

# DESARROLLO DE ROBOT MÓVIL DE EXPLORACIÓN DIRIGIDO MEDIANTE TRANSFERENCIA DE VIDEO

**Héctor A. FLOREZ FERNANDEZ**  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Bogotá, Colombia

**Diana C. BACCA QUIROGA**  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Bogotá, Colombia

y  
**Gustavo A. HIGUERA CASTRO**  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Bogotá, Colombia

## RESUMEN

En la actualidad, el campo de la robótica, toma un protagonismo en diferentes contextos debido a la cantidad de apoyo que puede ofrecer a los seres humanos en sus tareas cotidianas. El presente artículo tiene como objetivo exponer el desarrollo de un robot móvil de exploración dirigido mediante transferencia de video, el cual fue desarrollado teniendo en cuenta características mecánicas, electrónicas y computacionales que pudieran ofrecer al artefacto capacidades de movilidad a través de diferentes escenarios que involucren diferentes situaciones como terrenos irregulares y baja luminosidad.

**Palabras clave:** ZigBee, telemetría, Wi-Fi, red inalámbrica, sensórica remota. JMF (Java Media Framework)

## 1. INTRODUCCIÓN

En Colombia y muchas partes del mundo se ha pensado en la necesidad de crear robots que ayuden a las personas en momentos críticos como lo puede ser una catástrofe, un atentado terrorista, o inclusive deficiencias geográficas. Por esta razón se está desarrollando el proyecto robot móvil de exploración dirigido mediante transferencia de video, en el cual se tiene como principal objetivo adquirir video, analizarlo, tomar decisiones y trazar la mejor ruta de desplazamiento.

Para esto se implemento un robot mediante la técnica de oruga interna con piñón cadena que permite una movilidad flexible gracias a que puede realizar giros en sentido reloj y contrarreloj de 360 grados sobre su eje, construido en acero inoxidable con medidas de 40 cm de largo, 20 cm de ancho y 8 cm de altura, que es dirigido inalámbricamente desde el computador mediante protocolo de comunicación IEEE 802.15.4 (Tecnología ZigBee), empleando como interface un software desarrollado en el lenguaje de programación Java, adicional a esto se emplea el lenguaje de modelado UML (Unified Modeling Language), el cual es un lenguaje de modelado visual que se usa para especificar, visualizar, construir y documentar artefactos de un

sistema de software. Como instrumento de transmisión de video, para la adquisición del video se empleo una cámara con transmisión por RF, lo cual conlleva a una convergencia de tecnologías inalámbricas, como lo es la combinación de RF y ZigBee.

El sistema de software es desarrollado basado en lenguaje de desarrollo Java con maquina virtual J2SE versión 7, JMF (Java Media Framework) como framework multimedia para el manejo de video, RS232 como protocolo de transmisión de información serial a través del framework javax.comm, herramienta de desarrollo eclipse IDE y herramienta case de modelado Enterprise architect.

Por último, se implementara un sistema que permita la exploración, la toma de decisiones y el trazado de la mejor ruta gracias a la aplicación de inteligencia artificial, punto en el cual se potenciara el proyecto, además de ampliar en gran cuantía la dificultad y utilidad de este.

## 2. COMUNICACIONES INALÁMBRICAS EN LA ROBÓTICA

La robótica es la ciencia que estudia los diferentes conceptos para la construcción de robots. Un robot, se puede definir como un artefacto de forma mecánica o virtual, que por lo general es un sistema electromecánico que tiene un propósito específico. Según sus capacidades se clasifican en: Androides, Móviles, Zoomórficos, Poliarticulados.

En la actualidad, los robots comerciales e industriales son ampliamente utilizados, y realizan tareas de forma más exacta o más barata que los humanos. También se les utiliza en trabajos demasiado sucios, peligrosos o tediosos para los humanos. Los robots son muy utilizados en plantas de manufactura, montaje y embalaje, en transporte, en exploraciones en la tierra y en el espacio, cirugía, armamento, investigación en laboratorios y en la producción en masa de bienes industriales o de consumo.

En la actualidad se trabajan Robots que requieren buenas capacidades de movilidad. Este hecho obliga a pensar en comunicaciones inalámbricas, de tal forma que esta no limite la movilidad de las plataformas.

Ya que los robots son sistemas móviles, lo ideal es la no utilización de cables para alimentación, comunicación o control, por esto uno de los factores más importantes a la hora de elegir una tecnología de comunicación inalámbrica, es que sea de bajo consumo de potencia y de amplio alcance.

En la robótica, las comunicaciones inalámbricas tienen un gran ámbito de aplicación. Aunque dependiendo de cada tipo de aplicación, se mide como se puede utilizar cada una de estas en robots móviles se tiende a garantizar un buen porcentaje de recepción, aunque en muchas ocasiones esta calidad en la recepción implique un sacrificio en otros aspectos como capacidad de información y distancia. Para este tipo de implementaciones se usan comunicaciones inalámbricas tales como bluetooth, wi-fi, ZigBee, entre otras.

En este aplicativo en especial se realiza una pequeña convergencia de tecnologías entre Wi-Fi y ZigBee, puesto que toda la parte sensorial de datos (sensores de contacto, sensores de luz infrarroja, entre otros), la comunicación utilizada es ZigBee. Y el sensor de video en este caso con la cámara se hace con Wi-Fi, todo esto integrado por un aplicativo de software soportado en Java.

### 3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

#### Diseño Mecánico

El robot se ha desarrollado con un sistema de oruga interna mediante piñón cadena en acero inoxidable que ofrece gran robustez y desempeño del artefacto en diferentes ambientes naturales y artificiales.

El diseño de oruga posee tres ejes con el fin de permitir al robot superar con facilidad obstáculos, debido a que siempre va a tener tracción en al menos dos ejes. Además, el diseño delantero y trasero, evita que el robot quede parcial o totalmente bloqueado por obstáculos de hasta 6 cm de altura, que se encuentren directamente en su camino.

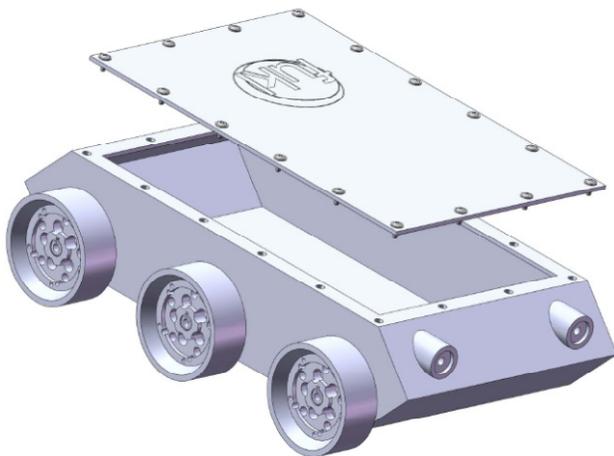


Fig 1. Diseño mecánico

El artefacto tiene un tamaño de 30 centímetros de largo por 20 centímetros de ancho. Estas dimensiones ofrecen el espacio necesario para ubicar los componentes electrónicos requeridos para su funcionamiento.

Además, la estructura permite una instalación segura para los componentes electrónicos ya que quedan sujetos a la misma, de forma que no genera interferencia entre las señales de cada uno de los componentes. Finalmente la estructura protege los dispositivos electrónicos de energías electromagnéticas externas.

#### Diseño Electrónico

Para realizar la estructura electrónica del robot se emplearon dispositivos electrónicos como:

- L298N
- Diodos 1N4007
- Resistencias de diferentes valores
- Microcontrolador PIC 16f877
- Y módulos inalámbricos XBee de Tecnología ZigBee

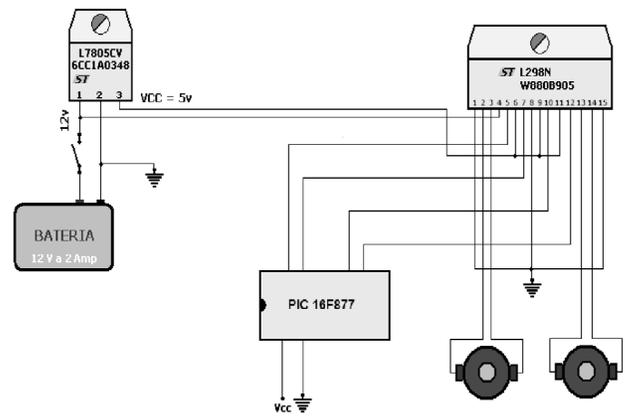


Fig 2. Diagrama electrónico

**Transmisor ZigBee:** ZigBee, es una tecnología inalámbrica con velocidades comprendidas entre 20 kB/s y 250 kB/s. Los rangos de alcance son de 10 m a 100 m. Además, una red ZigBee puede estar formada por hasta 255/65534 nodos [2]. Este transmisor es ideal para robots alimentados con baterías, para aplicaciones académicas por su bajo costo y funcionamiento en bandas libres y robots que no necesiten una gran tasa de transmisión. Ofrece la posibilidad de redes con gran cantidad de nodos, lo que implica una mayor cantidad de dispositivos.

El transmisor tiene las siguientes ventajas:

- Óptimo para redes de baja tasa de transferencia de datos.
- Bajo ciclo de trabajo - Proporciona larga duración de la batería.
- Soporte para múltiples topologías de red: Estática, dinámica, estrella y malla.

La siguiente tabla muestra un resumen de las características principales del transmisor.

Tabla 1. Características del transmisor ZigBee

Característica	Valor
Consumo de potencia	Bajo
Costo	Bajo
Tasa de transmisión	250Kbps
Cantidad de nodos	255/65534
Compatibilidad	Baja
Alcance	10-100m

**PIC16F877:** El microcontrolador PIC16F877 de Microchip pertenece a una gran familia de microcontroladores de 8 bits (bus de datos de 8 bits) que tienen las siguientes características generales que los distinguen de otras familias:

- o Arquitectura Harvard
- o Tecnología RISC
- o Tecnología CMOS

Estas características se conjugan para lograr un dispositivo altamente eficiente en el uso de la memoria de datos y programa y por lo tanto en la velocidad de ejecución. Microchip ha dividido sus microcontroladores en tres grandes subfamilias de acuerdo al número de bits de su bus de instrucciones:

Subfamilia instrucciones nomenclatura

- o Base - Line 33 instrucciones de 12 bits PIC12XXX y PIC14XXX
- o Mid - Range 35 instrucciones de 14 bits PIC16XXX
- o High - End 58 instrucciones de 16 bits PIC17XXX y PIC18XXX

Los microcontroladores que produce Microchip cubren un amplio rango de dispositivos cuyas características pueden variar de acuerdo a lo siguiente:

- o Empaquetado (desde 8 pines hasta 68 pines)
- o Tecnología de la memoria incluida (EPROM, ROM, Flash)
- o Voltajes de operación (desde 2.5 v. Hasta 6v)
- o Frecuencia de operación (Hasta 20 Mhz)

Para la implementación es necesario el uso de los siguientes componentes:

- o Transceptor ZigBee: Consiste en el dispositivo que realizará la transmisión y recepción de la comunicación. Para ello deberá ser compatible con el protocolo ZigBee, es decir, que el transceptor debe ser capaz de transmitir en la banda de frecuencia utilizada por ZigBee (2.4GHz).
- o Sensores: Serán los elementos encargados de capturar las medidas y estudio de estos dispositivos queda fuera de este proyecto a pesar de ser la fuente de datos, por lo tanto no se entrara en detalles.

**Circuito básico para el módulo XBee:** El módulo requiere una alimentación que está en el rango de 2.8 a 3.4V, y una conexión a través del UART (TXD y RXD) para comunicarse con un puerto serial. A continuación se observa las mínimas conexiones requeridas para el XBee. [5]

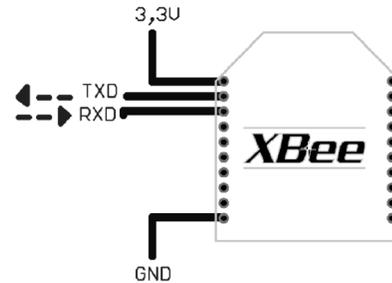


Fig 3. Diagrama de ZigBee

**Configuración de los módulos:** En el momento de realizar la implementación es posible identificar dos maneras de configuración del XBee a través del X-CTU, las cuales son por medio de la pestaña de Modem Configuration, o con la ayuda de la pestaña terminal, la cual se comporta exactamente igual que si se trabaja con el hyperterminal. A continuación, se muestra la pantalla en Modem Configuration y terminal

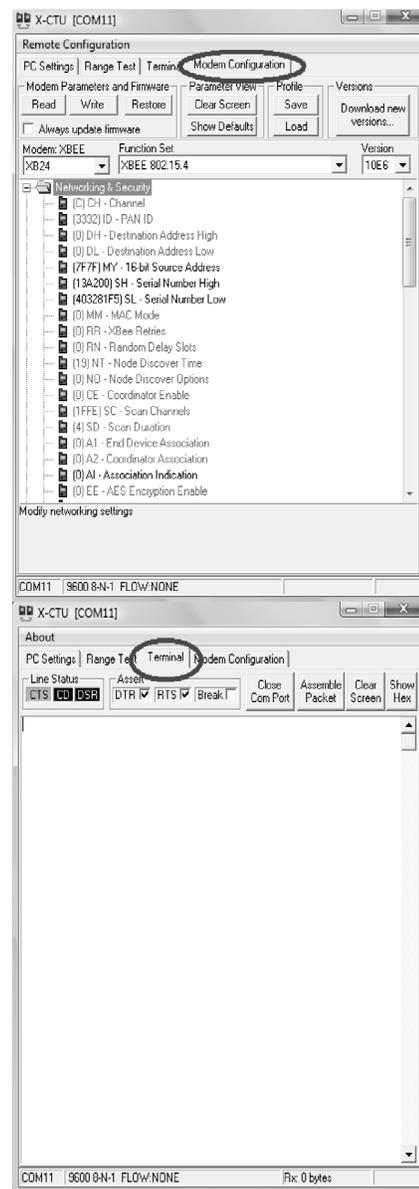


Fig 4. Configuración de ZigBee

Otro aspecto importante a mencionar es el diseño electrónico en cuanto a caracterización de los componentes a ser utilizados, puesto que, además de ser usados módulos ZigBee seleccionados principalmente por su alcance en distancia y eficiencia en recepción.

También se seleccionan componentes para la etapa de potencia como el L298N, el cual es un circuito que integra de forma correcta el acople entre los motores y el resto del circuito. Este último fue seleccionado, a partir de la corriente que consumen los motores del robot ya que por sus posibles aplicaciones se usaron moto-reductores para tener una mejor relación entre fuerza y torque. Estos motores consumen entre 1,05 Amperios y 1,65 Amperios aproximadamente, y este componente L298N tiene la capacidad de proporcionar hasta 2 Amperios de salida, además de tener una posibilidad muy interesante para futuras aplicaciones como lo puede ser la variabilidad en velocidad para el robot.

### Diseño De Software

El sistema de software del robot se denomina SwR y se desarrolla teniendo en cuenta dos actores básicos que son el usuario y el robot. Además, depende de JMF que es un framework para manejo de multimedia especialmente video para este proyecto y de un API desarrollado también en este proyecto denominado co.edu.fukl.comunicacion.jar, para las comunicaciones basadas en el framework de java javax.comm

Para el sistema se han planteado los siguientes requerimientos funcionales

- Usuario
  - Configuración de comunicaciones. El usuario, previo a iniciar la manipulación del robot, debe realizar las configuraciones necesarias de transmisión de video y datos.
  - Control manual del robot. El usuario debe a través de la aplicación controlar los movimientos del robot. El robot posee sensores ópticos de proximidad que evitan choques frontales y traseros, independientemente de los comandos realizados por el usuario.
  - Control a través de ruta predefinida. El usuario tiene la capacidad de establecer una ruta por medio de un escenario simulado, la cual es resuelta por el robot mediante la orden del usuario.
  - Control a través de programa mediante DSL (Domain Specific Language). El usuario puede desarrollar una aplicación de software con dominio específico para el robot, el cual puede ser ejecutado por el robot e interrumpido por el usuario.
- Robot
  - Envío de datos. El robot envía información al sistema. Esta información refiere a los resultados de los sensores instalados en el dispositivo móvil.
  - Envío de video. El robot envía video al sistema. El video enviado es corresponde a la imagen que se encuentra en frente del robot en tiempo real.

El diagrama de clases presenta el diseño de la aplicación el cual se compone de los siguientes conceptos:

- Paquete presentación. Este paquete reúne todas las clases que hacen parte de la interfaz gráfica de SwR. Contiene las siguientes clases:
  - FPrincipal. Inicia la aplicación

- IFControles. Permite realizar la configuración de comunicaciones con el robot
- IFPrograma. Provee los servicios para la carga y ejecución del programa realizado mediante el DSL del robot.
- IFRecorrido. Ofrece el escenario simulado para la configuración de ruta por parte del usuario. Ofrece también, elementos de configuración de la ruta.
- IFVideo. Permite la captura de video transmitido por el robot.
- Paquete Lógica. Este paquete reúne las clases que contienen los algoritmos que resuelven los requerimientos funcionales del robot. Contiene las siguientes clases:
  - Transmisión. Permite la configuración de puertos para la comunicación de la aplicación. A través de esta clase, se implementan los servicios para el uso del API co.edu.fukl.comunicacion.jar, el cual provee los servicios para comunicarse con el robot mediante el framework javax.comm.
  - Video. Esta clase permite el uso del framework JMF, para la captura de video del robot.
  - Recorrido. Ofrece los servicios necesarios para configurar rutas para el robot. Se apoya de la clase Punto, la cual tiene información en coordenadas cartesianas de los puntos de la ruta.
  - Programa. Permite cargar, ejecutar y detener los programas desarrollados mediante el DSL del robot. Se apoya de la clase Instrucción, la cual permite la construcción del modelo semántico del DSL.
- Paquete Persistencia. Este paquete contiene únicamente la clase ArchivoPlano la cual permite abrir el archivo donde se encuentra el programa basado en el DSL

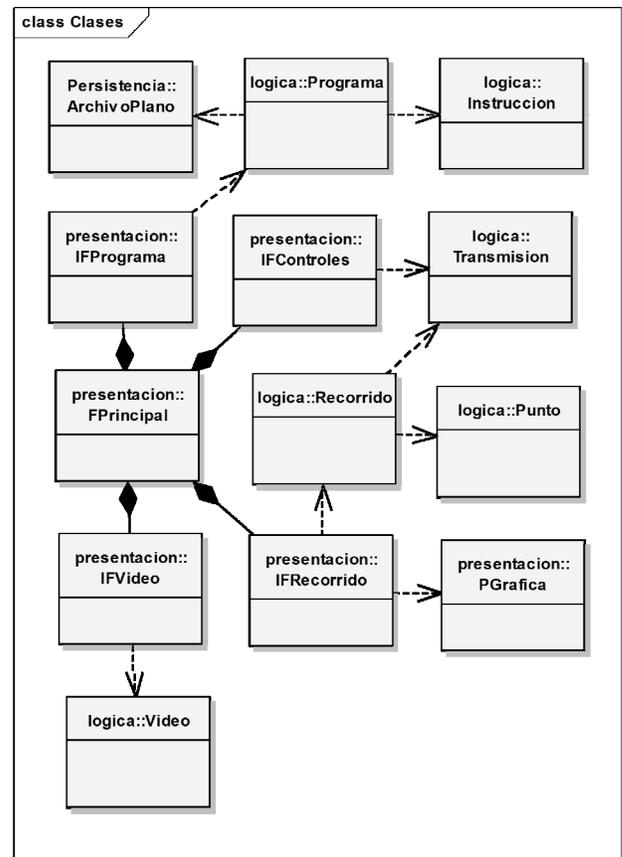


Fig 5. Diagrama de Clases del Software

El diagrama de componentes, presenta la distribución de paquetes clases y componentes utilizados en el desarrollo de SwR

El API co.edu.comunicacion.jar, desarrollado para este proyecto, puede ser utilizado en cualquier tipo de proyecto basado en java que utilice comunicación RS232. Este API posee el siguiente diagrama de clases

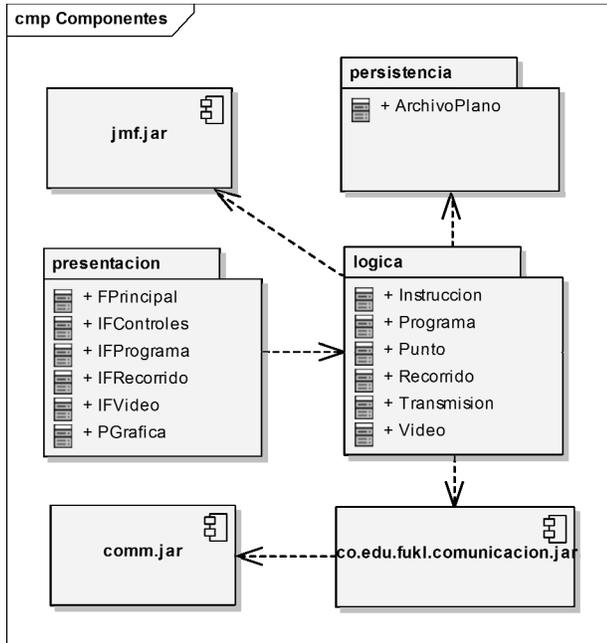


Fig 6. Diagrama de Componentes del Software

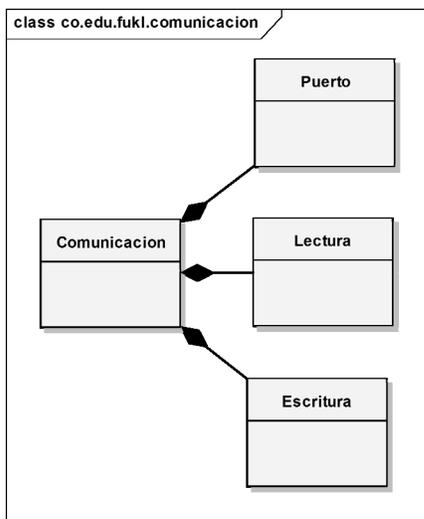


Fig 7. Diagrama de Clases del API de comunicaciones

#### 4. PRUEBAS Y RESULTADOS

##### Manejo de la trama

En la siguiente figura se muestra la trama obtenida de los módulos XBee, la cual se interpreta de la siguiente forma:

7E inicio de trama, 00 12 indican la cantidad de bytes desde el siguiente hasta el penúltimo, en decimal significa 18, 83 identificador API indica que el direccionamiento está hecho a 16 bit, CC 11 bytes que indican el módulo de origen de esta trama, 26 RSSI, 00 características de broadcast, 05 número de muestras para el convertor análogo-digital, 02 00 bytes que indican si están activos los convertidores o las entradas digitales, esta vez se muestra que solo el convertor análogo-digital ADC0 es el que está funcionando, 03 FF indica el valor de las entradas digitales, pero en este caso no tienen validez puesto que estas entradas no están activas, 03 FF el valor del convertor análogo-digital que acá interesa, los siguientes tres 03 FF son los valores del resto de convertidores, pero sucede lo mismo que con las entradas digitales como no están activas estos valores no se tienen en cuenta, y 68 es el valor de Checksum que cambia dependiendo lo que se considere que debe corregirse, este valor solo lo manipula el módulo, no el programador.

```

    7E 00 12 83 CC 11
    26 00 05 02 00 03 FF 03 FF 03 FF 03
    FF 03 FF 68
  
```

Fig 8. Trama de comunicaciones

##### Diseño de los PCB

Los circuitos impresos se elaboraron en fibra de vidrio, se dejó la posibilidad de implementar cualquier función en algún pin, para que se pueda ampliar para aplicaciones más robustas.

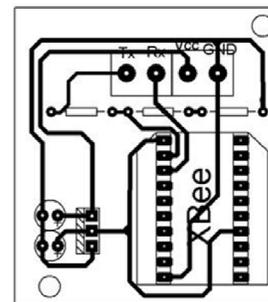


Fig 9. Diseño de circuito impreso para el módulo de comunicaciones ZigBee

##### Software empleado en comunicaciones ZigBee

Para la configuración de los módulos, y visualizar las tramas se emplea el software X-CTU, el cual proporciona un entorno amigable para la programación de parámetros como la PAN ID, el canal, las direcciones de destino y de origen, configuración de puertos de entrada y salida del módulo, entre otros. Este software es exclusivo para la configuración de los XBee.

##### SwR

La siguiente figura presenta la interfaz de configuración de puerto y control del robot por parte del usuario. En ella, se puede visualizar adicionalmente, en qué momento el robot pasa de forma automática a la forma autónoma, en caso de detectar un obstáculo.



Fig 10. Controles del Software

Para la configuración del recorrido, SwR posee la siguiente interfaz que muestra la ruta y configuración realizada.

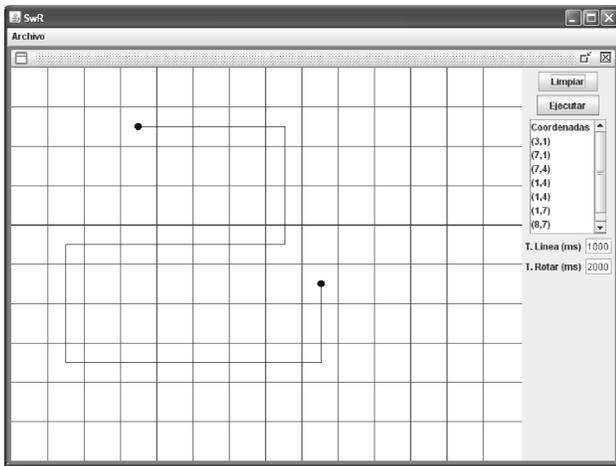


Fig 11. Presentación de recorrido del robot

En la operación de ejecución a través de DSL, se presenta una interfaz que muestra un resumen de las operaciones a realizar descritas en el programa.



Fig 12. Ejecución de DSL para el robot

## 5. CONCLUSIONES

Al momento de requerir ayuda de las comunicaciones inalámbricas, se debe realizar una buena elección de la tecnología a utilizar, la tecnología ZigBee es la más apropiada para el desarrollo del proyecto, puesto que, las principales ventajas de ZigBee son el bajo costo, bajo consumo de potencia, alta duración de la batería, y un costo reducido en la implementación.

Es necesario adquirir buenas herramientas para la aplicación de esta. Por lo que es importante considerar una evaluación viabilidad de módulos de comunicación ZigBee, obteniendo como resultado que a pesar de que pueden existir mejores posibilidades, los módulos RF versión OEM XBee, son la opción a seguir por su practicidad para trabajar, aparte de su gran accesibilidad tanto en costos como en facilidad para conseguirlos, sobre todo en países como Colombia.

La construcción de DSL para la manipulación de artefactos proporciona grandes ventajas al usuario final ya que puede predefinir trayectorias sin conocer el ambiente real sino conociendo el plano de dicho espacio, las cuales que pueden ser ejecutadas en cualquier momento a través del computador, evitando que exista dependencia hacia el usuario para el funcionamiento del artefacto en dicho escenario específico.

El desarrollo de proyectos en robótica, permite realizar procesos de investigación y desarrollo en diferentes áreas como mecánica, electrónica y computación, generando una convergencia en el uso de conocimientos y tecnologías que permiten desarrollos que puedan generar impacto positivo en el área de la ingeniería. Tanto así que los resultados generados, pueden ser de gran apoyo académico especialmente en países en vía de desarrollo.

## 6. REFERENCIAS

- [1] A. HUMBOLDT, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos, [www.humboldt.org.co/humboldt/mostrarpagina.php?codpag e=700072](http://www.humboldt.org.co/humboldt/mostrarpagina.php?codpag e=700072), 2010.
- [2] J. VALVERDE, El Estándar Inalámbrico ZigBee, Universidad Nacional de Trujillo, Perú, pp 1 – 11, 2007.
- [3] J. CARBALLAR, Wi-Fi Cómo construir una red inalámbrica, pp 4 – 10, 2005.
- [4] I. BARNEDA, ZigBee aplicado a la transmisión de datos de sensores biomédicos, Universidad Autónoma de Barcelona, pp 12 – 57, 2008.
- [5] OYARCE, Andrés, Guía del Usuario XBee Series 1 Documento Preliminar, [www.olimex.cl/pdf/Wireless/ZigBee/XBee-Guia\\_Usuari o.pdf](http://www.olimex.cl/pdf/Wireless/ZigBee/XBee-Guia_Usuari o.pdf), pp 1-69, 2008.
- [6] D. ROLDÁN, Comunicaciones Inalámbricas, pp 5-20, 2004.
- [7] MICROCHIP. PIC16F87X Data Sheet 28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

- [8] L.M DIMATEO, C. VERRASTRO, J. ROITMAN. Robot para exploración de tuberías de diseño compacto, modular y de seguridad intrínseca.
- [9] P ARRIZ, J ICAZA, F PAJARES, C PAUCAR. Robot móvil de exploración y reconocimiento en superficie terrestre.
- [10] A CADENAS. F VILORIA, Diseño y construcción de un robot móvil. Departamento de circuitos y medida. Escuela de Eléctrica, Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes, Mérida 5101, Venezuela
- [11] C PRADES, Carlos. Tratamiento multimedia en Java con JMF.
- [12] N MUÑOZ, C ANDRADE, N OSPINA. Diseño y construcción de un robot móvil orientado a la enseñanza e investigación. Universidad del Norte.