

# Telemetría y tele-robótica: Implementación y pruebas de módulos de transceptores RF de baja potencia y bajo costo en prototipos de robots de exploración básicos, basado en rendimiento de largo alcance.

Benjamín Ramos Olán y Sydney J. Dominguez Domínguez  
Facultad de Ingeniería y Tecnología  
Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones  
Universidad de Montemorelos

El presente proyecto de titulación consiste en la búsqueda, adquisición e implementación de dispositivos de radio frecuencia de espectro libre con bajo consumo de energía, bajo costo, disponibilidad del mercado local y, además, su implementación con la posibilidad de envío y recepción de datos a largas distancias. Se plantea su uso en telemetría y tele-robótica con operaciones robot-control a larga distancia.

Para la aplicación de este proyecto, se plantea implementar los sistemas de comunicaciones en robots móviles, uno terrestre y un avión no tripulado. Los datos de telemetría serán desplegados en una computadora mediante comunicación serial a través de la tecnología arduino.

*Keywords:* Tele-robótica, telemetría, módulos RF, rover, drone.

## Introducción

El avance del ser humano en la tecnología va a pasos consecutivos, y su ideal es poder expandirse hacia lo desconocido, dando así la posibilidad de explorar más allá de las fronteras presentes.

Desde la invención del telégrafo cerca del año 1837 y con los avances de la robótica que data de la antigüedad con las máquinas mecánicas capaces de realizar tareas específicas y que mejoraron debido a la llegada del transistor y la computación actual, se puede lograr la consolidación de la manipulación de tareas de forma remota.<sup>1</sup>

A la llegada de las comunicaciones inalámbricas, la forma de comunicación dio un giro, pues ya no se limitaba a un espacio específico debido a la infraestructura, más bien, se permitió la movilidad y la escalabilidad a espacios y distancias cada vez mayores. Con esto, el ser humano ha logrado llegar a objetivos superiores, donde la presencia y trabajo humano puede ser reemplazado para alcanzar lugares con alto riesgo e incluso en un entorno fuera de nuestro globo terráqueo.

A partir de todo el desarrollo descrito, aparecen los conceptos de “telerobótica” y “telemetría” que hacen referencia al control/operación y medición a distancia y la medición remota, respectivamente. Así, el ser humano ha sido capaz de alcanzar suelo extraterrestre tales como la luna y marte, donde sus ojos, narices y manos han sido robots que son capaces de obtener información de su objetivo y poder transmitir a miles de kilómetros mediante el espectro electromagnético.

Mediante el desarrollo de este proyecto que es orientado a la exploración remota, se utilizará simplemente algunos componentes de radiofrecuencia de bajo costo y bajo consu-

mo de energía para ver su capacidad de alcance y rendimiento, llevando a cabo pruebas técnicas por aire y por tierra a una distancia de entre los 100 y 500 metros. Además, dará inicio a un futuro proyecto de una integración multidisciplinaria de basado en el desarrollo de un robot de exploración, con desarrollo e innovación de la facultad de ingeniería y tecnología (FITEC) de la Universidad de Montemorelos.

## Antecedentes

La comunicación es un factor importante en la sociedad moderna, donde los flujos de datos son cada vez más grandes y se requiere de mejores canales para transportar la información de un lugar hacia otro. Por eso, con la llegada de las telecomunicaciones, desde el telégrafo, hasta las comunicaciones móviles, dan relevancia al hecho de que sería mejor si se utiliza la cantidad mínima de cables.<sup>1</sup>

La utilización del espectro electromagnético para radiofrecuencias ha permitido grandes avances en las comunicaciones, no solo para telefonía celular, también lo ha hecho en los grandes flujos de datos en internet e incluso a través del espacio exterior.

El campo de la robótica y la exploración se han ido desarrollando e innovando con el pasar de los tiempos. Grandes universidades y centros de investigación, como agencias estatales, invierten cada vez más en este rubro, pues se permite dar paso al ser humano a lugares inaccesibles para la raza humana.

Durante el gobierno de la URSS en la guerra fría, en los terrenos de la actual Ucrania se desató el accidente catastrófico que marcó la historia de la ciencia nuclear, el desastre de

Chernóbil. Después del desastre, Europa e incluso el mundo se veía involucrado en un problema de radiación y, lo que se debía hacer hasta lo imposible para mitigar el gran problema de contaminación por radiación. Cabe saber que, en el centro del accidente, justo en el reactor se concentraban los elementos que se provenían del núcleo y por tanto altamente radiactivos. No obstante, una persona no podría hacer esos trabajos debido a la mortífera cantidad de radiación, así que intentaron usar los sistemas de robots soviéticos que se preparaban para exploraciones espaciales, así como también robots alemanes. Sin embargo, al no especificar los niveles reales de radiación y la no preparación de protección, estos terminaron por colapsar los circuitos.<sup>2,3</sup>

Esto tan solo fue un caso dentro de los cuales se encuentra la utilidad en la innovación del campo de la telemetría y la tele-robótica. Si hubiesen estado mejor preparados, quizás podría haber disminuido la cantidad de 'biorobots' o personas expuestas a la radiación. Aunque existe una agencia espacial en México creada en el 2010, ésta se encuentra en estado inicial, por lo que su nivel de desarrollo e incluso su presupuesto se encuentran limitados, sin embargo, ante una propuesta con el tecnológico de monterrey, un servidor, pactaba en la realización de un rover de exploración lunar lo más adaptado a la realidad, sin embargo, al ser cancelada la participación, se propone hacer la iniciativa de comenzar un proyecto multidisciplinario en la facultad de ingeniería y tecnología de la Universidad de Morelia, la cual, adicionalmente, permitirá el desarrollo de una tecnología que permita incursionar en el ámbito tecnológico y explotar la capacidad de cada estudiante participante.

### Definición del problema

Actualmente existen grandes desarrollos en el área de la tele-robótica y la telemetría, ya sea por compañías militares, espaciales, agencias gubernamentales y grandes universidades, quienes trabajan en la innovación de los diversos campos tecnológicos, debido los grandes retos que representa el poder llegar a lugares donde la presencia del ser humano no es posible directamente o permitir la fluidez de la información fuera de las fronteras.

De acuerdo a lo anterior, se hace énfasis en la importancia de que el país pueda desarrollar su propia tecnología en ámbitos de la exploración, además, viendo que, en la Facultad de Ingeniería y tecnología de la Universidad de Morelia, falta un enfoque gradual de desarrollo hacia el área de comunicaciones y más aún, la implementación y desarrollo de un proyecto de integración de las diversas disciplinas compatibles, se plantea la oportunidad de introducirse en tales aplicaciones. En una ocasión se obtuvo un vehículo robótico de exploración otorgado por personal extranjero, sin embargo, falta implementar líneas de proyectos con un desarrollo constante de innovación tecnológica, que permita incluso participar en programas nacionales e internacionales y que,

además, permita explotar el desarrollo de las habilidades y conocimientos adquiridos.

Como parte del inicio de este camino, destaca la oportunidad de comenzar a introducirse en el campo específico de la telemetría y la tele-robótica, por lo que se plantea la opción de trabajar con dispositivos transceptores disponibles en el mercado nacional con bajos costos, que permita trabajar, como es requerido, distancias grandes de manera óptima.

### Limitaciones

Problemas de suplementos de componentes de hardware de repuestos y materiales debido a la contingencia mundial por el covid19.

Falta de acceso de espacios abiertos con grandes distancias, debido al cierre de la universidad por el mismo motivo anterior.

Presupuesto limitado para implementar componentes caros como motores, llantas y baterías.

### Delimitaciones

Los prototipos de robots móviles serán de estructura y funciones básicas, dando opción de lectura de hasta 3 datos de telemetría.

Debido a las limitaciones de espacios, se emplearán pruebas menores a los 500 debido a los espacios disponibles en el campo de la universidad.

### Justificación

El papel de las comunicaciones es fundamental sobre los nuevos proyectos que requieren la ausencia de la presencia humana, como lo son el monitoreo de ciertos procesos distantes a un solo centro de control o, más aún, las exploraciones espaciales en las cuales el ser humano no es capaz de viajar todavía. Para ello, se requiere una gran infraestructura tecnológica que permita observar y cuantificar diversas variables en entornos desconocidos.

Además, si se encuentran en espacios complicados o simplemente peligrosos, es necesario tomar todas las muestras obtenidas y ser transmitidas a través de grandes distancias.

Actualmente, las grandes compañías dedicadas a exploraciones espaciales cuentan con tecnologías avanzadas en el ramo. Estas tienen acceso al desarrollo de componentes y sistemas de muy alta calidad que permite adaptarse a las condiciones más brutales de su destino con un margen de error pequeño, por lo cual, se invierte un gran capital económico y humano.<sup>4,5</sup>

Como proyecto de investigación, se quiere lograr implementar una línea de investigación y desarrollo multidisciplinaria hacia un robot explorador móvil que permita la observación de espacios de riesgo o no accesibles y, finalmente adaptarse a terrenos extremos tales como la superficie lunar o marciana.

Este proyecto será el punto de partida y buscará trabajar y los dispositivos de transmisión existentes en el mercado, de tal manera que se pueda conocer que dispositivos pueden ser más óptimos para una telemetría y tele-robótica basada en un alcance medio, manteniendo una conexión óptima para la aplicación determinada.

Al tener este sistema, será benéfico para montarlo sobre un dron que permita la transmisión de datos distantes, enviando señales de muestras capturadas en su ubicación. Además, como proyecto multidisciplinario, podrá integrarse a un robot de explorador o vehículo móvil, quien requerirá diversas etapas para alcanzar un desarrollo de una tecnología de telecomunicaciones propia de la institución, de tal manera que se pueda innovar sobre esa área.

## Objetivos

**Generales.** Implementar un sistema de telemetría y tele-robótica en bandas libres a través de dispositivos de comunicación RF de bajo costo y con disponibilidad en el mercado nacional, de tal manera que permita el desarrollo y experimentación en el área de la robótica y las telecomunicaciones, implementando nuevas tecnologías para investigación y desarrollo.

### Específicos.

- Búsqueda de dispositivos de transmisión de radiofrecuencia circulantes en el mercado nacional.
- Selección de dispositivos transceptores con bajo costo y mayor alcance de transmisión.
- Implementación de un sistema de telemetría y tele-robótica en un prototipo de robot móvil de exploración con funciones básicas.
- Implementación de un sistema de telemetría y tele-robótica en un prototipo de robot móvil de tipo avión no tripulado con funciones básicas.
- Diseño de un prototipo de control de operaciones de tele-robótica con conexión serial a un ordenador para visualización de datos de telemetría.
- Pruebas experimentales del funcionamiento de los sistemas de los dos modelos prototipos, cada uno con los 2 dispositivos transceptores seleccionados.

## Hipótesis

¿Es posible implementar un sistema de telemetría y tele-robótica en robots móviles básicos que permita un trabajo óptimo en distancias mayores a los 200 metros, utilizando dispositivos transceptores de bajo costo y baja potencia?

## Fundamentos Teóricos

### Marco Teórico

**Las telecomunicaciones.** Cada día que despertamos y vivimos en nuestras actividades cotidianas, estamos en constante uso de las tecnologías de telecomunicaciones. Enviamos mensajes instantáneos, descargamos videos, enviamos correos electrónicos, hacemos llamadas telefónicas y entre otras actividades que hacen evidenciar la gran dependencia e importancia de ellas en nuestra vida moderna. Finalmente, los sistemas de comunicaciones cumplen su función principal, transportar información de un lugar a otro.

Las sociedades y las economías globales dependen demasiado de una infraestructura de telecomunicaciones, tanto que, si un día hay una falla general prolongada, se generaría un caos y desestabilidad, al igual que con la energía eléctrica. Eso es un indicador de cuan dependiente y arraigado se está de esta herramienta.

Según <sup>6</sup>, el concepto de telecomunicación expresa directamente “Toda transmisión, emisión o recepción de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos o informaciones de cualquier naturaleza por hilo, radioelectricidad, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos.”

La historia de las comunicaciones modernas se remonta al año 1837, cuando Samuel Morse logró desarrollar un sistema de comunicación a distancia que lo convertiría en el primer así llamado primer sistema electrónico de telecomunicaciones, el cual llamó telégrafo. Esto según la historia debido a las pláticas que escuchó mientras viajaba a su país por barco después de su estancia en Europa y su dedicación al estudio de los fenómenos de la inducción electromagnética. Además, con ayuda de su amigo y colega inventor Alfred Vail, creó al sistema que lleva su nombre, el código morse que actualmente se rige por los patrones puntoraya-espacio y que además, han dado pauta a la base para el desarrollo de los sistemas electrónicos modernos, esto es, al sistema binario.<sup>7</sup>

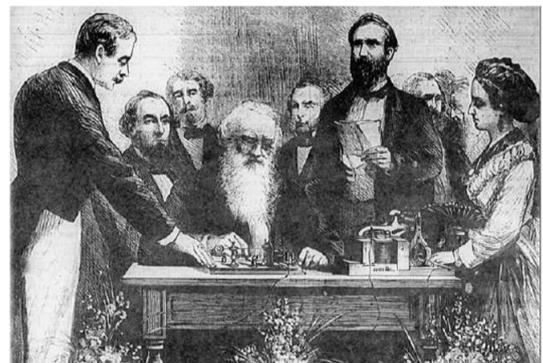


Figura 1. Representación de la exposición del primer sistema de comunicación electrónica (Imagen tomada del buscador Google)

Más tarde llegarían Graham Bell y Thomas Watson con

otro invento revolucionario; el teléfono. Llegaría en el año 1876 para poder transferir la voz humana mediante un pequeño sistema basado en cables de hilos de metal y con la ayuda de un transductor (micrófono). Ahora el recorrido se trasporta de américa hacia la cuna de grandes científicos e inventores, Italia. Allí, en el año 1894 el gran ingeniero e inventor Guglielmo Marconi logró transmitir por primera vez señales de radio sin utilizar un sistema de cableado a través la atmósfera terrestre. Como complemento a Marconi, llegaría más tarde el inventor estadounidense Lee De Forest con la patente llamada ‘el triodo’, que es el primer amplificador de señales eléctricas mediante tubos de vacíos.

Finalmente, en el año 1920, surgió la radio comercial basadas en la amplitud modulada, conocida actualmente como señal AM y para el 1933, Edwin Howard introdujo la modulación de frecuencias o conocida como FM. Esta comenzó sus transmisiones en el año 1936.

Hasta estos momentos, los sistemas implementados eran muy robustos debido a la implementación de componentes de gran volumen, como el caso de los tubos de vacío. Sin embargo, llegaría un dispositivo que revolucionaría la forma de comunicarnos; el transistor. Este dispositivo ha mejorado y cambiado incluso el diseño de los sistemas de comunicaciones modernos, pues permite que sean más eficientes y con menor volumen, además de ser parte del desarrollo de los sistemas digitales, base de la infraestructura utilizada actualmente. La figura 2 muestra el primer transistor bipolar.

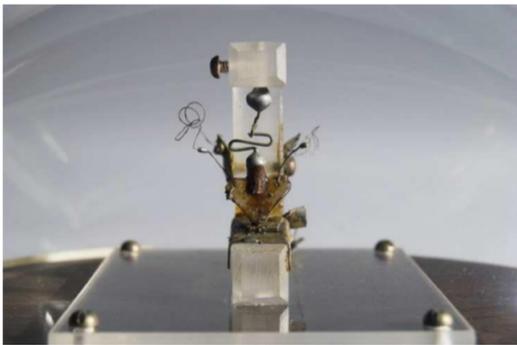


Figura 2. Primer transistor bipolar de la historia en el año 1947 (taken from Hipertextual)

Los elementos básicos de la comunicación humana están integrados por un emisor del mensaje o comunicador, el receptor, el mensaje, el canal o medio para comunicar y sus reglas. Este mismo esquema es utilizado dentro de los protocolos de comunicaciones electrónicas, sin embargo, requieren de técnicas complejas y años de investigación para mejorar su funcionamiento. La figura 3 muestra un diagrama de los elementos básicos de la comunicación, y la figura 4 muestra un diagrama de los elementos de un sistema de comunicaciones electrónicas.

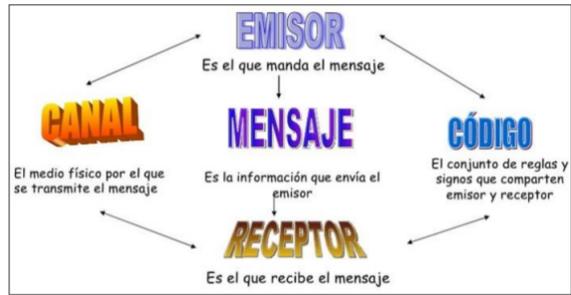


Figura 3. Elementos básicos del proceso de la comunicación (Taken from <http://www.elementosdelacomunicacion.com>)

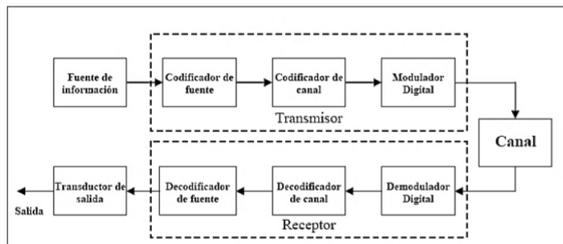


Figura 4. Elementos básicos de un sistema electrónico de comunicaciones

Actualmente, tenemos a disposición diversos medios o canales de transmisión. En sus inicios todo estaba bajo el dominio de los sistemas de cableados, sin embargo, ahora no solo disponemos de cables, también hay otros recursos tales como la fibra óptica y en el que se centra esta investigación, es decir, las ondas electromagnéticas como medio no guiado.

### Espectro electromagnético

Vemos nuestro mundo lleno de masas y energías que terminan produciendo todo lo que vemos y observamos, pues a pesar de que nuestros ojos tienen un límite de observación de colores o interpretación de la luz, existen muchas más frecuencias en nuestro universo, pues la luz está dada en función de la frecuencia. La figura 5 muestra una representación general del espectro electromagnético, mientras que la figura 6 muestra el espectro radioeléctrico.



Figura 5. Espectro electromagnético general

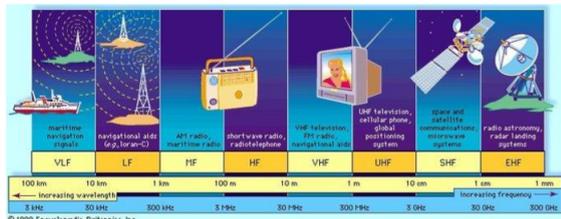


Figura 6. Espectro radioeléctrico (Enciclopedia británica)

**Robótica**

El ser humano desde la antigüedad ha empleado diversos modelos de máquinas que van desde reducir los esfuerzos humanos hasta el reemplazo de la presencia directa de una persona para cumplir con el trabajo. Sin embargo, como tal, se dice que el término ‘robot’ fue utilizado por primera ocasión en una obra de teatro realizada por Karel Capek (“Rossum’s Universal Robots”), publicada en el año 1920<sup>8</sup>. Además, debe su providencia a una palabra ‘robota’ en checo y otras lenguas eslavas, que significa ‘trabajos forzados, servidumbre’.<sup>9</sup>

Como palabra usada para describir el campo de estudio, fue acuñada por el famoso escritor de ciencia ficción Isaac Asimov, quien incluso da a conocer las famosas 3 leyes de la robótica.<sup>10</sup>

La robótica actualmente tiene diversas clasificaciones y una de ellas y en la que se enfoca este proyecto es la de robots móviles. El objetivo primordial de los robots móviles es que sean totalmente autónomos, sin embargo, actualmente se enfrenta con los problemas de localización, es decir, las respuestas frente a los obstáculos. El hecho de tener una autonomía, no lo separa del todo del ser humano, pues hay decisiones que aún no es posible hacerlas por sí mismas debido a su complicación de procesamiento que requiere del criterio del hombre, sin embargo, con la ayuda de la inteligencia artificial, se prevé dar esas soluciones.<sup>11</sup>

**Sistemas de comunicaciones**

**Telemetría**

“Es la contracción de ‘tele’ y ‘automática’, por lo que su significado sería ‘proceso automático a distancia’, y se refiere a todos los aspectos que cubren las comunicaciones digitales a distancia. Este concepto incluye como un caso particular la Teleinformática.”<sup>6</sup>

La telemetría hace referencia la transmisión de datos desde un punto modo esclavo, hacia uno maestro, si lo entendemos en palabras más específicas.

**Tele robótica**

Según el diccionario<sup>6</sup>, esta sub-disciplina abarca toda la “Tecnología que permite enviar información sensorial de

modo que pueda sentirse en un lugar distante.” Y es un concepto igual al de telecontrol.

En el caso de tele robótica o tele operación, sería el envío de órdenes de un punto maestro a uno esclavo.

**Aplicaciones**

La telemetría y la tele robótica se vuelven cada vez más parte del mundo moderno, pues es posible realizar tareas remotas, evitando estar en contacto con el objetivo. Hay aplicaciones en la medicina, la industria, en la vida doméstica, deportes, entornos científicos y hasta la exploración del espacio, como lo muestran<sup>12-15</sup>.

Las boyas meteorológicas, por ejemplo, transmiten la información recolectada desde el mar hacia una central de datos. La figura 7 muestra el ejemplo de un sistema de telemetría implementado en la adquisición de datos atmosféricos.

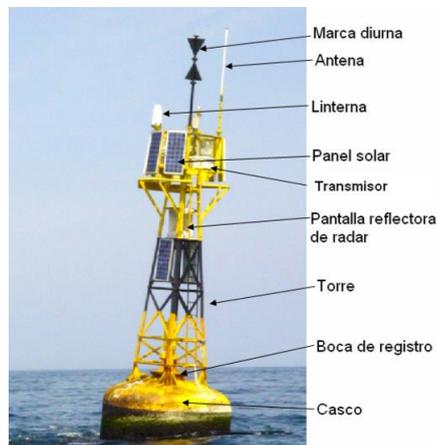


Figura 7. Estructura de una boya metodológica en el mar (By Claudio Elias)

**Transductores**

Para entender fácilmente este concepto es necesario definir dos conceptos importantes: variables físicas y magnitudes físicas. Nuestro cuerpo está expuesto a estos y por lo tanto necesita realizar un trabajo extra para poder interpretar lo que sucede en nuestro entorno y ser capaces de ver, oír y sentir.

Según el<sup>11</sup>, “La representación de un parámetro de algún fenómeno físico, mediante el cual, a su vez, se describa su comportamiento, se conoce como variable física. Por otra parte, el resultado de cuantificar un atributo físico, asignando valores numéricos a estos a través de una variable o constante física, se conoce como magnitud física.”

Los transductores son comparables, pero no iguales a los sensores biológicos que poseen los seres vivos, quienes perciben un tipo de energía y la transforman en otro tipo para que se pueda ser procesado en el cerebro y percibir lo que está en el entorno.

Los transductores se enfocan en un principio físico para la transformación de la energía conocido como principio de transducción. Y Según <sup>16</sup>, existen estos principios:

- Piezoresistivo
- Capacitivo
- Piezoeléctrico
- Ultrasónico
- Magnético
- Térmico
- Fotoeléctrico
- Químico-Eléctrico
- Resistivo

### Sensores

Una vez definido el concepto de transducción, es posible entender el funcionamiento de un sensor. Así, un sensor es en principio un transductor, sin embargo, solo es capaz de utilizarse como proveedor de señal de entrada, es decir, es capaz de responder ante los principios físicos y su salida es una señal que es utilizada de diversas maneras. Un ejemplo claro de un sensor es un micrófono. La figura 8 muestra el diagrama de funcionamiento de un micrófono como sensor y transductor.

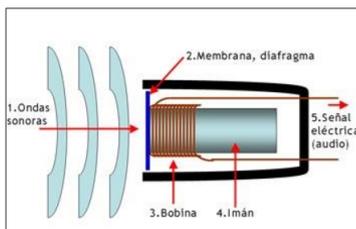


Figura 8. Diagrama de funcionamiento de un micrófono (Taken from google)

### Actuadores

Por otra parte, los actuadores de igual manera son transductores solo que en sentido de salida, es decir, toman una señal del sistema de medición y es capaz de hacer un cambio en de estado o posición. Según <sup>16</sup>, estos pueden clasificarse en dos grupos:

Por el tipo de energía utilizada, tales como actuador neumático, hidráulico y eléctrico. Además, por el tipo de movimiento que generan hay actuadores lineales y rotatorios. Un ejemplo de un actuador es una bocina, y la figura 9 muestra el principio de funcionamiento de una bocina.

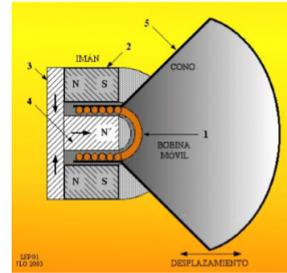


Figura 9. Diagrama de funcionamiento de una bocina (Taken from profisica.cl)

### Sistemas de navegación y geolocalización

Actualmente es posible saber la ubicación precisa de una persona o incluso de un objeto debido a los grandes avances en desarrollo espacial.

A lo largo de la vida del ser humano, este ha revolucionado y adaptado su entorno para la mejora de la misma. El hombre ha logrado crear cosas a partir de las materias primas que abundaban en el planeta. Sin embargo, todo esto ha tenido grandes consecuencias, dentro de ellas, la presencia de contaminantes que amenazan nuestro propio hábitat.

El día 4 de octubre del año 1957, la unión soviética se adelantó en la carrera espacial al poner en órbita el primer satélite artificial (Sputnik 1). Hecho que impactó mucho a la población estadounidense. Un mes después, fue lanzado el ‘Sputnik 2’ con la primera carga biológica, la perra Soviética llamada ‘Laika’ (significa ‘ladadora’).

Poco tiempo después, el 12 de abril de 1961, Yuri Gagarin se convierte en el primer ser humano en viajar al espacio exterior, dando una órbita a la tierra en 108 minutos a bordo del cohete soviético ‘Vostok 1’ confirmando así la conquista del espacio por parte de la Unión Soviética.

Los satélites se pueden clasificar de dos tipos <sup>17</sup>:

- Científicos, que son utilizados en la exploración del espacio o la geofísica, como pueden ser el telescopio espacial Hubble o el Lageos (Laser Geodynamics Satellites) de la NASA.
- De uso específico o aplicativo, destinados a propósitos militares o de uso poblacional.
 

Además, los satélites de uso aplicativo se pueden sub-dividir:

  - Para las telecomunicaciones (GEO).
  - Meteorológicos (METEOSAT) en diversas orbitas.
  - Cartografía y la observación de la superficie de la tierra (Landsat, Envisat, sistema Sentinel de la ESA).
  - Sistemas de navegación tales como GPS o Galileo.

- Usos militares con propósitos ofensivos y defensivos, tales como la red Vela (Monitoreo de explosiones nucleares).
- Estaciones en órbita, tales como Skylab, la Mir rusa o, la actual ISS (Estación Espacial Internacional).

El que implica una ayuda para este proyecto es el de aplicación a la navegación satelital, quien permite realizar localizaciones e incluso mediciones mediante mapas.

### Softwares de aplicaciones

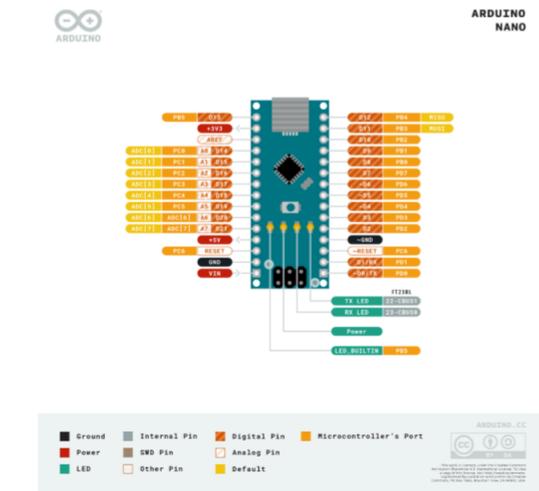
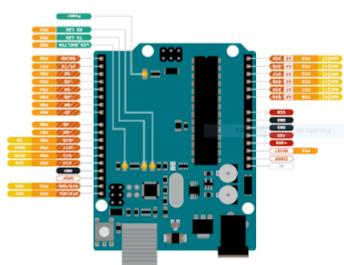
#### Arduino

En sus inicios, los microcontroladores programables representaban un desafío el poder crear un circuito grabador y poder subir el código programado en lenguaje ensamblador. Tenía muchas limitaciones en la implementación de proyectos más sofisticados debido a su complejidad, además, presentaba riesgos de que la computadora sufriera un cortocircuito.

Actualmente se cuenta con la plataforma arduino, que nació en un instituto italiano, con el propósito de revolucionar el uso de los microcontroladores y facilitar su uso incluso para fines académicos.<sup>18</sup>

“Arduino es una compañía de desarrollo de software y hardware libres, así como una comunidad internacional que diseña y manufactura placas de desarrollo de hardware para construir dispositivos digitales y dispositivos interactivos que puedan detectar y controlar objetos del mundo real. Arduino se enfoca en acercar y facilitar el uso de la electrónica y programación de sistemas embebidos en proyectos multidisciplinarios. Los productos que vende la compañía son distribuidos como Hardware y Software Libre, bajo la Licencia Pública General de GNU (GPL) y la Licencia Pública General Reducida de GNU (LGPL).”<sup>19</sup>

Los diagramas del arduino uno y nano, que son los que se utilizarán para este proyecto, se encuentran disponibles en el anexo 7.1



### Anexo 7.1. Arduino nano

#### Estado del arte

En la actualidad, vivimos en la era de la información, donde la tendencia lleva a la moda de conectar los objetos de uso cotidiano a la red, de tal manera que pueda existir un control y monitoreo para diversos objetivos. Por lo tanto, se hace alusión a que vivimos en la era del internet de las cosas (IoT) y nos acerca más a la facilidad y viabilidad del control (telecontrol) y al monitoreo (telemetría) de objetos que son capaces de acceder a la red de internet. Así, es posible tener el monitoreo de la temperatura en un lugar específico, la calidad del aire, el cuidado de plantas o invernaderos y muchas aplicaciones más<sup>20</sup>, sin embargo, al acceder a espacios más apartados de una conexión a internet y, sobre todo, a comunicaciones orientadas al espacio exterior, se necesita una infraestructura más personalizada y optimizada para las limitaciones presentadas en el medio.

La meteorología es un campo importante en nuestra vida, ya que a través de ella podemos tomar precauciones debido a los cambios que ocurren en la atmósfera. Para ello, el uso de la tecnología de telemetría es esencial en este campo. Así, el proyecto<sup>21</sup>, busca realizar una estación meteorológica usando la telemetría para la recopilación de datos entre varios puntos geográficos y a costos bajos, manteniendo un monitoreo de muchos datos en una sola plataforma.

Dentro de la comunidad científica internacional hay diversos proyectos que tienen como objetivo la exploración del espacio, que conlleva a estudiar diversas atmosferas fuera de nuestro mundo y que requiere la transmisión tanto de envío y recepción de datos fiables para su estudio y análisis. Estos sistemas son de la más alta tecnología, por lo cual también generan costos de producción muy altos. Sin embargo, son proyectos que ayudan a el desarrollo de habilidades y de diversas disciplinas en conjunto.

El primer proyecto en alcanzar una superficie fuera del

planeta tierra fue luna 17, con el Lunokhod, un robot de exploración lunar o rover lunar que se llevó a cabo en el año 1970. Este, superó los 3 días de funcionamiento previsto, llegando a los 11 días, recorriendo un total aproximado de 10 kilómetros y enviando unas 20 mil imágenes de TV.<sup>22</sup>

En el 2013,<sup>23</sup> realizaron un robot explorador terrestre y para ello implementaron un transceptor RMB-CM12111 que funcionan a una frecuencia de 434 MHz.

El proyecto<sup>24</sup>, lleva a cabo la realización de un robot de exploración espía teleoperado, efectuando un corto alcance, menor a los 260 metros.

La nasa tiene a disposición tecnología rover y ha enviado varios modelos hacia el planeta rojo (marTE) con fines de búsqueda de rastros de vida. Su último, 'Curiosity', aterrizó en la atmosfera marciana en el 2012. Este "está equipado con un conjunto de cámaras sofisticadas, una suspensión rocker bogie (el nombre del diseño de las ruedas y soporte del vehículo), un brazo robótico, dos gigabytes de memoria flash, un láser de vaporización de rocas y un sistema de energía de combustible de plutonio."<sup>25</sup> La figura 10 muestra un modelado del proyecto Curiosity sobre un habitad marciano.

Estos tipos de proyectos son financiados normalmente por los gobiernos con grandes agencias espaciales, debido a que requieren gran variedad de especialistas para lograr una probabilidad casi nula de errores hacia las diversas exigencias presentadas, tan solo el Curiosity tiene un costo promedio de 2.600 millones de dólares y años de investigación y desarrollo.



Figura 10. Simulación del rover Curiosity by NASA.

Por otra parte, hay trabajos en procesos, tal como el proyecto Exomars de la Agencia Espacial Europea por sus siglas ESA. Quien espera lanzar su rover Rosalind Franklin el año 2022 debido a la cancelación del 2020 debido a la pandemia. Este trabajará con el satélite GTO (Trace Gas Orbiter), quien está actualmente en órbita y que apoya la transmisión de datos del Curiosity hacia la tierra. El TGO cuenta con gran capacidad de procesamiento y ya ha dado grandes aportaciones científicas<sup>4</sup>. La figura 11 muestra una simulación del proyecto del rover europeo sobre un terreno marciano.



Figura 11. Modelo simulado de rover europeo by ESA, que se lanzará el año 2022.

Dentro de los sucesos más actuales de la implementación de la tele robótica se encuentra a ayuda en el combate de la pandemia del 2020. Según<sup>26</sup>, la situación vivida inicialmente en China impulsó el uso de la tecnología robótica y enfáticamente en la tele operación, necesaria incluso dentro de la autonomía. La figura 12 muestra uno de los robots utilizados para el combate al virus.



Figura 12. Uso de un robot teleoperado para desinfección de calles (tomado del portal BBC)

## Metodología

### Módulos transepectores/Sistemas de Radiofrecuencia .

A través de este proyecto se busca tomar dispositivos transepectores RF disponibles en el mercado, de tal manera que puedan para ser implementados en dos modelos de robots móvil y evaluar su comportamiento de respuesta por envío de datos a largas distancias. Estos dispositivos deben ser de baja potencia, debido a las limitaciones de un robot de exploración con fuentes de energía limitadas.

Como primer paso se pasó a la búsqueda de dispositivos transepectores en las plataformas de internet más populares y motores de búsqueda. Cabe mencionar que tiendas electrónicas en México, tales como Steren, AG electrónica, 5Hertz, etc, mantienen dispositivos transmisores y receptores por separado mayormente. La tabla 1 muestra algunas propuestas de transepectores existentes en el mercado con las características más óptimas para los requisitos de este proyecto.

### Costos

Uno de los aspectos a tomar en cuenta para la adquisición de dos módulos transepectores, fue el monto por adquisición de cada ítem. Según la tabla anterior (tabla 1), describe varios dispositivos a un precio promedio de 200,00MXN, sin embargo, la gran disponibilidad de estos dispositivos se encuentra en China. Por cuestiones más prácticas, este proyecto tendrá su enfoque en la disponibilidad del mercado local.

heightDispositivo	Tienda	Distancia máxima	Tasa de transmisión kbps	Costo (\$ MXN)	Voltaje funcionamiento	Potencia
E32-433T20DT	Aliexpress (China)	3 km (2 m altura)	2.4	195	2.3 - 5.5	20 dBm (100mW)
Ebyte E3 2DTU-433L30	Aliexpress (China)	8 km (2 m altura)	2.4	460	10 - 28	30 dBm (1 W)
CC1101	Aliexpress (China)	1 km (2 m altura)	0.6	98	1.80-3.6	10 dBm (10mW)
NRF24L01 (PA + LNA)	Mercadolibre (México)	1 km (2 m altura)	250	74	3 - 3.6	20 dBm
RFM 75	AG electrónica (México)	No describe	250	114	1.9 - 3.6	4 dBm
TB387/TB395	Mercadolibre (México)	400 m	2.4	150	3.3 - 5	20 dBm 100mw
Si4463	Mercadolibre (China)	2 km (1.5 m altura)	1	280	1.8 - 3.6	20 dBm (100mW)
HC12	Mercadolibre (México)	1 km	5	230	3.2 - 5	100mW
Precio promedio				200		

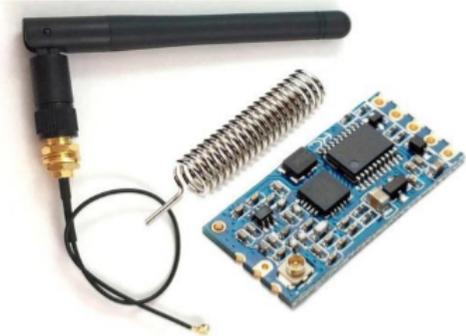


Figura 13. Transceptor RF HC-12

**Alcance**

Dentro de los dispositivos encontrados en las diferentes plataformas, se encuentra una buena variedad, sin embargo, muchos de ellos garantizan un alcance menor a los 5 metros, por lo que podría mantener problemas si se trabaja a rangos muy limitados.

**Compatibilidad**

Los dispositivos recopilados, mantienen al margen protocolos disponibles en una tarjeta arduino, tales como Serial y SPI, por lo que supone la disposición de implementación por medio de un microcontrolador y factible para este proyecto.

**Consumo de energía**

Una de las cuestiones fundamentales es el ahorro de la energía en los artefactos tecnológicos que se controlan remotamente, por lo que se requiere el menor consumo posible de energía con el mejor rendimiento y con lo que todos los dispositivos cumplen. Además, se debe tomar en cuenta el voltaje de alimentación, aunque la mayoría ronda en promedio de los 5 V.

**Elección de dos dispositivos**

Finalmente, al visualizar las opciones obtenidas en la tabla 1, los módulos HC-12 y el NRF24L01 PA +LNA, quienes además de poseer un alcance de 1 km y bajo costo, se encuentran disponible en el mercado nacional, lo que nos da acceso rápido a ellos.

A partir de esta selección, se procede a trabajar en dos modelos de robots móviles de exploración, los cuales serán fabricados y sobre su sistema básico se implementarán los dispositivos transceptores que permitirán realizar la telemetría y la tele-operación. Las imágenes mostradas en figura 13 y figura 14 muestran los modelos de transceptores que serán utilizados durante el desarrollo de este proyecto mediante la plataforma arduino.



Figura 14. Transceptor NRF24L01 con su base con regulador integrado.

**Módulo transceptor HC-12**

El HC-12 es un dispositivo transceptor RF UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) moderno y multicanal empleado para la transmisión de datos. Su señalización está montada sobre una frecuencia entre 433.4 y 473 MHz, además, permite la división y utilización de 100 canales.

Su configuración y uso está basado en el protocolo de comunicación serial, por lo que facilita su implementación en la plataforma arduino mediante el uso de 3 conectores para el control y envío de datos. Su hoja de datos está disponible en el anexo 7.1

Para su control, se ocupan ciertos comandos de configuración "AT". Para esto, es necesario que el conector "SET" esté conectado a tierra para entrar en el modo configuración. Por el contrario, cuando se pone "SET" en estado alto, se configura como modo transparente, es decir, listo para operar como emisor y receptor. La figura 15 muestra los pines de configuración del módulo HC-12.



#	Pin	Details
1	VCC	Power Input 3.3-5V DC
2	GND	Common Ground
3	RXD	Receive Input-UART TTL
4	TXD	Transmit Output-UART TTL
5	SET	LOW=Enter Config mode (AT)
6	ANT2	Spring Antenna/PCB
7	GND	
8	GND	
9	NC	
ANT1	ANT1	IPX External Antenna

Para su funcionamiento básico, la configuración empleada en mediante arduino primeramente es necesario el uso de la librería softwareSerial, además de crear un objeto de tipo softwareSerial con la configuración de los 2 pines de información (TX, RX) mencionados a

```
#include <softwareSerial.h>
softwareSerial HC12(PinTx,PinRx); //Siendo estos puertos colocados en
cualquiera de los pines de arduino.
```

Dentro de la configuración básica también se encuentran la velocidad de transmisión en el aire y su capacidad de enviar y recibir datos:

```
void setup(){
  HC12.begin(9600);
  pinMode(pinSET,OUTPUT);
  digitalWrite(pinSET,HIGH); //Activa el modo transparente
}
```

Para el envío de datos, se utiliza dentro del código de control el siguiente comando:

```
void loop(){
  String valor1 = "Hola Mundo";
  HC12.print(valor1);
}
```

Para recibir lo datos en el destino se utiliza la siguiente rutina:

```
void loop(){
  byte buffervalue;
  int Dato;
  while(HC12.available()){
    buffervalue = HC12.read();
    Dato += char(buffervalue);
  }
}
```

**Módulo transceptor NRF24L01**

El NRF24L01 es un dispositivo transceptor RF 2.400 moderno y multicanal empleado para la transmisión de datos.

Su señalización está montada sobre una banda ISM, es decir, una frecuencia entre 2.400 y 2.4835 GHz, además, permite la división y utilización de 126 canales y con una transmisión de datos de entre 250 Kbps hasta los 2 Mbps.

Su configuración y uso está basado en el protocolo de comunicación SPI, por lo que facilita su implementación en la plataforma arduino mediante el uso de 5 conectores para el control y envío de datos. Su hoja de datos está disponible en el anexo 7.2

Para su control, se ocupan ciertos comandos de configuración disponibles en la librería RF24. Además, dentro de los pines de configuración, 3 pines son asignados ya por parte del fabricante en los pines del determinado modelo de arduino, dejando disponibles los pines CE y CSN con configuración variable. La figura 16 muestra los pines de configuración del módulo NRF24L01.

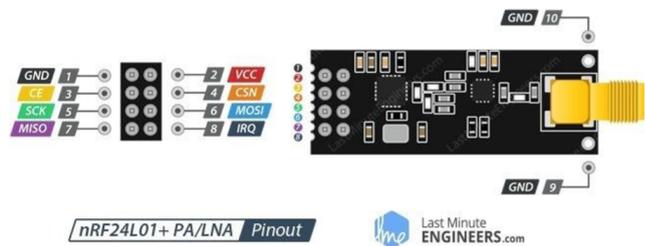


Figura 15. Pines de configuración del módulo NRF24L01 mediante el protocolo SPI

**Mando de control**

El mando es un dispositivo importante para la ejecución del proyecto, pues tendrá la capacidad de enviar y recibir la información de control y telemetría de los dos modelos presentados. Su configuración física será la misma en ambas implementaciones, solamente se cargará el software adecuado para cada función. Los datos serán procesados mediante una tarjeta de microcontrolador arduino nano. La configuración física del arduino se muestra en la tabla 2.

Pines arduino	Pines componentes
0	Utilizado por el puerto serial Rx
1	Utilizado por el puerto serial Tx
2	Tx de módulo HC-12
3	Rx de módulo HC-12
4	setpin de módulo HC-12
5	Alta impedancia (Sin uso)
6	Alta impedancia (Sin uso)
7	Alta impedancia (Sin uso)
8	LED indicador de estado activo arduino
9	CE NRF24L01
10	CSN NRF24L01
11	MOSI NRF24L01
12	MISO NRF24L01
13	SCK NRF24L01
A0	Joystick 1 (izquierdo) en X
A1	Joystick 1 (izquierdo) en Y
A2	Joystick 2 (derecho) en X
A3	Joystick 2 (derecho) en Y
A4	Potenciómetro deslizable

Figura 16. Tabla 2. Configuración de los componentes electrónicos al arduino nano

El mando de control requiere para su diseño los siguientes componentes:

- 1 tarjeta de microcontrolador arduino nano
- 2 joysticks 1 potenciómetro deslizable
- 1 transductor HC-12 con su antena con conector smd
- 1 transductor NRF24L01 PA + LNA
- 1 base módulo para NRF24L01
- 1 capacitor de 100µF
- 1 cable con conector USB tipo A
- 1 batería power bank 5V
- Cables para conexiones
- Headers tipo macho
- Header tipo hembra
- Placa fenólica para diseño (opcional)
- 2 LED's verdes
- 2 resistencias de 330Ω

Para emplear las conexiones respectivas en el arduino, se deben realizar las conexiones adecuadas y expuestas en la parte de arriba. La figura 17 muestra los puertos de configuración del arduino nano.

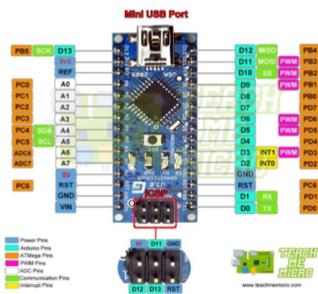


Figura 17. Muestra los puertos de conexiones del arduino nano

Por otro lado, el funcionamiento para el robot terrestre será casi el mismo para los 2 modelos de dispositivos transceptores, empleando a cada uno su configuración para su correcto funcionamiento. Sin embargo, el NRF24L01 tendrá una pequeña diferencia, pues este enviará los datos en cuestión del tiempo, cada segundo. La figura 18 muestra el diagrama de flujo representativo del control del robot móvil terrestre (Rover) basado en el módulo transceptor HC-12 y la figura 19 muestra el funcionamiento para el NRF24L01.



Figura 18. Diagrama de flujo del programa para el funcionamiento del robot terrestre.



Figura 19. Funcionamiento del control para el robot terrestre en módulo NRF24L01

Para la tele-operación del robot aéreo drone, se implementará una lógica similar pero adaptado a sus propias funciones de ejecución. La figura 20 muestra la lógica para el funcionamiento del drone.

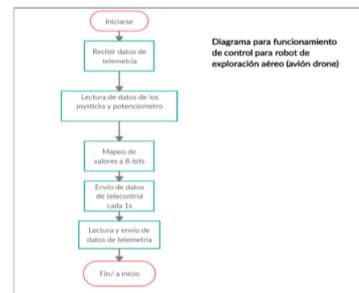


Figura 20. Operación del control para robot aéreo

### Diseño e implementación de robot móvil terrestre (tipo Rover) con funciones básicas

La figura emblemática aquí sin duda es el Rover, una tecnología que requiere mucha inversión de capital y alto desarrollo de tecnología. Sin embargo, se podría pensar que

las velocidades utilizadas en comunicaciones interplanetarias son de vértigo, sin embargo, estos sistemas se comportan de manera similar con los dispositivos usados en este proyecto. La diferencia radica en que usa una estructura de red diferente debido a la gran distancia que pueda implicar y los tiempos muertos en los que se pierden las comunicaciones debido a la órbita de las sondas retransmisoras.<sup>27</sup>

### Estructura física

Su estructura está basada en tubería de PVC de ½ pulgada, por lo que será más económico. Lo necesario para una construcción sencilla se describe a continuación:

- 1/2 tramo de tubo de PVC de ½" (aprox 3 m)
- 6 codos PVC para ½" de 90° (se puede comprar repuestos)
- 4 codos PVC ½" de 45° (se puede comprar repuestos)
- 2 coples PVC ½"
- Pegamento para PVC
- Soleras de aluminio de aproximadamente 7 x 2 cm
- 20 pijas auto-taladrante de 3/4" largo x 1/8" de diámetro
- 10 tornillos con tuercas de 2 ¼" de largo x ¼" de diámetro
- Abrazaderas acero inoxidable sinfín de 15/16- 2 ¼

Ahora se requiere realizar los cortes específicos de los tramos a utilizar:

- 2 tubos de 18 cm
- 2 tubos de 13 cm
- 2 tubos de 5 cm
- 4 tubos de 10 cm
- 2 tubos de 14 cm
- 1 tubo de 17 cm

Después de realizar el corte de los tramos indicados se procesa a unir las partes correspondientes para armar las estructuras principales, que resultan ser de fácil de armar siguiendo la referencia expuesta en la figura 21. Este prototipo está compuesto por dos de esas estructuras.

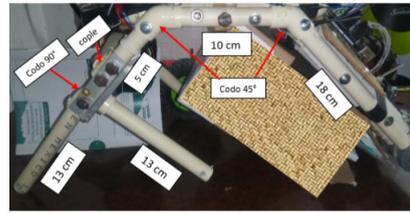


Figura 21. Armado de una de las dos estructuras principales del robot terrestre

Se procede a unir la estructura con las dos llantas capaces de girar desde un mismo origen, para esto se debe hacer algunas perforaciones, de preferencia con un taladro de banco con broca de ¼" como se señalan en la figura 22, de tal forma que se coloquen las placas de aluminio u otro metal y puedan ser unidas mediante una perforación de ¼" con los tornillos largos de más de 2", y lo mismo para la segunda estructura.

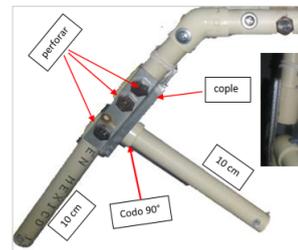


Figura 22. Unión de la estructura de las llantas con el cuerpo principal.

Ahora se continúa uniendo las dos estructuras laterales con el cuadro hecho con las medidas mostradas en la figura 23, así como la unión de las estructuras finales por medio de los cuatro tornillos largos de 2 ¼" x ¼" con sus respectivas tuercas y, así, pasar a montar las llantas. cople

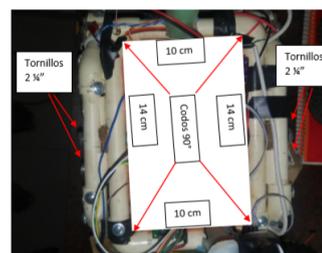


Figura 23. Medidas para el cuadro de unión y la unión de todas las estructuras mediante 4 tornillos largos.

El robot está hecho para 6 llantas y lo ideal sería colocarle un motor en cada llanta, sin embargo, en esta ocasión solo se ocupará una sola tracción, por lo que las otras cuatro llantas serán sujetadas con tornillos largos, arandelas y tuercas, de tal manera que puedan girar. Si se colocaran los seis motores, entonces se procedería a colocar los motores en las estructuras usando las abrazaderas con sus respectivos motores, como se muestra en la figura 24.



Figura 24. Colocación de los motores con sus llantas en las estructuras del robot.

En cambio, si solo se usara una sola tracción como es el caso aquí, se procede a hacer un arreglo con tornillos que entren bien en el orificio de la llanta con sus respectivas tuercas, arandelas y tuercas de ajuste final, dependiendo del tipo de llanta. La figura 25 muestra un ejemplo del ajuste de las llantas sin motor a las estructuras del robot para que giren con el empuje de la tracción.

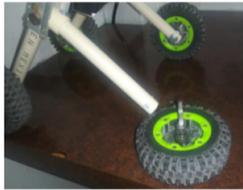


Figura 25. Colocación de los motores con sus llantas en las estructuras del robot.

Finalmente, se puede observar la estructura final del prototipo de robot explorador. Además, como se puede apreciar en la figura 26, tiene 2 pedazos de tubos de PVC de  $\frac{3}{4}$  de alrededor de 18 cm y 10 cm respectivamente para colocación del hardware.



Figura 26. Estructura final del prototipo de robot móvil de exploración

## Hardware

De los componentes electrónicos a utilizar se tiene los siguientes elementos:

- 1 Sensor lm35 para temperatura
- 1 Sensor ultrasónico HC-SR04
- 1 Arduino uno
- 1 Transceptor HC-12 con su antena adaptable vía smd
- 1 Transceptor NRF24L01 con su base

- 1 Controlador de motores dual MC33926 - Puente H (se puede implementar 3 ara abarcar los 6 motores, ya que en este caso se usan 2 tracciones)
- 2 Motor reductores de 12v (de igual manera puede usarse los 6)
- 6 Llantas todo terreno grandes con adaptadores para el motor reductor
- 1 Porta pilas para 8 pilas AA (12 V)
- 1 Batería power bank de 5V o regulador de voltaje para 5V
- 8 Pilas AA recargables
- 1 Protoboard chico
- Cables para conexiones
- Headers macho y hembra
- 1 Capacitor de 100 $\mu$ F
- 1 LED
- 1 Resistor 220 $\Omega$

Para el montaje de cada uno de los componentes, se toma como referencia las conexiones del arduino. La tabla 3 muestra las conexiones de configuración de los componentes con el arduino.

Pines arduino uno	Conexiones destino
0	Tx módulo HC-12
1	Rx módulo HC-12
2	Señal del servo para sensor ultrasónico
3	Echo sensor ultrasónico
4	Md11a - pin M1N1
5	Md11a - pin M1N2
6	Md11a - pin M2N1
7	Md11a - pin M2N2
8	Trigger sensor ultrasónico
9	CE NRF24L01
10	CSN NRF24L01
11	MOSI NRF24L01
12	MISO
13	SCK NRF24L01
A0	Puerto de señal lm35 (el de en medio)
17 (A3)	Setpin HC-12
18 (A4)	Md11a - enable pin M1N1
19 (A5)	Md11a - enable pin M2N2

Se procede a la configuración del controlador del motor Md11a, que en realidad es una adaptación de dos chips controladores MC33926. La figura 27 muestra los pines del módulo md11a para conectar y la configuración de estos pines se describe en la tabla 4.





Figura 31. Distribución de los componentes de hardware del robot explorador terrestre

De manera opcional, se puede incluir el led para indicar que el sistema está alimentado. La conexión es sencilla, tal como lo muestra la figura 32.



Figura 32. Conexión básica de un LED

### Diseño e implementación de Avión no tripulado con funciones básicas

**Estructura física.** Para la elaboración de este proyecto se necesita de los siguientes materiales:

- 1 hoja de foam board de la papelería
- 1 bote de silicón pequeño
- 1 cutter
- 1 regla larga para cortes sin graduación
- 1 regla con graduación
- 2 m Alambre galvanizado delgado de 1/16"
- Trozo de plástico resistente y flexible (como el de galón de combustibles)
- Placa de madera delgada para base del motor de 4 mm con dimensiones de 6 x 4 cm.

Se procede a realizar todos los trazos necesarios para la estructura del drone. Como primer trazo, se realizará el corte de las partes del fuselaje. Esta parte requiere dos piezas iguales con las medidas mostradas en la figura 33. Las partes rojas son las que no se utilizarán, y la verde será opcional para gustos del diseño.

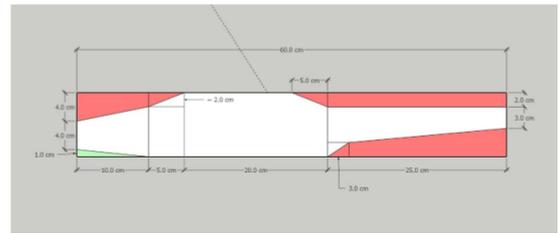


Figura 33. Medidas del fuselaje del drone (las partes rojas se desechan y la verde es opcional)

La estructura siguiente será el ala principal, la estructura más grande. Sus dimensiones se muestran en la figura 34. Las líneas por encima de los 14.5 cm son el apoyo para hacer la curvatura del ala.

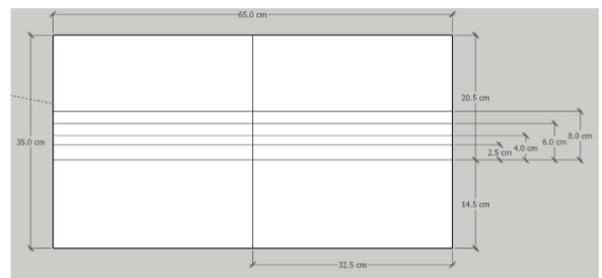


Figura 34. Medidas y cortes de de la estructura del ala del drone

Después de realizar el corte, se procese a realizar los detalles para lograr la curvatura del ala. Es necesario hacer una especie de zanja en la línea del corte para doblez, así como de una incisión no tan profunda para no cortar todo el papel. Las imágenes de la figura 35, 19 muestran los detalles de medidas y cortes correspondientes.



Figura 35. Cortes y zanjás necesarias para el doblez del ala.

A continuación, se realiza un corte inclinado de hasta 1.5 cm sobre la parte corta e interna, por donde caerá la tapa más grande para realizar la curvatura del ala. La figura 36 muestra el corte hecho.



Figura 36. Corte inclinado para pegar la estructura curvada del ala

Ahora será necesario sacar las molduras necesarias para dar forma a la estructura curvada del ala. Para esto, se necesitará la ayuda de un pedazo de hoja blanca, un lápiz y la ayuda de la buena visión. Por lo tanto, se requiere en primer lugar doblar el ala y buscar la forma más correcta para marcarla con el lápiz en la hoja y así obtener el molde. Cabe mencionar que la marca debe ser la silueta interna, puede apoyarse del contraluz o rayar con el lápiz para obtenerla. La parte más alta debe alcanzar aproximadamente 2 cm en el interior. La figura 37 muestra un ejemplo de la descripción.



Figura 37. Molde obtenido para dar la estructura a la curvatura del ala

Después de obtener el molde, se procede a realizar 3 cortes más del mismo. Además, será necesario realizar un corte especial en la base de 2 de los moldes para los cables de los servos que se instalarán posteriormente. De esta manera se procede a pegarse las dos centrales cada una a 12 cm del centro del ala, mientras que las otras dos se colocarán en las orillas para sellar las entradas existentes. Las imágenes de la figura 38 y 39 muestran las acciones descritas.



Figura 38. Cortes en los moldes centrales para el paso de los cables



Figura 39. Lugares donde se pegarán los moldes, 2 centrales y 2 laterales

Como proceso final para la estructura fija del ala se procede a aplicar silicón frío sobre los moldes y la parte con corte inclinado y se procede a mantener presión con la estructura y verificar la alineación de los laterales hasta que haya secado bien el pegamento. La figura 40 muestra la estructura del ala lista para los pasos siguientes.

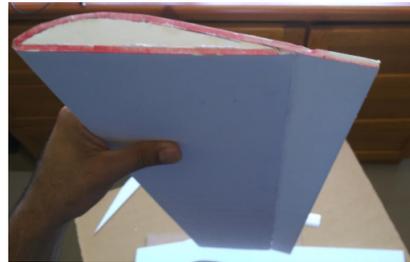


Figura 40. Estructura del ala seca y lista para la siguiente parte.

Para poder realizar los movimientos de giro, será necesario realizar una incisión en la unión de los bordes justo donde van ubicados los alerones. Para esto, se muestra un modelo de ejemplo en la figura 41. Cabe resaltar que las líneas pequeñas negras indican las medidas donde se debe cortar de un lado al otro, y las naranjas, para hacer un corte no profundo que debe incluir cortes inclinados en ambos lados después de la incisión para que los alerones tengan libertad de giro.



Figura 41. Muestra las medidas para cortes de alerones en negro e incisión o corte no profundo en color naranja

Las imágenes en la figura 42 y 43 muestran los cortes previamente declarados.



Figura 42. Cortes para hacer los alerones.



Figura 43. Cortes inclinados después de la incisión

Se prosigue a cortar las piezas que unen las dos partes del fuselaje que no se menciona las dimensiones específicas, pero son tiras con 6 cm de ancho. De igual manera se prosigue a realizar los trazos y cortes de los timones o alerones traseros. Las imágenes de la figura 44 y 45 ejemplifican los cortes descritos.

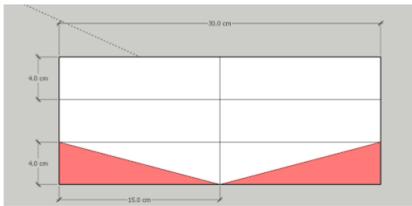


Figura 44. Medidas para los cortes del timón horizontal.

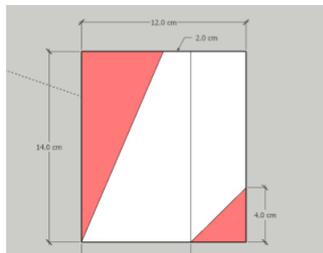


Figura 45. Medidas para los cortes del timón horizontal.

Después de obtener todos los cortes requeridos, se procede a pegarse de manera correspondiente. En la imagen expuesta en la figura 46 se observa un panorama general de la unión de los bloques cortados. Además, la figura 47 muestra la medida y la orientación de los timones.

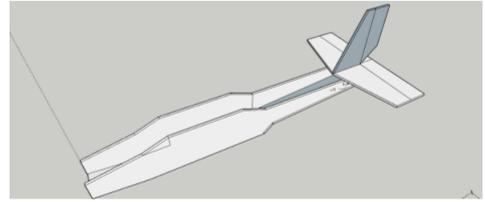


Figura 46. Timones pegados como corresponde

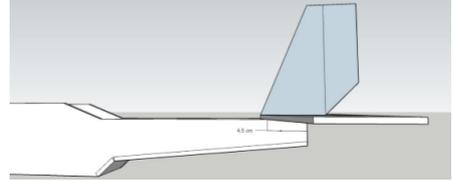


Figura 47. Timones pegados como corresponde

Se prosigue con la fabricación de la base para el motor, que va ubicada en la parte frontal del dron. Las imágenes de las figuras 48, 49 y 50 dan un ejemplo de cómo realizarlo.

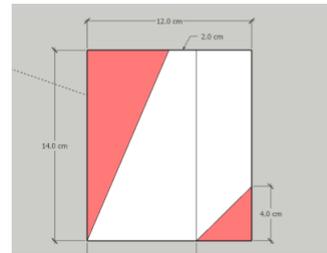


Figura 48. Marca para base del motor

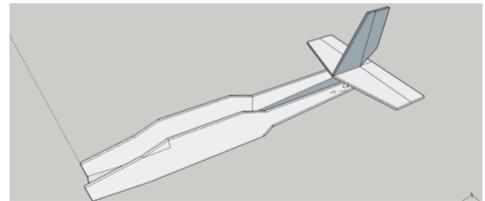


Figura 49. Marca para base del motor

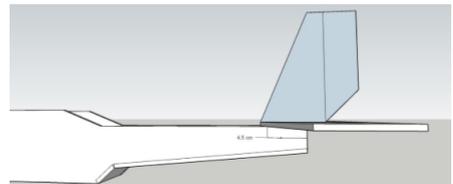


Figura 50. Marca para base del motor

Se prosigue con la fabricación de la base para el motor, que va ubicada en la parte frontal del dron. Las imágenes de las figuras 48, 49 y 50 dan un ejemplo de cómo realizarlo.



Figura 51. Marca para base del motor



Figura 52. Colocación del motor brushless



Figura 53. Fijación del motor en la base que será pegada en la estructura del drone.

Ahora se utilizará el trozo de plástico y el alambre galvanizado. Para esto, será necesario fabricar al menos 4 seguros como el que se muestra en la figura 51. Estos son de aproximadamente 2.5 cm de altura.



Figura 54. Seguro para giros de los alerones por medio de los servos

En las figuras 52, 53 y 54 se muestran la ubicación y colocación de los seguros para instalar los mecanismos de control mediante el servo, así como las líneas mismas de alambre utilizadas.



Figura 55. Seguro para alambre en timón vertical



Figura 56. Seguro para alambre en timón vertical



Figura 57. Seguro para alambre en timón vertical

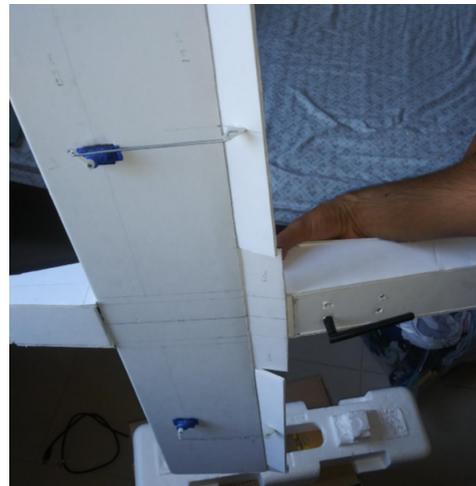


Figura 58. Colocación de los servos en las alas.

La colocación de los servos es indispensable para la fijación de seguros y la manipulación de los alerones y timones, por lo que las imágenes de las figuras 55 y 56 muestran la ubicación para la colocación de los servomotores. Es indispensable utilizar la imaginación y destrezas de estética. Además, cabe mencionar que los cables de los servomotores quedan orientados al frente.

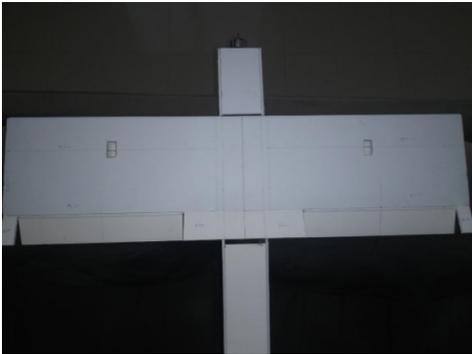


Figura 59. Vista alta de la posición de los motores en las ala.



Figura 60. Ubicación y colocación de los servos utilizados para los timones en la parte trasera del avión.

Las alas son las responsables de la sustentación, por lo que deben ser colocadas buscando la mejor manera. Para evitar problemas con el centro de gravedad, será bueno colocarlo hasta la parte límite del fuselaje, tal como se muestra en la figura 57.

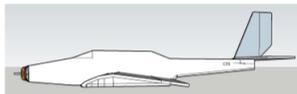


Figura 61. Vista alta de la posición de los motores en las alas.

Para pegar el ala al fuselaje, será necesario cortar usando el ala como molde montarlo con silicón de manera que quede centrada. Para garantizar el centrado, se debe dibujar dos líneas a manera de offset de la línea central a 3 cm, para que sirva como guía. La figura 58 muestra el trazado en las alas.



Figura 62. Trazado de línea central. Las primeras líneas del centro a laterales tienen los 3 cm

El paso final sería la colocación del sellado de la estructura del fuselaje o cabina principal. Para esto se ocupa un poco de creatividad para lograr un mecanismo de sujeción

que permita evitar colocar pegamento en toda la pieza, lo que evitaría la manipulación de los componentes electrónicos e incluso la batería. La imagen de la figura 59 muestra un ejemplo en la etapa final.



Figura 63. Prototipo del drone terminado físicamente.

De los componentes electrónicos a utilizar se tiene los siguientes elementos:

- 1 Arduino uno
- 1 Transceptor HC-12 con su antena adaptable vía smd
- 1 Transceptor NRF24L01 con su base
- Cables para conexiones
- Headers macho y hembra
- 1 Capacitor de 100 $\mu$ F
- 1 Batería Li-Po 11.1V (En este caso se utilizó una con 2.2Ah)
- 1 Cargador para baterías Li-Po (En este caso se utilizó un iMAX B6AC)
- 1 Motor brushless de 1000KV con conectores bala banana
- ESC de 30 A con sus conectores de bala banana y xt60
- 1 Transceptor HC-12 con su antena adaptable vía smd
- 1 Transceptor NRF24L01 con su base
- 4 Servomotores SG90
- 1 Hélice de 10" sin muesca para el motor brushless

Partiendo de la tarjeta de microcontrolador arduino, es necesario ver su esquema de conexiones físicas. Para esto será necesario tomar en cuenta la información que se presenta en la tabla 7. Para las posiciones de los servos el avión se tomó como referencia de ubicación teniéndolo con la hélice hacia adelante.

Es necesario recordar colocar el capacitor de 100 $\mu$ F entre los pines de alimentación del módulo HC-12 para un mejor

**Tabla 7: Muestra las conexiones de configuración del arduino con los componentes a utilizar con necesidad de procesamiento de señales**

Arduino	HC-12	NRF24L01 (con base)	Señales de control de servomotores	Fuente
Pin 0	Tx			
Pin 1	Rx			
Pin 2			<b>Servo 1 (ala parte izquierda)</b>	
Pin 3			Servo 2 (ala parte derecha)	
Pin 4			Servo 3 (timón vertical)	
Pin 5			Servo 4 (timón horizontal)	
Pin 6			ESC para brushless	
Pin 7	SET			
Pin 8				
Pin 9		CE		
Pin 10		CSN		
Pin 11		MOSI		
Pin 12		MISO		
Pin 13		SCK		
5V	VCC	VCC		5V
GND	GND	GND		GND

rendimiento, además, la conexión adecuada de los servomotores ya ha sido descrita anteriormente en la implementación del robot terrestre (3.1.5.2). Para una optimización de todas las conexiones, será necesario realizar un diseño PCB o bien, utilizar una placa fenólica perforada y sobre ella realizar la diagramación que permita optimizar las conexiones.

En el caso de este proyecto, se realizó sobre una placa fenólica perforada, para efectos prácticos más rápidos. La figura 60 muestra la tarjeta de conexiones de alimentación de todos los componentes del drone y las señales de control.

Finalmente, solo queda ordenar y asegurar los componentes dentro de la cabina de tal manera que pueda sellarse, tal como se expresa en la Figura 61, además, es necesario dar la importancia del balance de peso, tomando como el centro de gravedad un 20 a 35 % del frente de ataque hacia atrás del ala principal, tal como se representa en la Figura 62.

Para este caso, se tomará la ayuda de un dispositivo GPS EAGLETEK MX YT09D que viene acompañado con la tecnología gsm para la transmisión de los datos a la plataforma

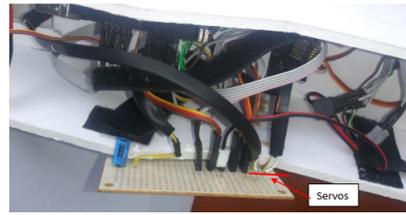


Figura 64. Tarjeta de conexiones de todos los dispositivos hecha sobre una placa prefabricada (placa perforada).



Figura 65. Acomodo y fijación de los componentes electrónicos con su distribución de peso.

dyegoo en su sitio web [www.dyegoo.net](http://www.dyegoo.net) entrando con los datos entregados por el proveedor al momento de la compra y con acceso gratuito durante un año después de la activación. Así mismo, la configuración del SIM card viene sencillamente explicado en la hoja entregada por el proveedor y tiene que ser Telcel, con soporte para 4G.

Las imágenes de la Figura 65 y Figura 66 muestran el dispositivo y el entorno gráfico de su plataforma. En el anexo 7.4 se muestra un resumen de sus características técnicas para su funcionamiento óptimo.

Este dispositivo puede ser alimentado por una batería de 9V y ser asegurado en cada uno de los robots para obtener los datos de su posición más precisamente.

También es posible la utilización de los mapas de google, como una alternativa, mediante la aplicación de mapas de Android en un teléfono.

### Robot móvil avión drone

Para las experimentaciones del desempeño del drone, se distingue las variantes de alturas en los transmisores. Mientras que el mando de control y telemetría está en una altura promedio de 1.8 m y, el drone tendrá una altura variable. Por eso se seguirá la ruta de vuelo y ver su comportamiento.

### Robot móvil terrestre

#### Resultados

### Robot móvil de exploración terrestre

Las pruebas se realizaron en el espacio mostrado en la Figura 67, que es el terreno abierto más grande en distancia que existe dentro del campus de la Universidad de Montemorelos según la medición hecha en el mapa de google.

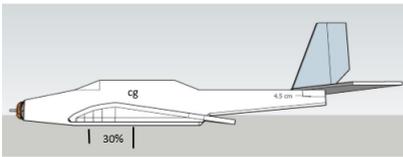


Figura 66. Representación del centro de gravedad aproximado, dentro del área de mayor sustentación.



Figura 67. Dispositivo de Vehicle GPS Tracker.

Es importante notar que el mando de control se encontraba a una altura de 1.80 m, mientras que las antenas del robot se encontraban a una altura de 40 cm como máxima altura, que lo hace muy diferente de las medidas promedio garantizadas por el fabricante.

### Transceptor HC-12

Para este transceptor, se hizo un recorrido de tan solo 62 metros como se muestra en la Figura 68 muestra el avance límite del robot explorador hasta que pierde su señal y paquetes, ocasionando que no funciones a sus respuestas programadas.

Los datos de telemetría se ven impresos en la consola de datos serial del arduino y son mostrados en la Figura 69, donde muestra el comportamiento en estado de conexión límite, perdiendo pocos paquetes.

### Transceptor NRF24L01

Para este transceptor hubo un comportamiento diferente al anterior. Su recorrido máximo con fiabilidad de datos se muestra en la Figura 70. Esta muestra una distancia de 269 metros, que es el espacio límite en línea de visión.

Los datos de telemetría se ven impresos en la consola de datos serial del arduino y son mostrados en la Figura 71, donde muestra el comportamiento en la distancia límite, perdiendo pocos paquetes.

### Observaciones

Las pruebas realizadas fueron un desafío para las transmisiones del robot de exploración terrestre, pues su altura máxima en las antenas es de 40 cm, muy poco respecto al promedio de lo que piden los fabricantes de estos tipos de dispositivos, que ronda entre los 1.5 y 2 metros. Sin embargo, este proyecto buscaba la factibilidad de su aplicación para lo establecido.

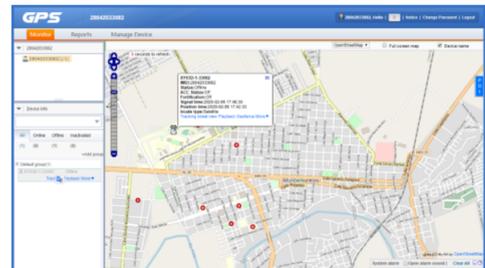


Figura 68. Dispositivo de Vehicle GPS Tracker.



Figura 69. Terreno donde se realizaron las pruebas

En su primera etapa, al realizar las pruebas con el módulo HC-12 funcionando a las alturas declaradas anteriormente, este logró su funcionamiento óptimo a no más de los 62 metros de distancia, mientras que el módulo NRF24L01 se encontró con el límite físico, por lo que no pudo ser probado a una distancia mayor, dando así evidencias de su gran diferencia de operación en una altura reducida.

Al sobrepasar los límites de los 62 metros aproximadamente del transceptor HC-12 y perder la comunicación, se procedió a levantar el robot a una altura mayor y en efecto logró una conexión con el mando, lo que muestra que este transceptor tiene menor capacidad de alcance a menores alturas que el NRF24L01.

Mejoras: Para ambos módulos, puede realizarse una adaptación para mejorar la capacidad de alcance entre el mando y el robot, de tal manera que permita ampliar su alcance óptimo.

### Conclusiones

Se llevó a cabo búsqueda y la adquisición de transceptores RF de largo alcance y de bajo costos, además de la disponibilidad en la región. También se llevó a cabo la construcción del prototipo de robot de exploración propuesto, además de la implementación de dos sistemas de transmisiones basados en un transceptor HC-12 y uno NRF24L01, ambos con antena externa. La figura 72 muestra el prototipo en funcionamiento.

En el caso de [24], [28] que operan uno a 2.4 GHz y el otro a 431 MHz, sin embargo, se utilizan módulos que no son tan accesibles en el mercado nacional o con una distancia menor a los 200 metros.

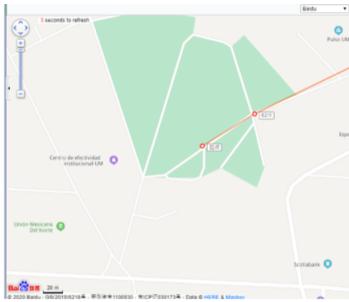


Figura 70. Avance del robot en su distancia límite de funcionamiento y conexión adecuada (de izquierda a derecha).

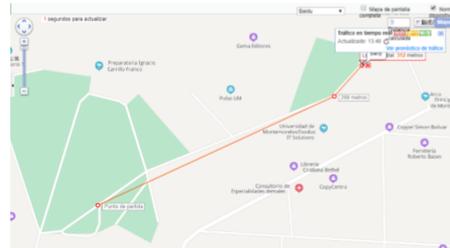
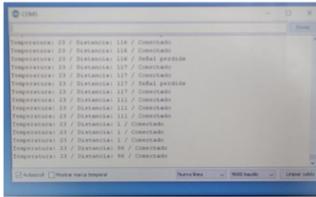


Figura 71. Recorrido máximo del robot con respuestas óptimas de control y recepción de datos



Figura 72. Prototipo de robot de exploración terrestre tipo rover en funcionamiento

## Trabajos a futuro

Este proyecto es una pequeña aportación para buscar la realización de un trabajo más complejo, por lo tanto, requiere en su caso, para un robot de exploración terrestre, en este caso uno de tipo rover, o algún otro tipo, sería el desarrollo de todos los sistemas integrados.

Para esto podría realizarse algunas mejoras y soluciones, tales como:

- Trabajar en mejoras de comunicación del módulo HC-12, pues carece de una infraestructura robusta para la transmisión de datos. Además de probar otras antenas
- Implementar un sistema de transmisión con más potencia.
- Implementar un equipo de procesamiento más potente, tal como una Raspberry.
- Implementación de una interfaz gráfica para la visualización de datos de telemetría.
- Trabajo e implementación de un sistema de transmisión de video.

De igual manera, la implementación de trabajo multidisciplinario para la implementación de otros sistemas tales como su rodaje, estructura, sustentación de energía, software para automatización, instrumentación, etc., a un tamaño más profesional.

## Referencias

1. J. G. P. M. Salehi, Fundamentals of communication systems, Second., vol. 66. Lake Street, Upper Saddle River, NJ 07458: Pearson Education, Inc, 2005.

2. L. Georgina, "Chernobyl explained: Was a robot really used - What happened to Joker? | World | News | Express.co.uk," 2019. [Online]. Available: <https://www.express.co.uk/news/world/1143556/chernobyl-hbo-sky-clean-up-robot-jokergraphite-radiation-what-happened>. [Accessed: 11-May-2020].
3. R. Alvarez, "Chernobyl y el fallido intento por limpiar la zona con robots," Xakata, 2020. [Online]. Available: <https://www.latercera.com/que-pasa/noticia/str-1-el-robot-encargadode-la-limpieza-de-chernobyl-que-fue-reemplazado-por-seres-humanos/686831/>. [Accessed: 20-Nov-2019].
4. "ESA - Robotic Exploration of Mars - ExoMars Rover." [Online]. Available: <https://exploration.esa.int/web/mars/-/45084-exomars-rover>. [Accessed: 05-Nov-2019].
5. "El rover de ExoMars comienza sus pruebas estructurales - Noticias Infoespacial Mundo." [Online]. Available: <http://www.infoespacial.com/mundo/2018/05/31/noticia-iniciapruebas-estructura-rover-exomars.html>. [Accessed: 15-Nov-2019].
6. J. Morales and J. L. Lázaro, Eds., Diccionario de términos y acrónimos de comunicaciones. Madrid: LM Data Communications S.A., 2003.
7. "Hace 175 años, Samuel Morse presentó su telégrafo: 'Raya, punto, raya.'" [Online]. Available: <https://web.archive.org/web/20160313131722>
8. K. Capek and C. Novack, R.U.R. (Rossum's universal robots). Penguin Books, 2004.
9. "¿Quién inventó la palabra robot?" [Online]. Available: <https://www.muyinteresante.es/cultura/artecultura/articulo/iquien-invento-la-palabrarobot>. [Accessed: 03-Dec-2019].
11. A. Ollero, Robótica. Manipuladores y robots móviles. Barcelo-

- na, España: Marcombo, 2001.
12. J. Lizardo Wildt and J. Lizardo Barahona, "Cirugía Robótica Y Telecirugía," *Rev Med Hondur*, vol. 84, pp. 142–144, 2016.
  13. S. Llana, A. Forner, S. Catalá, E. Delory, and V. Durá, "Frecuencia cardíaca en tiempo real por telemetría para aplicaciones acuáticas," p. 368, 1390.
  14. M. Folgheraiter, B. Bongardt, J. Albiez, and F. Kirchner, "A bio-inspired haptic interface for tele-robotics applications," 2008 IEEE Int. Conf. Robot. Biomimetics, ROBIO 2008, no. March, pp. 560–565, 2009.
  15. T. L. Brooks and I. Ince, "Operator vision aids for telerobotic assembly and servicing in space," in *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1992, vol. 1, pp. 886–891.
  16. L. G. Corona, G. S. Abarca, and J. Mares, *Sensores y Actuadores. Aplicaciones con Arduino, Primera*. Ciudad de Mexico: Grupo Editorial Patria, 2015.
  17. H. Klinkrad, *Encyclopedia of Aerospace Engineering*. John Wiley Sons, 2010.
  18. "The Making Of Arduino - IEEE Spectrum." [Online]. Available: <https://spectrum.ieee.org/geek-life/hands-on/the-making-of-arduino>. [Accessed: 04-Dec2019].
  19. "Arduino - Introduction." [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/guide/introduction>. [Accessed: 04-Dec-2019].
  20. J. Salazar and S. Silvestre, "Internet de las cosas," *Univ. Católica*, pp. 1–27, 2014.
  21. J. Michael and R. Anchundia, "Telemetría de Estación Meteorológica."
  22. E. Honell, "Lunokhod 1: 1st Successful Lunar Rover | Space," 2016. [Online]. Available: <https://www.space.com/35090-lunokhod-1.html>. [Accessed: 11-May-2020].
  23. J. O. Urgiles, "Diseño y contrucción de un robot explorador de Terreno," 2013.
  24. A. J. GALLEGOS CORREA, "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO ROBÓTICO MÓVIL TELEOPERADO INALÁMBRICAMENTE PARA INSPECCIÓN EN LUGARES DE ALTO RIESGO," Universidad de las fuerzas armadas de Ecuador, 2018.
  25. "El Curiosity, ¿una hazaña necesaria o un gasto excesivo de la NASA? | CNN." [Online]. Available: <https://cnnespanol.cnn.com/2012/08/09/el-curiosity-una-hazana-necesaria-oun-gasto-excesivo-de-la-nasa/>. [Accessed: 03-Dec-2019].
  26. P. Jakhar, "Coronavirus: las innovadoras tecnologías que está utilizando China para combatir el covid-19 (y las preocupaciones que plantean) - BBC News Mundo," BBC, 2020. [Online]. Available: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-51736635>. [Accessed: 11-May2020].
  27. E. Arcos, "¿Cómo se transmiten los datos del Curiosity en Marte a la Tierra?," *Hipertextual*, 2012. [Online]. Available: <https://hipertextual.com/2012/08/curiosity-marte-tierratransmision-datos>. [Accessed: 06-May-2020].
  28. A. R. Auquilla, "Diseño e implementación de un sistema de comunicación de un robot manipulador de 4 GDL mediante el sensor Kinect y telerobótica, para personas con discapacidad física," Universidad del Azuay, 2019.