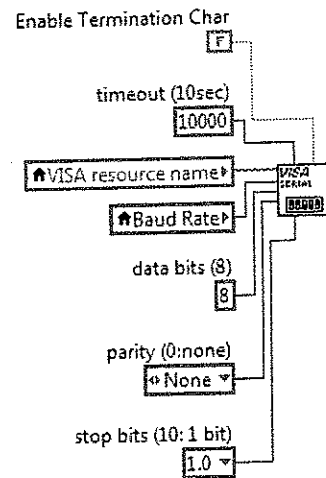


Figura 6. VISA Configure Serial Port en LabVIEW®.  
FUENTE: Autores.

Una vez inicializada la sesión VISA, se procede a configurar la lectura y escritura en el puerto.

- *Escritura En El Puerto Serial:* Los datos enviados desde la estación de monitoreo a el móvil en campo, permite replicar las ordenes definidas por el operador a través del dispositivo de manipulación de control en los movimientos del móvil. Para él envío de esta información es necesario configurar ciertos bloques en LabVIEW® que permiten acceder al buffer de comunicación serial.

Para escribir en el puerto serial usando LabVIEW® primero, se inicializa una sesión VISA con un "VISA Configure Serial Port". Luego, se coloca un "VISA Write" el cual es el bloque que permite escribir la información en el buffer de comunicación a ser enviado al móvil.

Dentro del buffer de escritura se encuentran los 4 bytes anteriormente mencionados que constituyen la trama de transmisión de datos de la estación al móvil. Para construir el arreglo de 4 bytes se utiliza un "build array" y en orden se colocan los bytes a ser enviados al móvil: cabecera, dato de sentido y velocidad de los motores de la base, sentido del motor de la cámara y tráiler, como se muestra en la figura 7. Luego de tener los datos es necesario hacer una conversión de tipo byte a string.

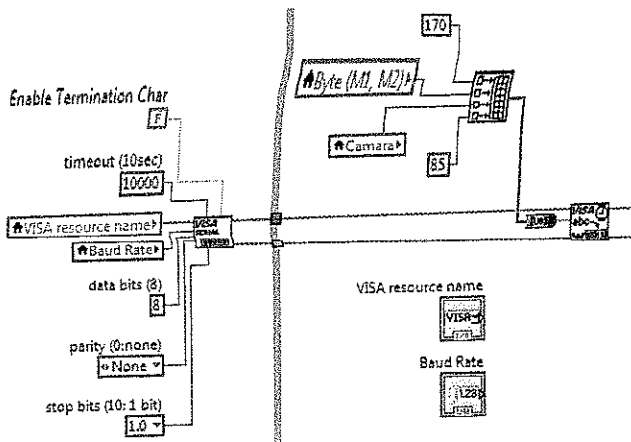


Figura 7. VISA Write en LabVIEW®.  
FUENTE: Autores.

- **Lectura Del Puerto Serial:** Los datos enviados desde el móvil en campo a la estación de monitoreo, permite no solo la supervisar las condiciones en las que se encuentra el móvil, sino también la recopilación de los parámetros necesarios para la descripción grafica que del terreno que se hará posteriormente.

Para la adquisición de esta información es necesario utilizar el bloque "VISA Read". El nodo de "byte count" recibe el tamaño de buffer que se escribió en el puerto. Su nodo de referencia se conecta a la sesión VISA creada y se selecciona, Number of bytes at serial port.

Una vez que se lee la trama de comunicación enviada por el móvil, se debe identificar cada byte para ser visualizado en su correspondiente indicador y obtener los datos necesarios para los posteriores procesos, para esto utilizamos el bloque "index array", por el cual es posible seleccionar la ubicación del byte que se quiere visualizar dentro de la trama y su valor.

Primero se seleccionan y se compara los valores del tráiler y la cabecera con los números 55 y AA en formato hexadecimal correspondientemente. Si estos valores coinciden se da paso a identificar el resto de valores de la trama, realizando el mismo proceso, se selecciona la posición del byte a la que se quiere acceder y se lee su contenido para ser visualizado, de lo contrario se descarta la trama y se vuelve a leer el buffer de entrada. En la figura 8, se muestra la distribución de los bloques en LabVIEW® y el acondicionamiento de los datos recibidos.

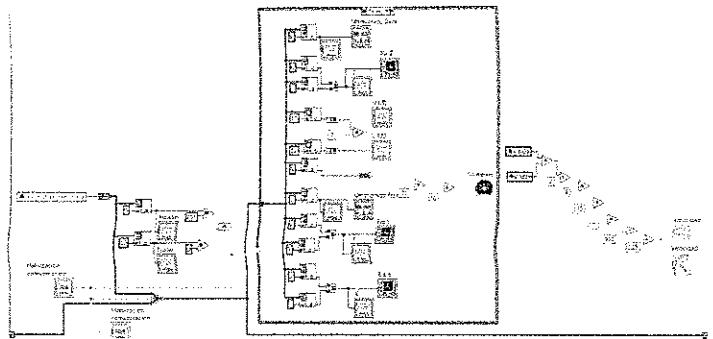


Figura 8. Selección y acondicionamiento de los valores recibidos en LabVIEW®.  
FUENTE: Autores.

## 2) Interfaz Gráfica de Usuario:

La interfaz de usuario es la herramienta por la cual el operador es capaz de monitorear las actividades del móvil por medio de indicadores que reflejan de manera gráfica los valores de los sensores dispuestos en el móvil, así como también información derivada como en este caso las gráficas de la ruta del móvil y la adquisición de imágenes del medio. Para el diseño se implementaron dos paneles, correspondientes a tres procesos importantes para el desempeño del móvil y la supervisión del mismo:

- **Panel de ajuste:** Para asegurar un correcto funcionamiento del sistema y que la información suministrada al operador sea verídica, se dispuso un panel de ajuste en el cual se muestra la información referente a dispositivos como el joystick, la cámara inalámbrica y la comunicación entre el vehículo y la estación.
- **Panel de Instrumentación:** En el panel de instrumentación se le permite al operador monitorear los datos enviados de los sensores desde móvil por medio de diferentes indicadores que están dispuestos de manera que el operador concentre su atención en las imágenes adquiridas por la cámara, sin dejar de lado la supervisión de las demás variables de tal forma que sea fácil su lectura sin desviar la atención del resto de procesos.

Partiendo de la idea anterior se definen varios tipos de indicador para los datos que son enviados y recibidos del móvil.

- **Indicadores de Monitoreo:** Indicadores que visualizan las variables de orientación del móvil (Compás magnético), la distancia a la cual se encuentra de los objetos (Ultrasonidos), vibración de la plataforma con respecto a los tres ejes coordenados (Acelerómetro) y velocidad del móvil (Encoders).
- **Indicadores de Operación:** Indicadores que visualizan las instrucciones del operador a transmitir hacia el móvil, esta sección comprende dos arreglos de LEDs que visualizan la dirección y la velocidad con la que

se indica el comportamiento de los motores de cada lado del móvil.

- Visualización de video: se realiza en tiempo real, lo cual le permite al operador observar el terreno por el cual se está desplazando en móvil, otorgando datos más exactos de la descripción del entorno y de las condiciones del mismo.

En la figura 10, se observa el panel de visualización y monitoreo con cada uno de los indicadores anteriormente mencionados.

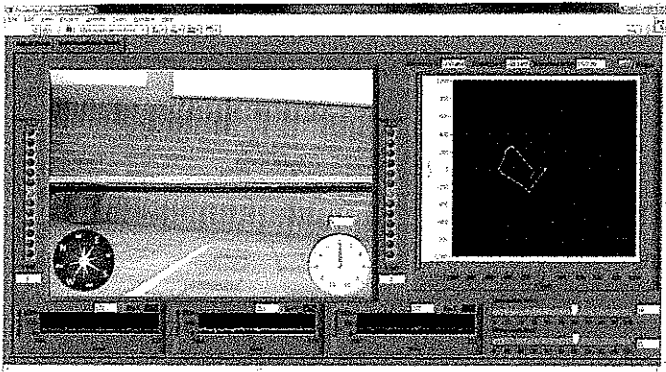


Figura 9. Vista del Panel de Instrumentación en LabVIEW®.  
FUENTE: Autores.

### III. CONCLUSIONES

Los sistemas telerrobóticos son de gran importancia en áreas como la exploración de ambientes, supervisión de tareas, la milicia y en la medicina, ya que integran la precisión de los sistemas robóticos, con la capacidad de razonamiento de los operadores. Como tema de investigación son un campo de bastante complejidad debido a los métodos de control aplicados para regular la respuesta de los dispositivos robóticos en entornos desconocidos y poco predecibles.

La telerrobótica es un gran campo de desarrollo de la ingeniería para la aprehensión de conceptos en las áreas propias de la disciplina de la ingeniería electrónica: instrumentación y telecomunicaciones. Es de gran importancia poder suministrar toda la información posible al operador de manera clara, veraz y precisa, en forma gráfica y amigable, que agilice los procesos intrínsecos del operador para tomar decisiones que influyan en los trabajos del vehículo.

Para nuestro propósito, el robot será empleado para la exploración y descripción de rutas de escape en edificios o complejos urbanos, es por esta razón que una interfaz amigable que muestre los datos recolectados de los sensores de manera precisa y en tiempo real es importante para el desarrollo de los ambientes virtuales que describen el ambiente de exploración.

Un factor a tener en cuenta son los tiempos que se manejan para la adquisición de datos por la interfaz gráfica, ya que para evitar los retardos en la adquisición de video y los saltos en la

adquisición de los datos de los sensores fue necesario manejar dos ciclos diferentes en la programación de LabVIEW™.

Con visión de desarrollar ambientes virtuales de fácil manejo y gracias las herramientas computacionales que ofrece LabVIEW™ es posible crear aplicaciones tangibles que nutran los procesos académicos de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomas seccional Tunja, al desarrollar herramientas que fomenten en los estudiantes el interés por áreas de desarrollo e investigación en robótica, automatización, control, instrumentación y telecomunicaciones.

### IV. REFERENCIAS

- [1]. O. Anibal, G. Jesús Manuel, G. Alfonso "Tele operación y Telerrobótica". 1ª ed. ALFAOMEGA. 2006.
- [2]. H. John. "Designing Autonomous Mobile Robots". ELSEVIER, 2004.
- [3]. R. Christopher. "Image Acquisition and Processing with LabVIEW™". CRC PRESS, 2004.
- [4]. Shuzhi Sam Ge, Frank L. Lewis "Autonomous Mobile Robots" CRC PRESS, 2006.
- [5]. S. Roland, N. Ilah, "Introduction to Autonomous Mobile Robots" THE MIT PRESS, 2004.
- [6]. W. Jon "Sensor Technology Handbook" ELSEVIER, 2005.
- [7]. H. Jianning, W. Yuechao and X. Ning. "A Hybrid Control Method for Telerobotic Systems" IEEE International Conference on Information Acquisition August 20 - 23, 2006, Weihai, Shandong, China.
- [8]. P. Gang, H. Xinhan, X. Youlun "Agent-based Telerobotics Using Multi-sensor Fusion" 5 World Congress on Intelligent Control and Automation, June 15-19. 2004
- [9]. Alberto, R. Gabriele, B. Fabiano, S. Chiara, N. Daniele "Give me the control, I can see the robot!" 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and System, Acropolis Convention Center Nice, France, Sept, 22-26, 2008
- [10]. N. Keiji, Y. Ayato, Y. Kazuya, Y. Tomoaki, K. Eiji, "Improvement of the Operability of a Tracked Vehicle on Uneven Terrain using Autonomous Control of Active Flippers". 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation Anchorage Convention District May 3-8, 2010, Anchorage, Alaska, USA
- [11]. O. Kazunori, T. Satoshi, N. Keiji, K. Eiji, Y. Tomoaki, "Trials of 3-D Map Construction Using the Tele-operated Tracked Vehicle Kenaf at Disaster City" IEEE 2010 Robotics and Automation (ICRA) Conference.

## Anexo 2: Configuración básica Módulos MaxStream

En este apartado se muestra configuración básica para poder programar los MaxStream en modo transmisor/receptor, en este caso se usaron 2 módulos MaxStream X09-009.

Primero es necesario descargar el programa para definir los parámetros de trabajo de los módulos inalámbricos

- Software de configuración XCTU (solo disponible para Windows)

Instalar el software XCTU siguiendo los pasos del instalador. Luego se conecta con el cable USB-Serial a los dos módulos, una vez instalado correctamente el driver, en el administrador de dispositivos de Windows debe mostrar la existencia de dos puertos COM.

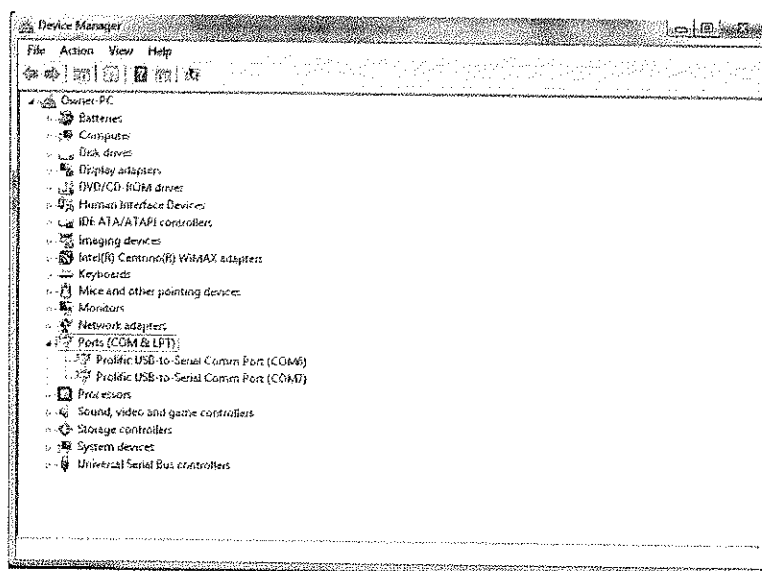


Figura 82. Puertos COM conectados en el Administrador de dispositivos.  
FUENTE: Autores

Ahora se inician 2 ventanas de XCTU (una para cada módulo) y seleccionas el puerto COM que se usara en cada uno y el Baudrate, en este caso se utiliza un Baudrate de 9600 ya que los módulos vienen configurados por defecto a esa velocidad.

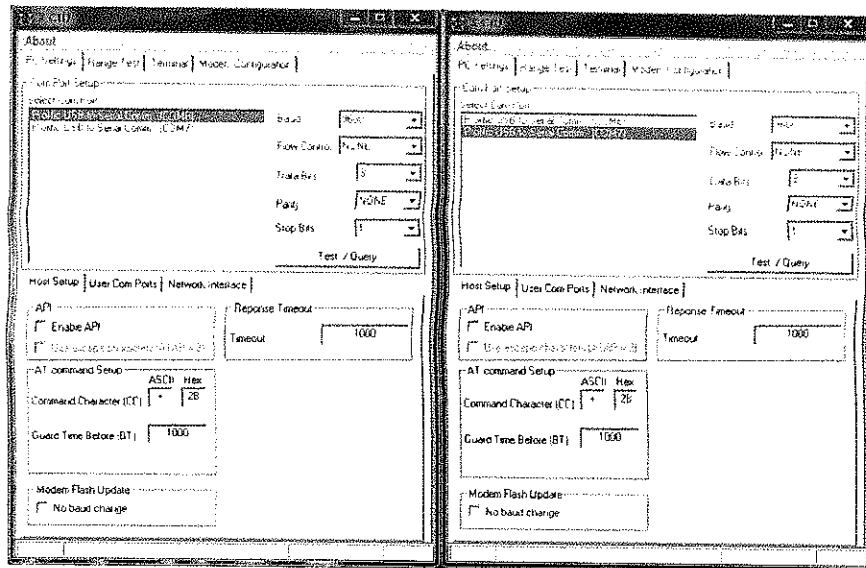


Figura 83. Interfaz del X-CTU para la configuración de los módulos MaxStream.  
FUENTE: Autores

Para probar que este correctamente conectado se da clic en el botón Test/Query, donde a continuación se despliega la ventana Com Test/Query Modem, si se logra comunicar con el modulo la ventana indicara el tipo de modem que se está utilizando, el firmware y el numero serial asignado de fábrica.

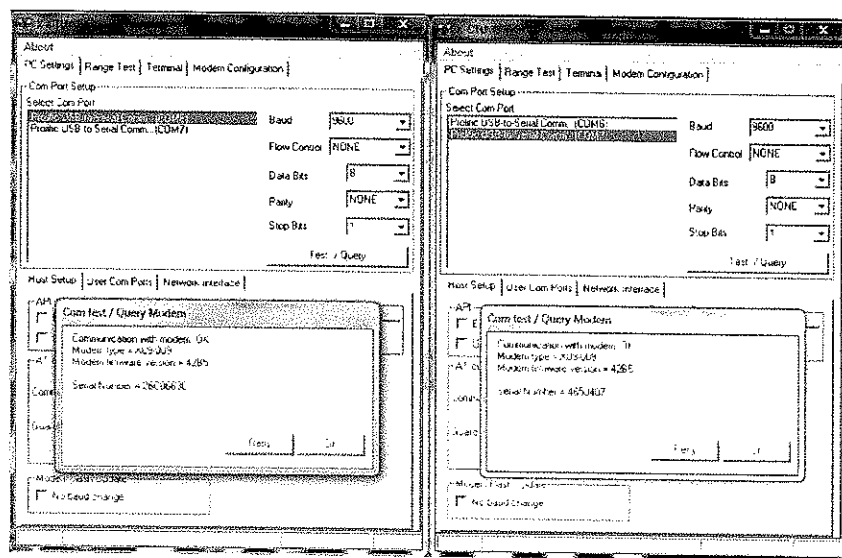


Figura 84. Ventana de verificación de conexión en el programa X-CTU.  
FUENTE: Autores

Ahora se selecciona a la pestaña de Modem configuration, en modem se elige el tipo de modem que despliega la ventana de Test/Query, en este caso es el X09-009, y en Function Set se selecciona para ambos módulos la opción HOPPING.

Luego se selecciona el Serial Interfacing Options, en donde es necesario para ambos módulos elegir la misma velocidad de transmisión, la cual es de 9600 baudios.

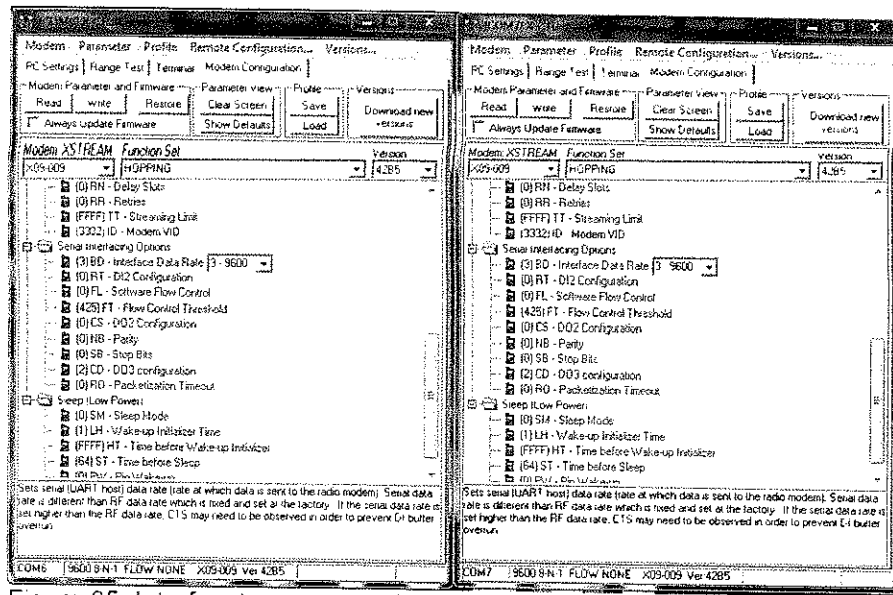


Figura 85. Interfaz de programación de los módulos en el programa X-CTU.  
FUENTE: Autores

A continuación se le da clic en el botón Write para que escriba la nueva configuración en el módulo. Cuando termine de programar ya estarán listos para transmitir y recibir datos el uno al otro, para probar se selecciona nuevamente la pestaña de Terminal en ambos módulos, lo que se escriba en una de las interfaces en color azul debe aparecer en la otra interfaz de color rojo.

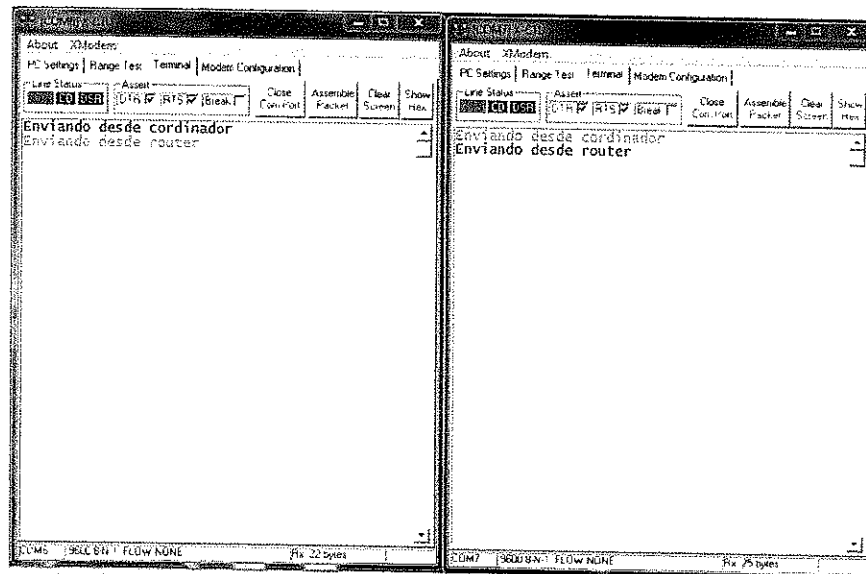


Figura 86. Comprobación de comunicación entre módulos por medio del X-CTU.  
FUENTE: Autores

### Anexo 3: Programación del dsPIC y programas

Para la programación del dsPIC se utiliza el software mikroC PRO para dsPIC, por su lenguaje de programación en C y fácil manejo de las aplicaciones encontradas en el dsPIC30f4011.

MikroC PRO para dsPIC30/33 y PIC24 es un compilador de C, con todas las funciones de dsPIC30, dsPIC33 y MCU PIC24 de Microchip. Se ha diseñado para el desarrollo, construcción y depuración dsPIC30/33 y PIC24 basados en aplicaciones embebidas. Este entorno de desarrollo cuenta con un amplia gama de características tales como: fácil manejo, muy compacto, código eficiente, muchos equipos y bibliotecas de software, documentación completa, generación de archivo COFF, SSA optimización (reducción de hasta un 30% del código), entre otras. Numerosas listas para usar y ejemplos bien explicados que dan buen comienzo para un proyecto integrado.[26]

El entorno de programación del software mikroC PRO for dsPIC muestra el espacio para incorporar código en C, que dependiendo a la configuración inicial para un proyecto y las librerías seleccionas van a ser reconocidos por el compilador, este entorno principal de trabajo se muestra en la figura 87.

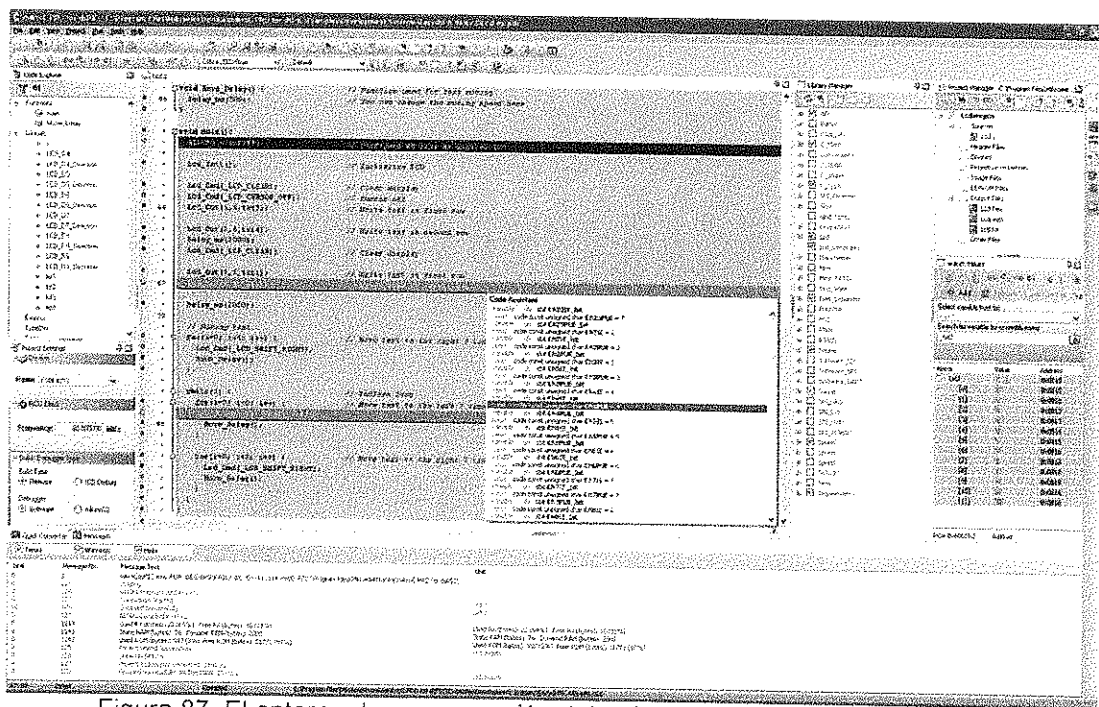


Figura 87. El entorno de programación del software mikroC PRO para dsPIC.  
FUENTE: Autores

Algunas de las herramientas que tiene el editor de código en mikroC PRO para dsPIC son:

- Cuenta con resaltado de sintaxis, plegado de código ajustable, asistentes de código, parámetros auxiliares.
- Corrección automática de errores tipográficos comunes y plantillas de código.
- El código de Explorer está a disposición para la gestión de proyectos más fácil.
- El manejo del proyecto permite la gestión de proyectos múltiples.
- Configuración general del proyecto se puede hacer en la ventana.
- Configuración del proyecto.
- El manejo de sencillo de las librerías que se utilizan en un proyecto.
- La ventana de mensajes muestra todos los mensajes durante la compilación y el enlace.
- El simulador de software a nivel de fuente le permite depurar la lógica ejecutable paso a paso a ver el flujo del programa.
- El Asistente para nuevo proyecto es una manera rápida, fiable y fácil de crear un proyecto.
- Al igual que en cualquier aplicación de Windows, se puede personalizar el diseño de mikroC PRO para dsPIC30/33 y PIC24 para satisfacer sus necesidades.
- Corrector ortográfico subraya identificadores que son desconocidos para el proyecto. De esta manera se ayuda al programador para detectar problemas potenciales, mucho antes de que se compile el proyecto.

Para crear un nuevo proyecto en mikroC PRO for dsPIC es necesario seguir los siguientes pasos:

- Abrir el software MikroC PRO for dsPIC.
- Ingresar a la pestaña Project>> New Project

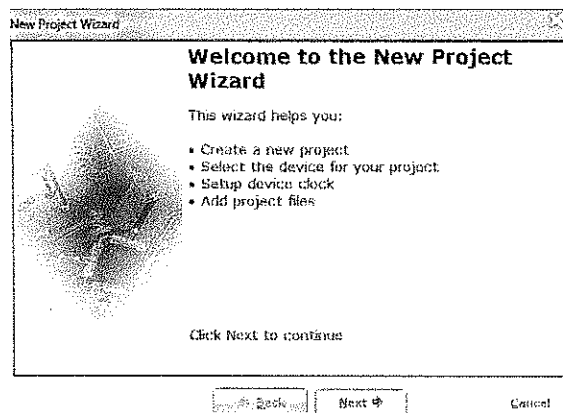


Figura 88. Ventana desplegada en mikroC para nuevo proyecto.  
FUENTE: Autores

- Aquí se muestra paso a paso la creación de un proyecto.

En el paso 1 se selecciona el dispositivo sobre el cual se va a programar, en este caso es el dsPIC30f4011:

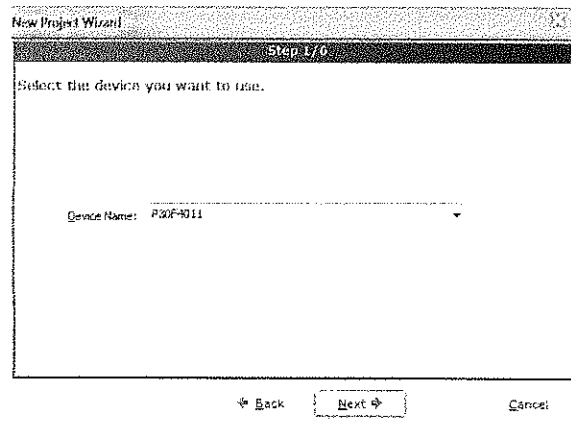


Figura 89. Ventana desplegada en mikroC para seleccionar el dispositivo de trabajo.  
FUENTE: Autores

- En el paso 2 se ingresa el valor de reloj al cual va a trabajar el dsPIC (nota: El software está ajustado para que trabaje con un PLL de 8x, es por esto que al valor del cristal se debe multiplicar por 8 y este valor ingresado en el espacio correspondiente)

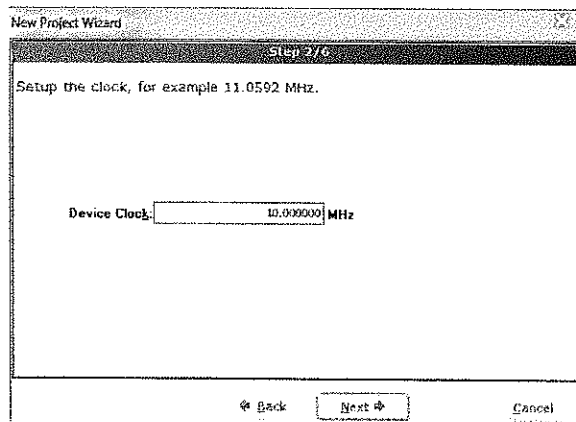


Figura 90. Ventana desplegada en mikroC para seleccionar la frecuencia de trabajo  
FUENTE: Autores

- En el paso 3 se ubica el lugar donde se quiera guardar el proyecto con su respectivo nombre.

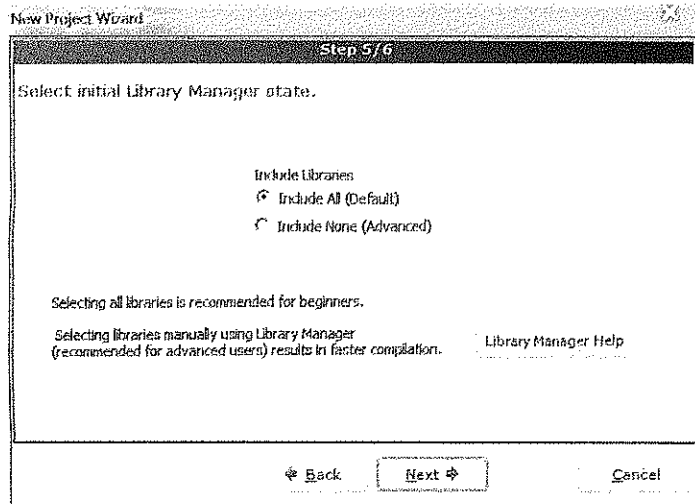


Figura 93. Ventana desplegada en mikroC para agregar las librerías.  
FUENTE: Autores

- En el paso 6 se finaliza la creación del proyecto.

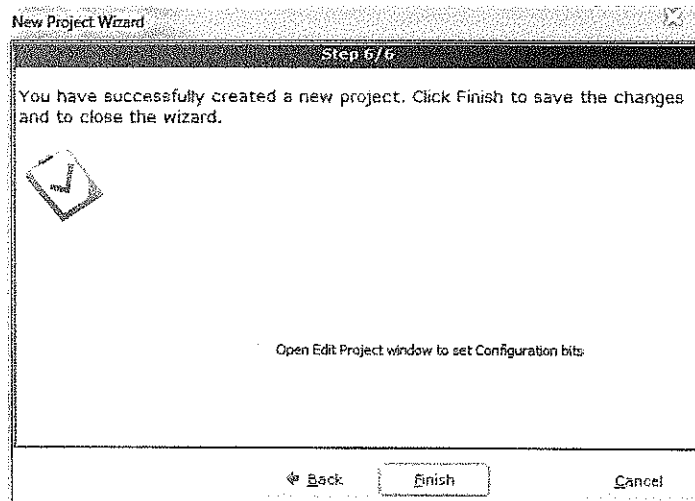


Figura 94. Ventana desplegada en mikroC para finalizar la iniciación de un nuevo proyecto.  
FUENTE: Autores

A partir de este momento ya se puede empezar a ingresar código de programación en C que permitan definir una tarea al MCU. Existen muchas más herramientas que tiene este software, para facilitar la programación u otras tareas importantes para programar.





```
Acelerometro (1);
  ADL2=ADL;
  ADH2=ADH;
Acelerometro (2);
  ADL3=ADL;
  ADH3=ADH;
////Envío de los datos de forma serial a través del puerto UART2////

UART2_Write(H);
UART2_Write(ADL1);
UART2_Write(ADH1);
UART2_Write(ADL2);
UART2_Write(ADH2);
UART2_Write(ADL3);
UART2_Write(ADH3);
UART2_Write(SFR1);
UART2_Write(SFR2);
UART2_Write(CMP);
UART2_Write(ENC1);
UART2_Write(ENC2);
UART2_Write(T);

} // Fin Ciclo
} // Fin del programa
```



```
    M1 = M1 * 3495;      //Calculo de la señal PWM de los 3 canales para su resolución de 16 bits
    M2 = M2 * 3495;
    M3 = M3 * 3495;

    PWM1_MC_Set_Duty(M1, 1); // Envía la señal por los canales respectivos
    delay_ms(10);
    PWM1_MC_Set_Duty(M2, 2);
    delay_ms(10);
    PWM1_MC_Set_Duty(M3, 3);
    delay_ms(10);

} // Fin Ciclo
} // Fin Programa
```

## Anexo 6: Unlead Video Studio

Para el correcto uso de la importadora de video y obtener las imágenes de la cámara inalámbrica, es necesario utilizar el programa Unlead Video Studio el cual es una aplicación que permite la edición de video desde cualquier dispositivo de adquisición de imágenes conectada al computador. Para la correcta detección de la importadora de video y verificar la imagen recibida desde la cámara inalámbrica es necesario iniciar la aplicación.

- En primer lugar se elige la opción de Editor Video Studio



Figura 95. Ventana desplegada en Unlead Visio Studio.  
FUENTE: Autores

Al abrirse la segunda ventana, en las pestañas superiores se selecciona la opción capturar, y luego en capturar video.

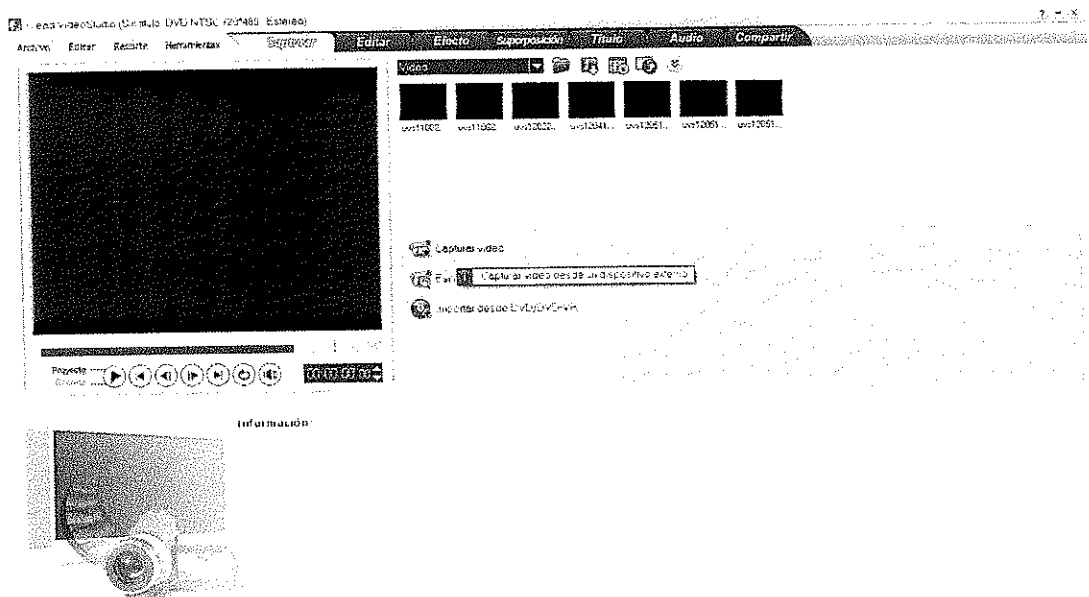


Figura 96. Espacio de trabajo de Unlead Video Studio.  
FUENTE: Autores

El programa tarda un momento reconociendo los dispositivos de adquisición de imágenes conectados al computador, una vez realice este proceso es posible seleccionar el dispositivo que se quiere utilizar, en este caso se utiliza el USB Grabber 2.0 el cual corresponde a la capturadora. Es necesario que esta esté configurada en formato NTSC para que el programa reconozca la señal de video a color.

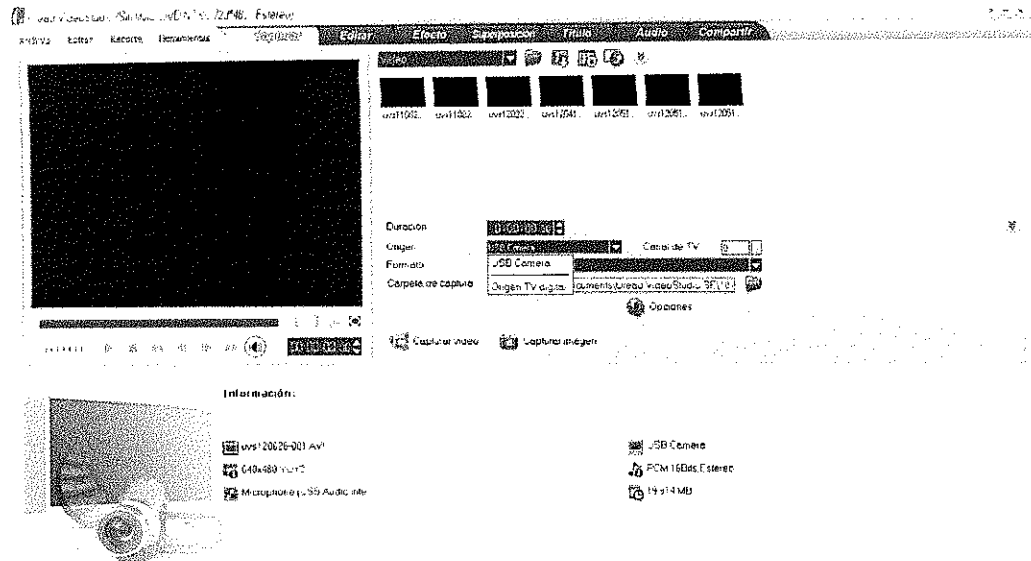


Figura 97. Espacio de trabajo de Unlead Video Studio para determinar la señal de la capturadora de video.  
FUENTE: Autores

## Anexo 7: Diseño de baquelitas

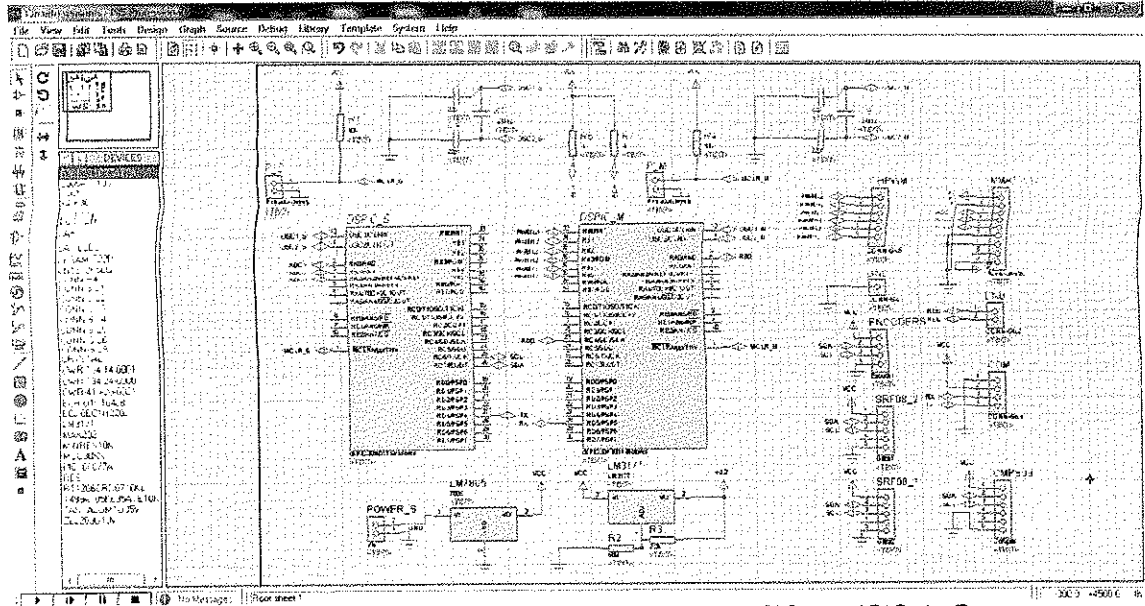


Figura 98. Diagrama esquemático del circuito de los dsPICs en ISIS de Proteus.  
FUENTE: Autores

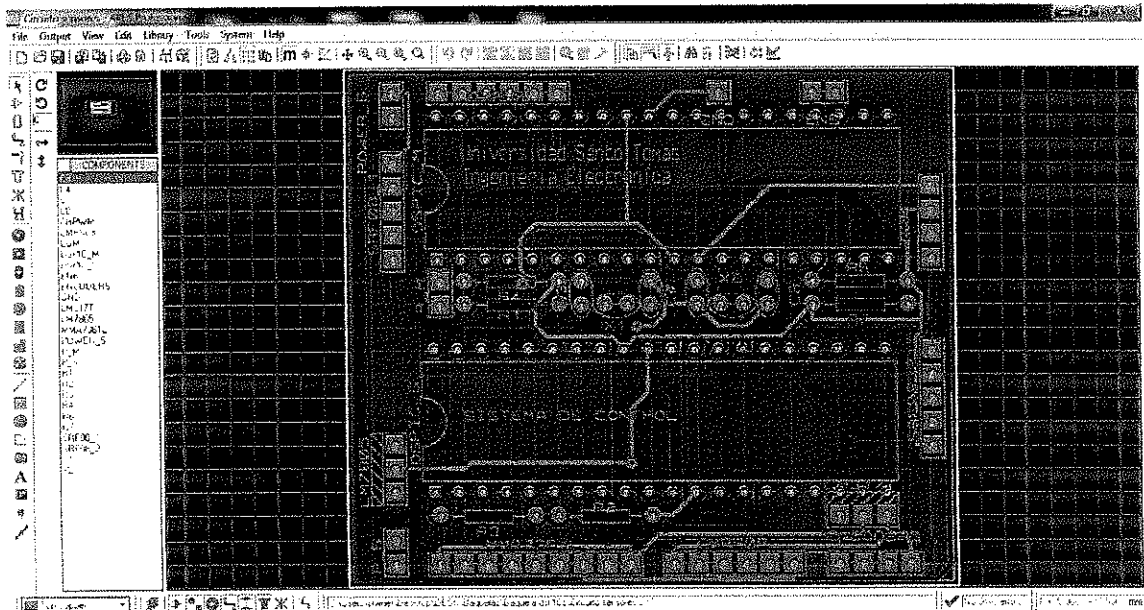


Figura 99. Diseño de la baquelita del circuito de los dsPICs en ARES de Proteus.  
FUENTE: Autores

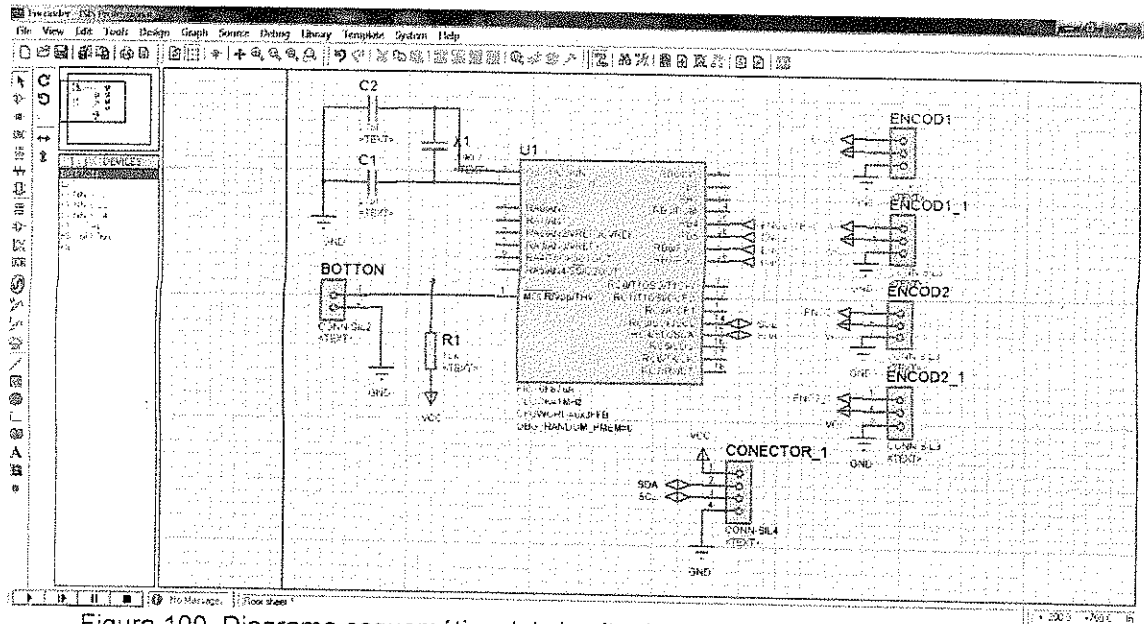


Figura 100. Diagrama esquemático del circuito de los encoders en ISIS de Proteus.  
FUENTE: Autores

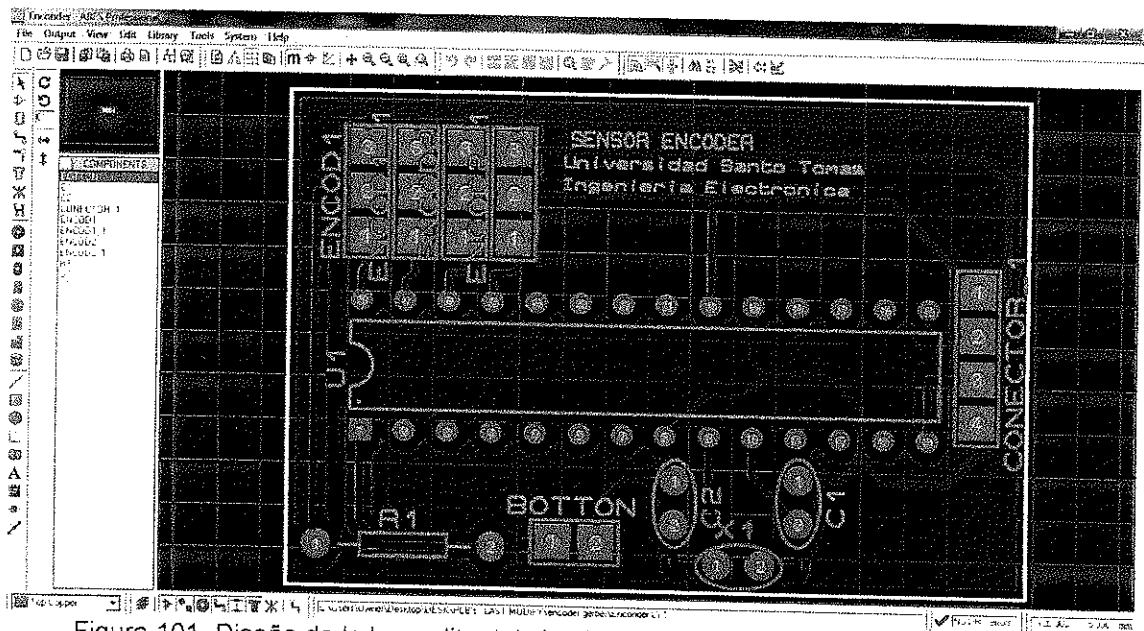


Figura 101. Diseño de la baquelita del circuito de los encoders en ARES de Proteus.  
FUENTE: Autores

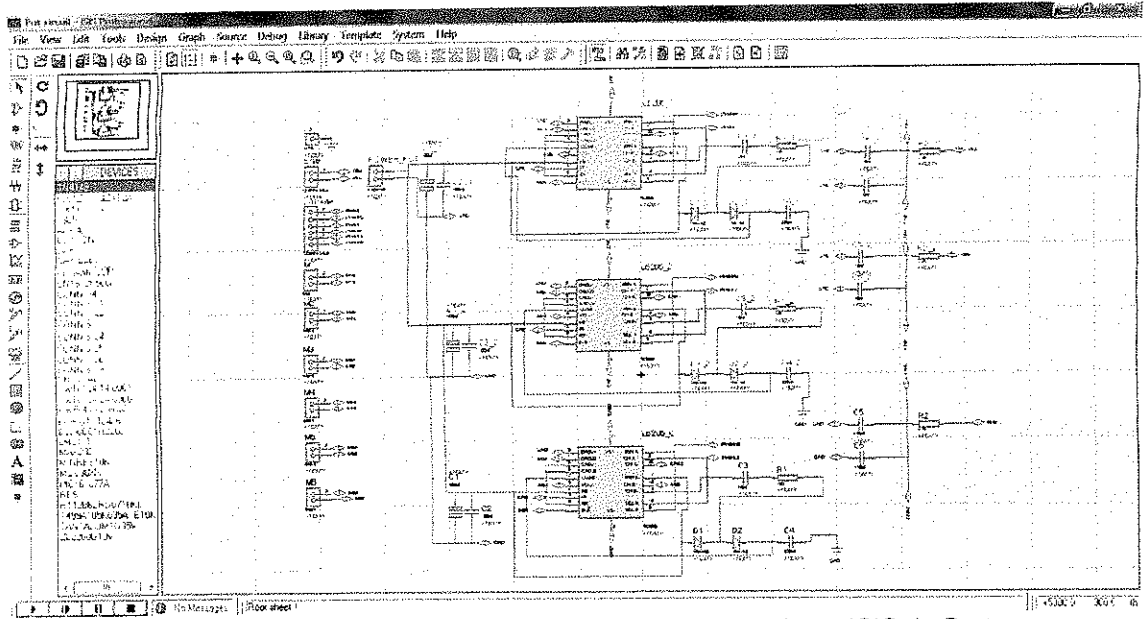


Figura 102. Diagrama esquemático del circuito de potencia en ISIS de Proteus.  
FUENTE: Autores

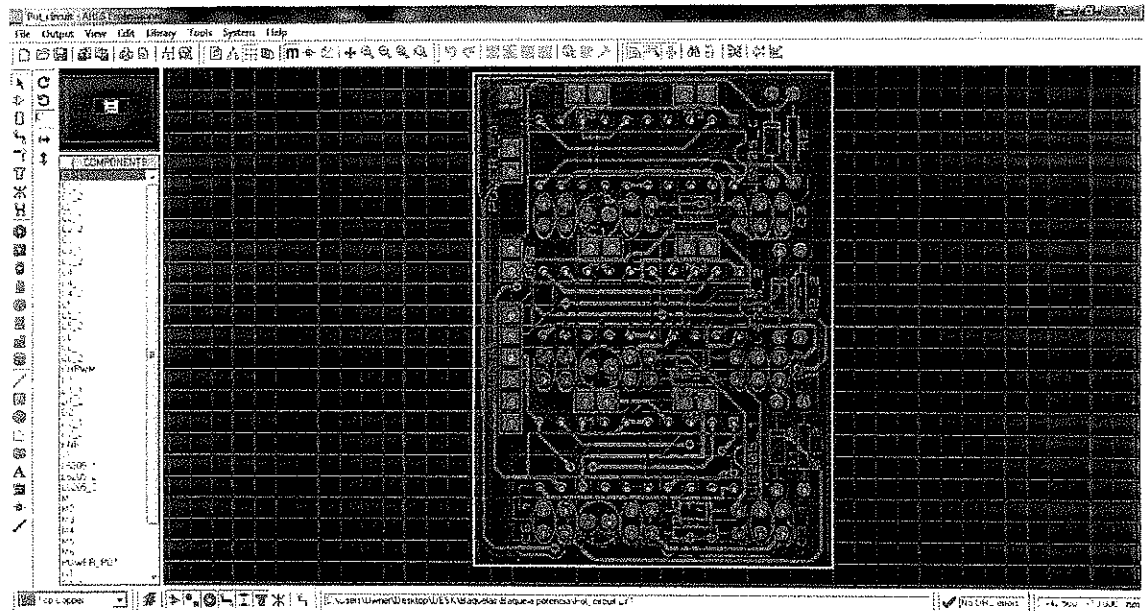


Figura 103. Diseño de la baquelita del circuito de potencia en ARES de Proteus.  
FUENTE: Autores

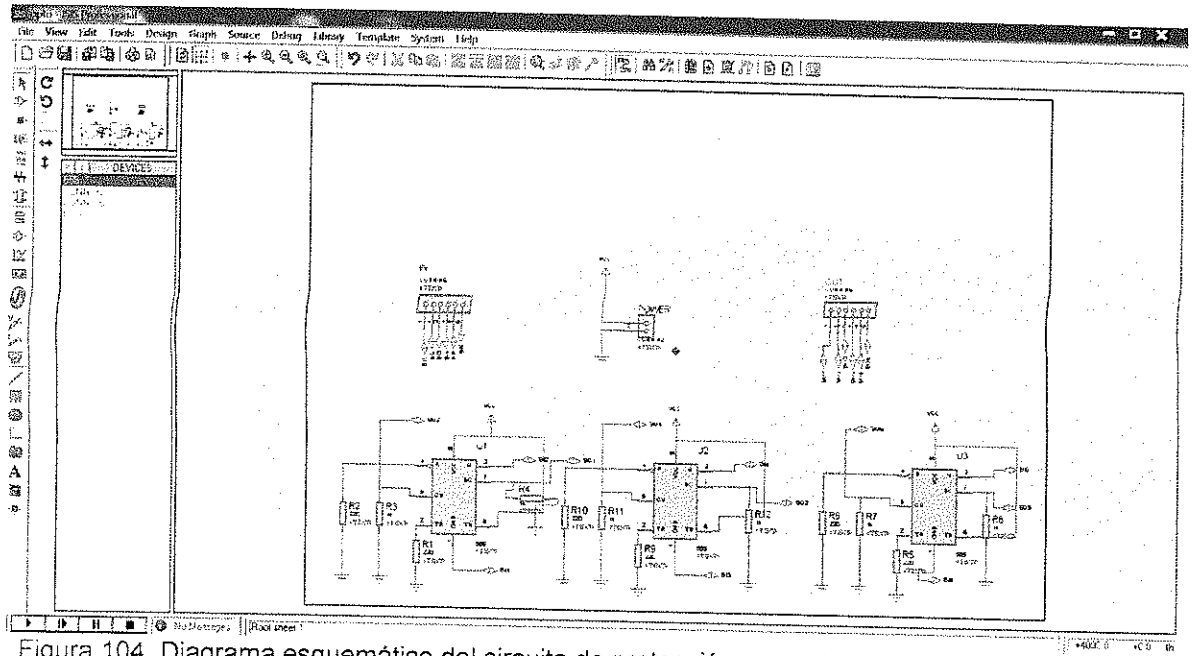


Figura 104. Diagrama esquemático del circuito de protección con opto transistores en ISIS de Proteus.  
FUENTE: Autores

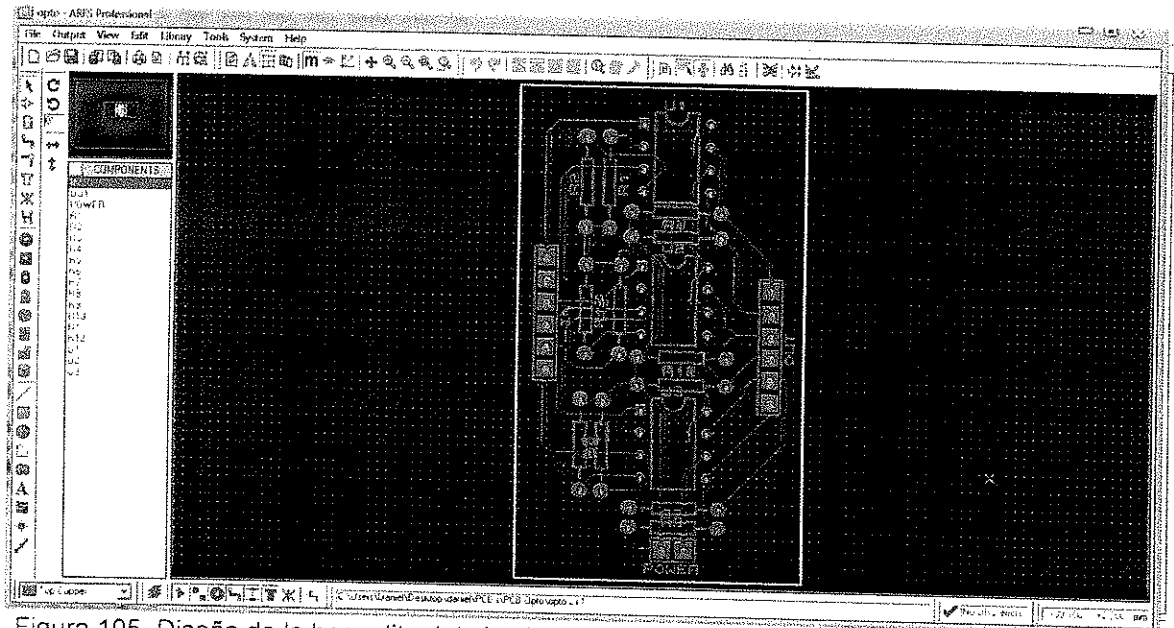


Figura 105. Diseño de la baquelita del circuito de protección con opto transistores en ARES de Proteus.  
FUENTE: Autores

## Anexo 8: Manual de operación

El sistema TGV utiliza el software LabVIEW™ como interfaz de usuario, el cual es muy amigable al manipular y distinguir la información que se tiene del móvil teleoperado, de esta forma el usuario puede interactuar con configuraciones y opciones que se encuentren en el programa para la manipulación del mismo.

La interfaz muestra los datos de los diferentes sensores que se encuentran sobre el dispositivo móvil, donde hay dos ultrasonidos (datos de distancia en centímetros), dos encoders (datos de velocidad en centímetros por segundo), compás magnético, un acelerómetro, la imagen transmitida por la cámara inalámbrica y la ruta que ha realizado el robot. Además de esto muestra el dato de velocidad enviado hacia el robot móvil, todo esto se puede observar en la figura 106, también el programa tiene un sistema de ajuste para que sea correcto el envío de los datos por el mando que consiste en un joystick, como se ve en la figura 107, que se encontrara ajustado mientras que en sus valores iniciales aparezca un punto en la gráfica.



Figura 106. Espacio de trabajo de la interfaz generada en LabVIEW™ panel de Instrumentación.

FUENTE: Autores

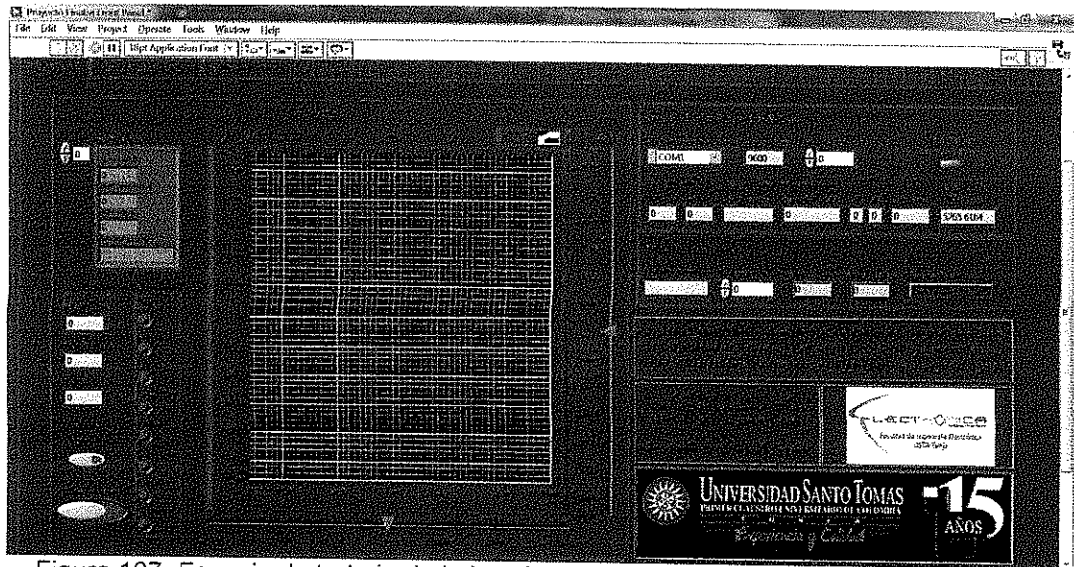


Figura 107. Espacio de trabajo de la interfaz generada en LabVIEW™ panel de Ajuste.  
FUENTE: Autores

### CONEXIONES:

Al PC o laptop que se realice la tarea del control del TGV, se le debe vincular los siguientes módulos.

- Capturadora de video (donde se conecta el receptor de video de la cámara inalámbrica)
- Joystick (que este configurado para envío de datos correctos)
- Módulo de comunicación inalámbrica (MAXTREAM)

### FUNCIONAMIENTO:

El dispositivo debe ser manipulado en el sistema de locomoción, es decir en el TGV, siguiendo estos pasos:

1 Paso: Alimentar el sistema de control con la batería de 2000 miliamperios 7.2 Voltios (cable negro y blanco).

2 Paso: Alimentar el sistema de potencia con la batería de 3000 miliamperios 7.2 Voltios (cable morado y blanco).

Después de haber realizado la manipulación en el TGV, se ingresa al programa ya desarrollado en LabVIEW™, donde lo primero que se debe hacer es asegurarse que en el panel de ajuste la velocidad de comunicación este en 9600 baudios y configurar el puerto de comunicación inalámbrica como lo indica la figura 108, esto depende a que puerto es conectado el modulo, después de esto se debe ejecutar el programa, a continuación se indicara si existe comunicación, a partir de ahora ya se puede observar las diferentes funciones encontradas en el TGV.

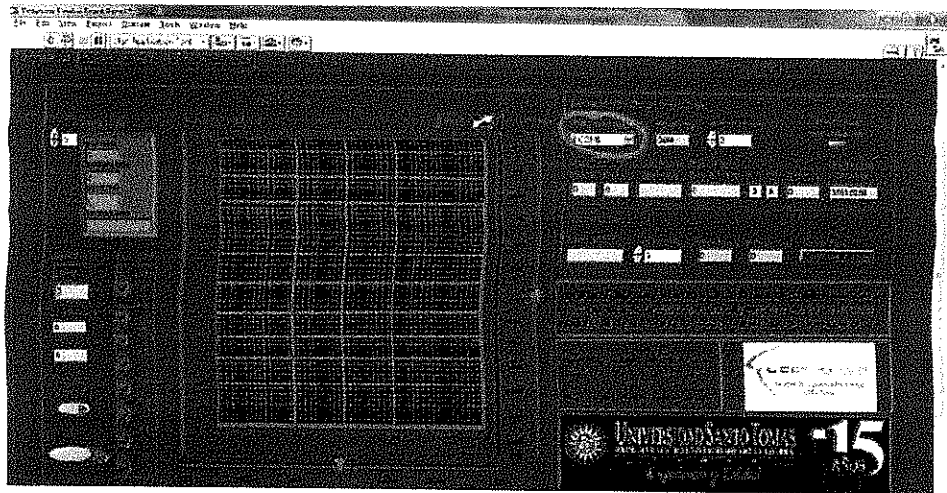


Figura 108. Configuración de la ventana de ajuste.  
FUENTE: Autores

## GLOSARIO

### A

#### **Acelerómetro**

Es cualquier instrumento destinado a medir aceleraciones. Esto no es necesariamente la misma que la aceleración de coordenadas (cambio de la velocidad del dispositivo en el espacio), sino que es el tipo de aceleración asociadas con el fenómeno de peso experimentada por una masa de prueba que se encuentra en el marco de referencia del dispositivo.

#### **Actuadores**

Es un dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o "actuar" otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide). Dependiendo del origen de la fuerza el actuador se denomina "neumático", "hidráulico" o "eléctrico".

#### **Adquisición de datos**

Consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador u otras electrónicas (sistema digital). Consiste, en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora.

#### **Ajuste**

Operación destinada a llevar un instrumento de medida a un estado de funcionamiento conveniente para su utilización. NOTA: El ajuste puede ser automático, semiautomático o manual.

#### **Analógica**

Tipo de señal eléctrica no digital. Las señales análogas o analógicas tienen un número infinito de valores entre los límites altos y bajos de una señal portadora. Por ejemplo, las señales enviadas a través de una línea telefónica por módems son análogas porque representan tonos de audio.

#### **Análogo(a)**

Se refiere a las magnitudes o valores que varían continuamente en el tiempo, tales como distancia, temperatura y velocidad. Estas magnitudes pueden variar de forma muy lenta o muy rápida, como en un sistema de audio.

**Angulares**

Ver Coordenadas.

**Automática**

Ciencia que trata de la eventual sustitución, en la operación de un proceso, del operador humano por un dispositivo, por lo general, electromecánico.

**Automatización**

Se le denomina así a cualquier tarea realizada por máquinas en lugar de personas. Es la sustitución de procedimientos manuales por sistemas de cómputo.

**B****Baudios**

Es una unidad de medida, usada en telecomunicaciones, que representa la cantidad de veces que cambia el estado de una señal en un periodo de tiempo, tanto para señales digitales como para señales analógicas.

**Bobina**

Por su forma característica (espirales de alambre enrollados) almacena energía en forma de campo magnético. Todo cable por el que circula una corriente tiene a su alrededor un campo magnético generado por la mencionada corriente.

**Byte**

Conjunto de 8 bits en el sistema binario de numeración, un byte puede almacenar un número entero entre 0 (00000000) y 256 (28: 11111111); el término es equivalente a octeto (ocasionalmente se habla de byte para un número diferente de bits).

**C****CAD**

La conversión analógica-digital (CAD) consiste en la transcripción de señales analógicas en señales digitales, con el propósito de facilitar su procesamiento (codificación, compresión, etc.) y hacer la señal resultante (la digital) más inmune al ruido y otras interferencias a las que son más sensibles las señales analógicas.

**Cinemática**

Término utilizado en robótica para referirse a las acciones llevadas a cabo por un manipulador y que supone la unión física entre los mandos accionados por el operador y el elemento que efectúa la acción.

**Circuito**

Conjunto de conductores que son recorridos por una corriente eléctrica, y en el cual se encuentran intercalados, aparatos productores o consumidores de esta corriente.

**Circuito integrado**

Chip en el que se encuentran todos o casi todos los componentes electrónicos necesarios para realizar alguna función. Entre estos componentes se tienen: transistores, resistencias, diodos, condensadores, etc.

**CMOS**

(Abreviatura de Complementary Metal Oxide Semiconductor). Tipo de tecnología de semiconductores ampliamente usado. Los semiconductores CMOS utilizan circuitos NMOS (polaridad negativa) y PMOS (polaridad positiva). Dado que sólo un tipo de circuito está activo en un tiempo determinado, los chips CMOS requieren menos energía que los chips que usan sólo un tipo de transistor.

**Compás**

El compás magnético es un instrumento concebido de modo que tienda a señalar cierta dirección azimutal y mantenerla permanentemente, cuyas propiedades direccionales dependen del magnetismo de la tierra.

**Condensador**

Dispositivo eléctrico que permite acumular cargas eléctricas.

**Control analógico**

Mecanismo de control, generalmente automático, en el que la información de control es dada en forma de valores (variables de un modo continuo) de ciertas cantidades físicas (analógicas).

**Coordenadas**

Sistema de ejes para el posicionamiento de un punto en el plano o en el espacio.

**D****Datos**

Hecho verificable sobre la realidad un dato puede ser una medida, una ecuación o cualquier tipo de información que pueda ser verificada (en caso contrario se trataría de una creencia).

**Diferencial**

Un diferencial es el elemento mecánico que permite que las ruedas derechas e izquierdas de un vehículo giren a revoluciones diferentes, según éste se encuentre tomando una curva hacia un lado o hacia el otro.

**Digital**

Dispositivo o método que utiliza variaciones discretas en voltaje, frecuencia, amplitud, ubicación, etc. para cifrar, procesar o transportar señales binarias (0 o 1) para datos informáticos, sonido, vídeo u otra información

**E****Eje**

Cada una de las líneas por las que se puede mover el robot o algún elemento de su estructura). Cada eje define un grado de libertad del robot.

**Electrónica**

La electrónica es la rama de la física y especialización de la ingeniería, que estudia y emplea sistemas cuyo funcionamiento se basa en la conducción y el control del flujo microscópico de los electrones u otras partículas cargadas eléctricamente.

**Elemento**

Componente de la estructura de un manipulador.

**Encoder**

Un encoder es un dispositivo, convierte la información de un formato o código a otro, a los efectos de la velocidad.

**Explorar**

Recorrer un lugar para conocerlo o descubrir lo que hay en él

**F****Fuente de poder**

Unidad que suministra energía eléctrica a otro componente de una máquina.

**G****Giro**

Movimiento básico de un manipulador

**Grado de libertad**

Concepto que describe las direcciones en que puede moverse el brazo de un robot. En general, a más articulaciones, más grados de libertad.

## H

### HMI

Interfaz de usuario por sus siglas en idioma inglés, (Human Machine Interface) *que se usa para referirse a la interacción entre humanos y máquinas; Aplicable a sistemas de Automatización de procesos.*

## I

### I<sup>2</sup>C

Es un bus de comunicaciones en serie. Su nombre viene de *Inter-Integrated Circuit* (Circuitos Inter-Integrados). La principal característica de I<sup>2</sup>C es que utiliza dos líneas para transmitir la información: una para los datos y por otra la señal de reloj. También es necesaria una tercera línea, pero esta sólo es la referencia (masa).

### Instrumentación

Es la parte de la electrónica, principalmente analógica, que se encarga del diseño y manejo de los aparatos electrónicos y eléctricos, sobre todo para su uso en mediciones.

La instrumentación electrónica se aplica en el sensado y procesamiento de la información proveniente de variables físicas y químicas, a partir de las cuales realiza el monitoreo y control de procesos, empleando dispositivos y tecnologías electrónicas.

### Interfaz

Conexión física y funcional entre dos aparatos o sistemas que utilizan diferentes lenguajes de comunicación

### Intersección

En geometría, la intersección es el corte de dos curvas, dos superficies o dos sólidos, que es respectivamente, un punto, una recta o una superficie. La intersección geométrica es un caso particular de intersección de conjuntos.

## L

### LabVIEW™

Es una herramienta gráfica para pruebas, control y diseño mediante la programación. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Gráfico. Este programa fue creado por National Instruments (1976) para funcionar sobre máquinas MAC, salió al mercado por primera vez en 1986. Ahora está disponible para las plataformas Windows, UNIX, MAC y GNU/Linux.

**Librerías de programación**

Conjunto de archivos de computador que agregan nuevas capacidades a un lenguaje de computación específico.

**Locomoción**

Acción de trasladarse de un lugar a otro

**M****Manipulador**

En general, cualquier dispositivo mecánico capaz de reproducir los movimientos humanos para la manipulación de objetos. En particular, suele referirse a los elementos mecánicos de un robot que producen su adecuado posicionamiento y operación.

**Micrón (micra)**

Medida de longitud. Corresponde a la millonésima parte de un metro.

**Motor**

Máquina destinada a producir movimiento a expensas de otra fuente de energía

**Motor eléctrico**

Motor que requiere de una corriente eléctrica para su funcionamiento. Existen diversos tipos de motores eléctricos, entre los que se destacan los de corriente continua (como los de los juguetes a pilas) y los de corriente alterna (como los de los electrodomésticos). Los más utilizados en robótica educativa son los de corriente continua.

**O****Odometría**

Es el estudio de la estimación de la posición de vehículos con ruedas durante la navegación. Para realizar esta estimación se usa información sobre la rotación de las ruedas para estimar cambios en la posición a lo largo del tiempo. Este término también se usa a veces para referirse a la distancia que ha recorrido uno de estos vehículos.

**P****PWM**

La modulación por ancho de pulsos (también conocida como PWM, siglas en inglés de *Pulse-Width Modulation*) de una señal o fuente de energía es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica

(una sinusoidal o una cuadrada, por ejemplo), ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

### **Puerto**

Dispositivo presente en los computadores y que permite conectar otros dispositivos, como ser una interfaz, impresora, un mouse etc.

## **R**

### **Resistencia**

Es la oposición que ofrece un material al paso de los electrones (la corriente eléctrica). Cuando el material tiene muchos electrones libres, como es el caso de los metales, permite el paso de los electrones con facilidad y se le llama conductor.

### **RCA**

El conector RCA es un tipo negro de conector eléctrico común en el mercado audiovisual. El nombre "RCA" deriva de la Radio Corporation of America, que introdujo el diseño en los 1940.

### **Robot**

La definición adoptada por el Instituto Norteamericano de Robótica aceptada internacionalmente para Robot es: "Manipulador multifuncional y reprogramable, diseñado para mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales, mediante movimientos programados y variables que permiten llevar a cabo diversas tareas".

### **Robótica**

Rama de la Inteligencia Artificial que se ocupa de las máquinas inteligentes.

### **Rotación**

Movimiento básico de un manipulador

## **S**

### **Semiconductores**

Materiales no conductores que mediante la adición de ciertas impurezas, conducen la corriente bajo ciertas condiciones. No es directamente un conductor de corriente, pero tampoco es un aislante.

### **Sensor**

Dispositivo que detecta una determinada acción externa, tal como temperatura, presión, etc., y la transmite adecuadamente. Componente fundamental a cualquier robot, cuyo programa computacional decide que hacer basándose en esa información y en sus propias instrucciones.

## T

### **Telecomunicación**

Es una técnica consistente en transmitir un mensaje desde un punto a otro, normalmente con el atributo típico adicional de ser bidireccional. El término *telecomunicación* cubre todas las formas de comunicación a distancia, incluyendo radio, telegrafía, televisión, telefonía, transmisión de datos e interconexión de computadoras a nivel de enlace.

### **Transistor**

Contracción de las palabras inglesas *transfer resistor*. Es decir, de resistencia de transferencia. Es un dispositivo electrónico semiconductor que se utiliza como amplificador o conmutador electrónico y es un componente clave en toda la electrónica moderna, donde es ampliamente utilizado.

## U

### **UART**

UART son las siglas de "Universal Asynchronous Receiver-Transmitter" (en español, *Transmisor-Receptor Asíncrono Universal*). Éste controla los puertos y dispositivos serie. Se encuentra integrado en la placa base o en la tarjeta adaptadora del dispositivo.

### **Ultrasonido**

El ultrasonido es una onda acústica o sonora cuya frecuencia está por encima del espectro auditivo del oído humano (aproximadamente 20.000 Hz).

### **USB**

El Universal Serial Bus (bus universal en serie USB) es un estándar industrial desarrollado en los años 1990 que define los cables, conectores y protocolos usados en un bus para conectar, comunicar y proveer de alimentación eléctrica entre ordenadores y periféricos y dispositivos electrónicos.

## INDICE ALFABETICO

### A

Acelerómetro, 40  
Actuadores, 64  
Ajuste  
  Panel de, 106

### C

Cinemático  
  Modelamiento del sistema diferencial, 97  
Comunicación, 48  
  Característica TGV, 26

### D

Drivers, 65  
dsPIC  
  30f4011, 55  
  Motores, 60  
  Sensores, 57

### E

Encoder  
  Optico, 42  
Encoders  
  Optico VEX, 43

### G

grafica  
  Descripcion de rutas, 96

### H

HMI, 25

### I

I<sup>2</sup>C, 48  
Instrumentación  
  Panel de, 107  
Interfaz  
  UART, 51  
Interfaz  
  Grafica de usuario, 106  
  Tarjeta MaxStream, 54

### J

Joystick, 77

### L

LabVIEW, 62, 78, 87, 88, 91, 111, 112, 114, 141, 142  
Locomoción, 23, 26, 61, 70, 71, 72, 73, 74, 92, 117,  
  142

### M

MaxStream, 51, 53, 54, 55, 106, 122, 123

### O

Odometría, 96, 104

### P

PIC, 32, 45, 55, 58, 117  
PWM, 38, 39, 56, 60, 61, 62, 65, 69, 116, 133, 134

### R

RCA, 47, 92  
Recepción, 52, 88  
Robótica, 19, 20, 21, 23, 38, 64, 72, 73, 74

### S

SCL, 32, 45, 49, 50, 57, 58  
SDA, 32, 34, 45, 49, 50, 57, 58  
Sensor  
  Efecto Hall, 37  
  Magneto Resistivo, 37  
  Posicion magnetica, 36  
  Posicion Ultrasonico, 29  
Sensores, 29

### T

Teleoperación, 26, 92  
Telerrobótica, 20, 21  
TGV, 1, 2, 22, 23, 24, 29, 130, 133, 141, 142  
Transmisión, 26

## U

UART, 51, 56, 133

Ultrasonido, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 50, 57, 59, 75, 102, 103, 117, 130

USB, 52, 53, 77, 92, 122, 136

## V

Velocidad, 20, 22, 23, 29, 30, 38, 45, 48, 51, 52, 55, 56, 57, 59, 60, 61, 62, 65, 69, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 79, 80, 81, 82, 84, 85, 86, 88, 89, 91, 92, 94, 98, 100, 101, 104, 105, 106, 108, 122, 124, 131, 141, 142

VEX, 43, 50, 64, 65, 70, 72, 73, 74, 76, 117

Video, 92, 135

VISA, 88, 89, 90, 91

Visualización, 21, 22, 51, 92, 94, 108, 109

## Z

Zona muerta, 31

- [18] Microchip, "dsPIC30F4011/4012 Data Sheet," *Technology*, 2005.
- [19] Vex Robotics, "Vex Robotics Products." [Online]. Available: <http://www.vexrobotics.com/products/>.
- [20] T. Semiconductors, "L6205 DMOS DUAL FULL BRIDGE DRIVER," no. September. pp. 1-21, 2003.
- [21] S. Alves, M. Ros, and P. Byron, "Mobile Robotic Teleoperation using Gesture-Based Human Interfaces," *Mechanical Engineering*.
- [22] N. Instruments, "NI-IMAQdx User Manual," 2006. [Online]. Available: <http://www.ni.com/pdf/manuals/371970a.pdf>.
- [23] G. R. B. Bohórquez, "Modelamiento cinemático y odométrico de robot móviles Aspectos matemáticos," 2003.
- [24] Y. Yun, B. Park, and W. K. Chung, "Odometry calibration using home positioning function for mobile robot," *2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 2116-2121, May 2008.
- [25] R. J. Hyndman, "The problem with Sturges' rule for constructing histograms," no. July, pp. 1-2, 1995.
- [26] MikroElektronika, "mikroC PRO for dsPIC™," *Options*.
- [27] K. Nagatani, A. Yamasaki, and K. Yoshida, "Improvement of the Operability of a Tracked Vehicle on Uneven Terrain using Autonomous Control of Active Flippers," *Test*, pp. 2717-2718, 2008.
- [28] A. M. Pustowka, A. F. Suarez, E. F. Caicedo, and H. Loaiza, "Navegación autónoma en pasillos usando el punto de fuga y el mapa de disparidad," *Symposium A Quarterly Journal In Modern Foreign Literatures*, pp. 1-6, 2011.
- [29] G. Fink, C. Lo, and N. A. Daniel, "Navigation Functions in Conformal Geometric Algebra."
- [30] T. T. Ribeiro, J. Torres, J. S. Junior, and A. Loureiro, "Real-time Microprocessed System Applied to Mobile Robots Control," *System*.
- [31] J. Corredor and J. Sofrony, "Shared control based on roles for telerobotic systems," *IX Latin American Robotics Symposium and IEEE Colombian Conference on Automatic Control, 2011 IEEE*, pp. 1-6, Oct. 2011.
- [32] C. M. Marin, O. P. Carrillo, J. R. Medina, and C. Ot, "Sistema de Adquisición para una Aeronave No Tripulada," *Electrical Engineering*.
- [33] K. Ohno, "Trials of 3-D Map Construction Using the Tele-operated Tracked Vehicle Kenaf at Disaster City," *Control*, pp. 2864-2870, 2010.

- [34] V. J. Delgado, P. R. Kurka, and E. Cardozo, "Visual odometry in mobile robots," *IX Latin American Robotics Symposium and IEEE Colombian Conference on Automatic Control, 2011 IEEE*, no. 1, pp. 1-4, Oct. 2011.
- [35] F. Niño, H. R. Chamorro, and R. Ferro, "Wireless Communication Platform Applied to Monitor and Drive a Homing Robot," *Interface*.