

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Automatización de un campo de tiro controlado y configurado mediante un dispositivo móvil

Jorge Ivan Puyo Poloche
20101005115

Gina Vannesa Ruiz López
20101005106

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
Bogotá D.C.
2017

AUTOMATIZACIÓN DE UN CAMPO DE TIRO CONTROLADO Y CONFIGURADO MEDIANTE UN DISPOSITIVO MÓVIL

Proyecto de Grado
Para optar por el título de Ingeniero Electrónico

ING. Julián Rolando Camargo López
Director del proyecto

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
Bogotá D.C.
2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

_____

_____

_____

_____

FIRMA DEL DIRECTOR DEL PROYECTO

_____

FIRMA DEL REVISOR

Bogotá, Febrero de 2017

Acuerdo 19 de 1988 del Consejo Superior Universitario Artículo 177: “La Universidad Distrital Francisco José de Caldas no será responsable por las ideas expuestas en esta tesis”.

DEDICATORIA

A Dios por acompañarme en cada paso dado, por permitirme cumplir mis propósitos y metas iluminando mi mente.

A ti, mi Ángel en el cielo por tu amor infinito, por ser el impulso de mis logros, apoyo incondicional y excelente padre.

A mi familia, especialmente a mi madre, Luz Dary, a mis hermanas, Stephany y Emma, y a mi madrina, Rosa Amparo por su apoyo y sincero amor.

A mi alma gemela, Iván, por su amor infinito.

Gina Vannesa Ruiz López

A mi familia, especialmente mis padres, Jorge y Luz, mi abuela, María, mis hermanas, Ingrid Lida y Jenny, por todo su apoyo, entendimiento, colaboración y amor.

A mi compañera de vida, Gina, por su amor y compañía incondicional.

Jorge Ivan Puyo Poloche

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos:

Al Ing. Julián Rolando Camargo, por su invaluable colaboración y orientación, lo cual fue fundamental para el cumplimiento de los objetivos del presente trabajo de grado.

Al Ing. Andrés Eduardo Gaona Barrera, por sus valiosos aportes y observaciones que hicieron posible el desarrollo y culminación del presente trabajo de grado de pregrado.

A nuestros profesores, por transmitir de la mejor manera sus conocimientos y brindar apoyo en nuestro aprendizaje.

A nuestros compañeros de estudio, por su compañía y apoyo en nuestro trayecto de pregrado.

A la Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, alma mater, por prestarnos una excelente formación intelectual y profesional, brindándonos competitividad para la vida profesional.

RESUMEN

El presente proyecto pretende desarrollar un diseño y prototipo de un sistema de automatización para el control y la configuración de las funciones principales de un campo de tiro, este controlado desde un software instalado en un dispositivo móvil (Smartphone, Tableta Electrónica, etc) con sistema operativo Android. Con el objeto de eliminar la participación del usuario en los procesos mecánicos secundarios de la práctica de tiro. Realizando los procesos de diseño, simulación e implementación de un prototipo a escala, que permite verificar la versatilidad de las topologías de las redes de sensores ZigBee, dando evidencia de su facilidad de programación y utilidad, y mostrando las ventajas y aplicaciones que ofrece esta tecnología.

Este trabajo puede servir para realizar comparaciones entre tecnologías existentes y facilitar la selección de la tecnología más adecuada dependiendo las necesidades propias de cada sistema de automatización, sin necesidad de que sean estrictamente para un campo de tiro.

Tabla de Contenido

1.INTRODUCCIÓN **13**

2. ANTECEDENTES **15**

2.1 ANTECEDENTES COMERCIALES 15
2.2. ANTECENDENTES DE INVESTIGACIÓN 17
2.2.1. Antecedentes de investigación aplicados a campos de tiro *17*
2.2.2. Antecedentes de investigación de redes de sensores ZigBee mediante una aplicación Android y Bluetooth en otras aplicaciones. *20*

3. JUSTIFICACIÓN **24**

3.1 IMPACTO ESPERADO 26
3.1.1 Impacto Social *26*
3.1.2 Impacto Económico *27*
3.1.3 Impacto Tecnológico *27*

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **30**

5. OBJETIVOS **33**

5.1 OBJETIVO GENERAL 33
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 33

6. MARCO TEÓRICO **35**

6.1 REDES DE SENSORES INALAMBRICAS 35
6.1.1 Factores que influyen en el diseño de redes de sensores. *35*
6.1.2 Redes de sensores ZigBee *37*
6.1.3 Enrutamiento de paquetes *39*
6.2 BLUETOOTH VS WIFI 42

7. DESARROLLO APLICACIÓN ANDROID **45**

7.1 DISEÑO DE LA APLICACIÓN "APP TIRO". 46
7.2 DESARROLLO DE LA APLICACIÓN "APP TIRO" EN ANDROID STUDIO 2.0. 50
7.2.1 Editor .xml *51*
7.2.1 Editor .java *53*
7.2.3 Insertar imágenes al proyecto en android studio *55*
7.2.4 Conexión Bluetooth *56*

8. DISEÑO DE LA RED **63**

8.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA RED 63
8.2. SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS PRINCIPALES 64
8.3. ESTACIÓN PRINCIPAL 66
8.3.1. Descripción General *66*
8.3.2. Desarrollo del sistema embebido *67*
8.3.3. Pruebas de funcionamiento entre el módulo padre y la aplicación Android. *70*
8.4. ESTACIÓN 1. “CONEJO” 71
8.4.1. Descripción General *71*
8.4.2. Diagrama de Bloques *72*
8.4.3. Desarrollo de Prueba de Velocidad *77*
8.4.4. Desarrollo de Sistema de Levantamiento de Blanco *82*

8.5. ESTACIÓN 2. “DISCOS” 87
8.5.1. Descripción General *87*
8.5.2. Diagrama de bloques *88*
8.6. ESTACIÓN 3. ROLLO DE BLANCOS 90
8.6.1. Descripción General *90*
8.6.2. Diagrama de Bloques *90*
9. PRUEBAS DE COMUNICACIÓN DE LA RED 94
9.1. DESARROLLO DE PRUEBAS DE COMUNICACIÓN DE LA RED 94
9.2. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMUNICACIÓN DE LA RED 97
10. DISEÑOS PCB 99
10.1 MONTAJES REALES DE LAS PLACAS DISEÑADAS 100
10.1.1 Estación Central *100*
10.1.2 Estación 1 "Conejo" *100*
11. CONCLUSIONES 102
12. RECOMENDACIONES 105
13. BIBLIOGRAFIA. 107

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. (A)DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE CONTROL DE CADA PROCESO, (B) DIAGRAMA DE FLUJO DE CONTROL PRINCIPAL. TOMADA DE [9]. 18
FIGURA 2. WSNS MEDIANTE TECNOLOGÍA ZIGBEE, MODELO Y APLICACIÓN DEL DISEÑO PROPUESTO. TOMADA DE [14]..... 21
FIGURA 3. ARQUITECTURA GENERAL DE UN NODO SENSOR. FUENTE, TRADUCIDO DE [24]..... 37
FIGURA 4. INTERFAZ GRÁFICA DEFINITIVA DE LA APLICACIÓN. 37
FIGURA 5. ARQUITECTURA DE LA APLICACIÓN ANDROID EN ANDROID STUDIO 2.0. 46
FIGURA 6A. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA APLICACIÓN APP TIRO (PARTE A). 47
FIGURA 6B. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA APLICACIÓN APP TIRO (PARTE B). 48
FIGURA 6C. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA APLICACIÓN APP TIRO (PARTE C). 49
FIGURA 7. SELECCIÓN DE LA VERSIÓN DE ANDROID. 51
FIGURA 8. EDITOR DE DISEÑO XML DE ANDROID STUDIO. 52
FIGURA 9. EDITOR DE TEXTO XML DE ANDROID STUDIO. 53
FIGURA 10. UBICACIÓN DE LA CARPETA "DRAWABLE" DE ANDROID STUDIO. 55
FIGURA 11. SOLICITUD DE PERMISOS DE USO DE BLUETOOTH. 56
FIGURA 12. CREACIÓN DE UNA NUEVA ACTIVITY. 57
FIGURA 13. DISEÑO EN XML DESIGN PARA EL LISTADO DE DISPOSITIVOS DISPONIBLES. 58
FIGURA 14. ACCIÓN ASIGNADA AL BOTÓN PARA ABRIR LA ACTIVIDAD DE CONEXIÓN BLUETOOTH. 59
FIGURA 15. DIAGRAMA DE BLOQUES GENERAL. 63
FIGURA 16. DIAGRAMA DE FLUJO PROGRAMA MÓDULO PADRE. 69
FIGURA 17. ESQUEMÁTICO ESTACIÓN CENTRAL. 70
FIGURA 18. MONTAJE MECÁNICO A ESCALA ESTACIÓN 1. 72
FIGURA 19. DIAGRAMA DE BLOQUES ESTACIÓN 1. CONEJO. 72
FIGURA 20. ESQUEMÁTICO ETAPA DE POTENCIA 1, ESTACIÓN 1. CONEJO. 74
FIGURA 21. SIMULACIÓN ETAPA DE POTENCIA 1. 74
FIGURA 22. CORRIENTE MÁXIMA DE DRAIN VS. TEMPERATURA. IMÁGEN TOMADA DE [35]. 75
FIGURA 23. MÓDULO INFRARROJO TCRT5000. 76
FIGURA 24. MONTAJE PARA EL DESARROLLO DE PRUEBAS DE VELOCIDAD. 78
FIGURA 25. DIAGRAMA DE FLUJO PROGRAMA PRUEBA DE VELOCIDAD. 78
FIGURA 26. GRÁFICA DE VELOCIDAD VS. PWM 81
FIGURA 27. CIRCUITO ETAPA DE POTENCIA 2 83
FIGURA 28. SIMULACIÓN ETAPA DE POTENCIA 2. 84
FIGURA 29. DIAGRAMA DE FLUJO MICRO ESTACION CONEJO 84
FIGURA 30. ESQUEMÁTICO GENERAL DE LA ESTACIÓN 1. CONEJO. 86
FIGURA 31. MONTAJE MECÁNICO ESTACIÓN 2. 87
FIGURA 32. DIAGRAMA DE BLOQUES ESTACIÓN 2. 88

FIGURA 33. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DE LA ESTACIÓN 2. "DISCOS" 88
FIGURA 34. MONTAJE ELÉCTRICO ESTACIÓN 2., "DISCOS". 89
FIGURA 35. MONTAJE MECÁNICO ESTACIÓN 3. "ROLLO DE BLANCOS". 90
FIGURA 36. DIAGRAMA DE BLOQUES ESTACIÓN 3. "ROLLO DE BLANCOS". 90
FIGURA 37. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA DE LA ESTACIÓN ROLLO DE BLANCOS 91
FIGURA 38.MONTAJE ELÉCTRICO ESTACIÓN 3 "ROLLO DE BLANCOS". 92
FIGURA 39. DIAGRAMA DE BLOQUES PARA LAS PRUEBAS DE COMUNICACIÓN DE LA RED. 94
FIGURA 40. RESULTADOS L =1M CON LÍNEA DE VISTA. 95
FIGURA 41. RESULTADOS L =6M CON LÍNEA DE VISTA. 95
FIGURA 42. RESULTADOS L =9M SIN LÍNEA DE VISTA. 96
FIGURA 43. RESULTADOS L =12M SIN LÍNEA DE VISTA. 96
FIGURA 44. RESULTADOS L =80M CON LÍNEA DE VISTA. 96
FIGURA 45. DISEÑO PCB Y VISTA 3D DE LA ESTACIÓN CENTRAL. 99
FIGURA 46. DISEÑO PCB Y VISTA 3D DE LA ESTACIÓN 1. 99
FIGURA 47. MONTAJE PLACA DE LA ESTACIÓN CENTRAL. 100
FIGURA 48. MONTAJE PLACA DE LA ESTACIÓN 1 "CONEJO". 100

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1. PRODUCTOS PARA EL CONTROL DE CAMPOS DE TIRO 16

INDICE DE TABLAS

TABLA 1: RESULTADOS EXPERIMENTALES 21
TABLA 2: MÉTODOS DE ENRUTAMIENTO ZIGBEE 41
TABLA 3: COMPARACIÓN DE TECNOLOGÍAS 42
TABLA 4: TABLA COMPARATIVA DE DIFERENTES MÓDULOS ZIGBEE 64
TABLA 5: RESULTADOS MEDIDA RSSI ESTACIÓN CENTRAL. 71
TABLA 6: TABLA DE VERDAD PUENTE-H MOTOR 1 73
TABLA 7: RESULTADOS EXPERIMENTALES ΔT, DESVIACIÓN ABSOLUTA (DA) Y DESVIACIÓN ABSOLUTA MEDIA (DAM). 79
TABLA 8: DATOS DE VELOCIDAD VS. CICLO ÚTIL DE PWM. 80
TABLA 9: VALORES DE PWM PARA LA VELOCIDAD SELECCIONADA. 81
TABLA 10: TABLA DE VERDAD ETAPA DE POTENCIA 2. 82
TABLA 11: RESULTADOS DE PRUEBAS DE COMUNICACIÓN DE LA RED XBEE. 97

1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento se visualiza el desarrollo del proyecto "Automatización de un campo de tiro, configurado y controlado mediante un dispositivo móvil", empezando con los antecedentes y trabajos actuales, donde se encuentra el estado del arte de los dispositivos que implementan redes de sensores inalámbricos y alámbricos existentes a la fecha, que permiten la automatización y toma de medidas en diversos sistemas. Posteriormente se abarca la justificación y los impactos esperados, donde se pretende explicar la viabilidad del porque desarrollar esta investigación, explicando como la automatización de sistemas acompañada por una aplicación móvil puede brindar un desarrollo socioeconómico para la industria colombiana. Lo anterior sirve de base para el planteamiento del problema desarrollado en el capítulo cuatro.

La presente monografía pretende desarrollar una red de sensores inalámbricos con tecnología ZigBee junto con tecnología Bluetooth, que sirve para comunicar el dispositivo móvil con la red de sensores, y a su vez con los dispositivos finales. Proponiendo una posible solución a las necesidades existentes en los campos de tiro del mundo y en especial los colombianos.

2. ANTECEDENTES

A continuación se presentan algunos trabajos y aportes realizados en torno a la automatización y control de campos o polígonos de tiro. Debe señalarse que después de una búsqueda exhaustiva no se encontraron trabajos que tuvieran como objeto la configuración y control del campo de tiro mediante un dispositivo móvil con sistema operativo Android utilizando una red de sensores inalámbricos ZigBee e integrando diferentes escenarios en una única interfaz de usuario.

Sin embargo, si existe información acerca de productos comerciales para el control de campos de tiro inalámbrico y alámbricos que usan diversos tipos de tecnologías; también se encontró información en torno a investigaciones realizadas para el control de escenarios específicos de los polígonos de tiro y arquitecturas similares enfocadas a diferentes aplicaciones, las cuales serán presentadas más adelante.

2.1 ANTECEDENTES COMERCIALES

En el cuadro 1, se presentan las características de algunos de los sistemas actuales de control de campos de tiro que existen en el mercado ofrecidos por los fabricantes.

Cuadro 1. Productos para el control de campos de tiro

FABRICANTE	PRODUCTO(S)	INALÁMBRICO	DESCRIPCIÓN
Cubic defence UK	Sistema de control de campo de tiro	No	Permite: • Integración de diferentes sistemas de control de campo de tiro • Control de la iluminación y sistemas audiovisuales • Detección de incendios y sistemas de alarma • La protección contra incendios • Monitoreo de video.[1]
Advanced Interactive Systems	Targetmaster	Si	Permite: • Controlar las actividades de tiro básicas (encender/apagar escenarios, restablecer o girar blancos) • Posee Software de visualización de datos para PC, y control remoto RF.[2]
Action Target	Wireless master control	Si	Posee: • Rango de 274,32 m. • Compatible con las tarjetas de control Touch Plus™ Master Control System y Freedom AWD • La interfaz de pantalla táctil intuitiva le da al operador un control total sobre el polígono de tiro, incluyendo los sistemas de blancos y los equipos adicionales tales como portero automático, sistemas de iluminación, barreras de seguridad fotoeléctricas, alarmas en las puertas, sistemas de climatización,etc.[3]
	Smartrange™	No	Puede utilizarse para controlar cualquier variedad de actuadores de blancos en un campo de tiro. También puede controlar luces, ventiladores, sistemas de audio, y cualquier otro dispositivo electrónico en el campo.
	Air command ultra™	Si	Utiliza tecnología GSM, brinda la posibilidad de acceder a los escenarios de entrenamiento pre-programados desde un teléfono inalámbrico. Usando el software SmartRange ™, puede programar los diferentes escenarios (Tiempos de activación, giros, etc) También puede asignar un tiempo de exposición de los blancos en cuestión de segundos para aumentar o disminuir la dificultad del ejercicio. Una vez que los escenarios de entrenamiento y ejercicios se han guardado en el ordenador, se les asigna un número y se puede acceder de forma inmediata a partir de un teléfono inalámbrico con una simple pulsación de un botón.

Mancom	Master control screen	No	Permite: • Control completo del campo de tiro desde una ubicación central utilizando una pantalla táctil. • El usuario puede crear hasta 100 escenarios de formación, control de iluminación, efectos de sonido, entradas de vídeo y las características de seguridad de su rango Su programación se encuentra en una memoria EEPROM y posee un botón de para de emergencia en todos los menús, se puede adecuar para adaptarse al control remoto RF MRF1100 o MRF1200.[5][6][7]
Elicio	Emisor rc-lcd-07	Si	• Emisor larga distancia (más de 200m en campo abierto). • Batería de litio de larga duración (Más de 40.000 platos con una sola carga). • Controla 32 campos y 7 máquinas por campo. • Con modo abierto y modo fichero.
	Emisor rc-07	Si	• Emisor larga distancia (más de 250 m. en campo abierto). • Muy bajo consumo, Solo usa una pila.
	Receptor rc-ht	Si	• Permite hacer dobles simultáneos. • Valido para cualquier máquina. • Alimentación 12/24V. • Control hasta 8 máquinas
	Receptor rc-ht-t	Si	• Control total del tándem con el emisor vía radio.
	Receptor rc-ht-07	Si	• Permite hacer dobles simultáneos. • Valido para cualquier máquina. • Alimentación 12/24V. • Control hasta 8 máquinas simultáneamente.[8]

2.2. ANTECENDENTES DE INVESTIGACIÓN

2.2.1. Antecedentes de investigación aplicados a campos de tiro

Existen algunas investigaciones enfocadas a la automatización de escenarios específicos para los campos de tiro, por ejemplo; Saona, M. (2014), presentó en su proyecto de tesis titulado "Diseño y construcción de un sistema mecatrónico, de detección de puntajes automatizado en "Blancos o Dianas" para un polígono de tiro" el desarrollo de la automatización de blancos o dianas de un polígono de tiro para la detección de impactos, mediante el uso de pistolas con

CO2; un sistema de control de tres velocidades para un escenario similar al “conejo” que se muestra más adelante en el presente proyecto. El diagrama de flujo del control principal y del sistema de control de cada proceso se presenta en la Figura 1.

En base a la Figura 1, su diseño electrónico se basa en la selección de un microcontrolador el cual controla el movimiento horizontal del sistema y realiza la adquisición de datos. Maneja sensores de fuerza resistivos (FSR), sensores de posición y la interfaz humano-máquina (HMI) planteada en Labview que permite el desarrollo de una interfaz de fácil entendimiento para el usuario. En la programación, se utiliza código C, aplicado para la detección de los 3 tipos de puntajes que tiene el blanco.

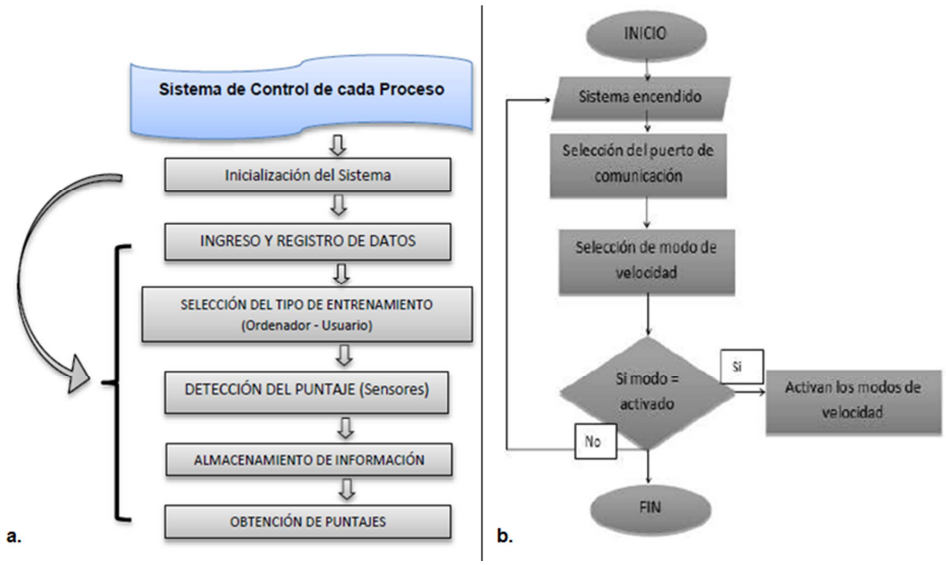


Figura 1. (a)Diagrama de flujo del sistema de control de cada proceso, (b) Diagrama de flujo de control principal. Tomada de [9].

Saona, M. (2014), describe los inconvenientes y las limitaciones que tuvo a partir de su diseño. A continuación, se presentan las más relevantes:

- El tiempo de respuesta de los sensores, que junto a su acondicionamiento más la etapa de comunicación hacen que se reciba un dato en al menos 1 segundo, esto hace que el equipo diseñado sólo pueda recibir impactos con este intervalo de tiempo.

- Debido a la complejidad del problema, se plantearon diversas alternativas de solución, desde la comunicación entre dos PIC's, siendo uno Maestro y el otro PIC Esclavo, pero la velocidad de transmisión era más lenta y además la corriente que circula por el sistema debido al alto torque es demasiado grande, por tal motivo se buscó otra alternativa y se llegó a la conclusión de implementar un puente H utilizando relés, lo cual era la mejor opción, debido a que este tipo de circuitos soportan más corriente.
- Tuvo que optar por un sistema de control para la velocidad del motor de tres relés con sus respectivas fuentes de 5, 9 y 12 voltios, pues inicialmente se planteó el uso de PWM (modulación de ancho de pulso) para controlar las velocidades pero el torque de arranque resultaba ser insuficiente.
- La interfaz HMI posee costo de licencia, lo que incrementa el costo de fabricación.[9]

Por otra parte, Enríquez, Á. y Ortega, C. (2015), en su trabajo titulado "Automatización del proceso de seriamiento, puntuación y registro de tiro de armas livianas en un polígono de tiro", diseñaron e implementaron una aplicación que permite el registro y seriamiento del armamento en tiempo real utilizando la plataforma virutal LabView versión 2011 mediante una red Ad-Hoc con ordenadores (una consola principal y el dispositivo de cada usuario) que controla la habilitación de los blancos de tiro y permite registrar el puntaje obtenido a partir del

procesamiento digital de las imágenes obtenidas por el Módulo Vision Development de National Instruments[10]. El autor no presenta datos sobre velocidad de adquisición de datos u otra medida referente al desempeño de su propuesta.

Existen diversos trabajos enfocados al registro de puntuación de blancos en campos de tiro mediante el uso de la visión artificial usando métodos como la transformada de Houhg[11] y la transformada de distancia[12][13]. Estos trabajos solamente permiten la obtención de resultados más no la automatización de diferentes escenarios. Sin embargo, se pueden monitorear los resultados de forma remota.

2.2.2. Antecedentes de investigación de redes de sensores ZigBee mediante una aplicación Android y Bluetooth en otras aplicaciones.

En la Figura 2, se evidencia de manera global como Qiao, B., & Ma, K. (2015) proponen una red de sensores inalámbrica basada en ZigBee reforzada por la adopción del módulo Bluetooth para facilitar la toma de mediciones en el campo industrial con bajo costo y portabilidad.

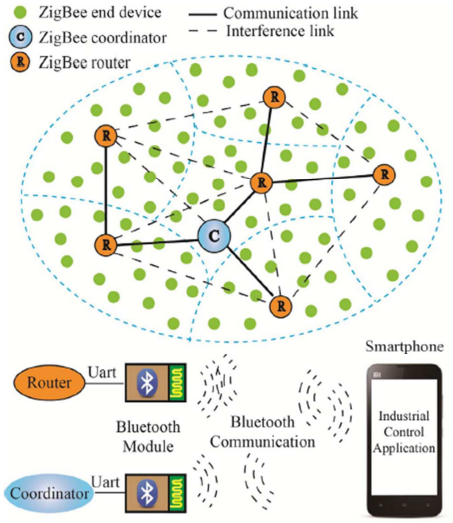


Figura 2. WSNs mediante tecnología ZigBee, modelo y aplicación del diseño propuesto. Tomada de [14]

Sólo se requiere un módulo Bluetooth y circuitos básicos que se añade a la red ZigBee y un modelo físico simplificado que ha sido diseñado y verificado en la red de sensores inalámbricos. El nodo principal puede ser monitoreado y controlado de forma inalámbrica en tiempo real a través de la aplicación diseñada en Android, que puede ser configurado en un teléfono inteligente para la comunicación, seguimiento y control, dando como resultado un rango de distancia entre el nodo principal y el usuario hasta 60 metros. Los resultados obtenidos experimentalmente en este trabajo se evidencian en la Tabla 1.[14]

Tabla 1: Resultados experimentales

Precisión de fluidos			<2%
Consumo del módulo Bluetooth	Desconectado		2-4mA
	Conectado	Sin transmitir datos	2-4mA
		Transmitiendo datos	24.7 mA (115.2Kbps)
			19.8mA (115.2Kbps)
Máxima distancia de comunicación en espacio			60 METROS

abierto	

NOTA: Esta tabla fue traducida de [14]

Además del trabajo mencionado anteriormente, Choudhury, S., Kuchhal, P., y Singh, R. (2015) exponen un sistema similar, en el cual el objetivo es visualizar la adquisición datos de diferentes sensores mediante una aplicación Android. [15]

Existen diversos ejemplos de redes de sensores inalámbricas con tecnología ZigBee, debido a que tiene un campo bastante amplio de aplicaciones. En su concepción ZigBee se ideó para que tuviese una estructura por capas, lo que simplifica el problema y permite dividir el problema en otros más pequeños. Además una estructura por capas es más flexible ante cambios, se pueden incorporar diferentes módulos sin necesidad de un cambio significativo en la programación inicial.[15]

3. JUSTIFICACIÓN

Los campos de tiro colombianos no se encuentran automatizados en su totalidad, debido a múltiples factores como por ejemplo; no hay un proveedor local de estos productos, al no haberlo implica incurrir en costos de importación; tampoco existen distribuidores de las marcas extranjeras dedicadas a la fabricación de sistemas de control para campos de tiro. Esto hace que se dificulte la adquisición de este tipo de productos.

Adicional a esto, existe la necesidad de poder automatizar algunos de los escenarios que se presentan en los campos de tiro, debido a que actualmente la experiencia del usuario es lenta por causa de los procesos manuales y/o mecánicos en la toma de los puntajes, restablecimiento y activación de blancos, y se ven limitaciones en el caso particular del control de velocidad de los blancos de tiro. Haciendo que cada entrenamiento sea más costoso debido a las horas-hombre que se pagan para las tareas específicas de cada actividad, por lo que las instalaciones están ocupadas por una cantidad de tiempo mayor comparada a las de un campo de tiro automático.

Además, como se evidencia en el capítulo 2 del presente documento, no existe en el mercado un Sistema de control configurado mediante un dispositivo móvil con sistema operativo Android, es cuando el presente proyecto cobra relevancia, debido a que actualmente la información de la mayoría de las personas se encuentran en un solo lugar, en sus *Smartphone.* En Colombia, según el informe presentado por el Ministerio TIC, al finalizar el año 2014, el total de abonados a la telefonía móvil fueron 53.583.664, mientras que el número de habitantes no supera los 48 millones. [17]

El hecho de desarrollar la interfaz de control en sistema operativo Android permite portabilidad, accesibilidad y popularidad. Sumándole el hecho de la creación de la red de sensores ZigBee, la cual permite una gran capacidad de rango dependiendo del módulo XBee que se use[18], bajo consumo de energía del *Smarthphone* y la facilidad para la adición de más escenarios o dispositivos finales.

También es importante mencionar que en Colombia una de cada tres personas posee un arma legal, cada día, en promedio, cinco personas llegan ante el Departamento de Control de Comercio de Armas, Municiones y Explosivos del Ministerio de Defensa a comprar un revólver, una pistola o una escopeta. [19]

La estadística revela una marcada disminución en la tendencia de los colombianos a buscar ese tipo de protección, por lo menos legalmente. Hoy, según las cifras del Comando General de las Fuerzas Militares, hay 560.667 armas de fuego amparadas que están en poder de 419.278 tenedores legales. De ellos, 264.736 registros corresponden a empresas de vigilancia y departamentos de seguridad. [19]

Además de las fuerzas militares y las personas naturales que desean adquirir un arma porque consideran la seguridad como un factor fundamental para esta decisión, también existen civiles que practican tiro deportivo (socios de Clubes de Tiro afiliados a la Federación Colombiana de Tiro y Caza y los Coleccionistas de armas), los cuales deben cumplir con los requisitos de ley para ejercer las actividades mencionadas. [19]

El trámite un arma de fuego una persona debe cumplir requisitos como ser mayor de 25 años, no registrar antecedentes penales ni disciplinarios, someterse a un examen psicométrico, análisis de los rasgos de personalidad y hacer un curso especializado de manejo de armas.[19][20]

Para realizar el curso de manejo de armas las personas deben recibir una capacitación teórica y una capacitación práctica en un campo o polígono de tiro. Actualmente, existen diversas empresas que brindan este servicio de capacitación para el manejo de armas, campos de tiro dedicados al tiro deportivo y campos de tiro de las Fuerzas militares de Colombia (Escuela de Tiro del Ejército Nacional, Polígono Olímpico de Tolemaida, etc).

Es decir, se tiene un mercado de acción significativo en el cual el desarrollo del presente proyecto aporta múltiples beneficios tanto económicos, como de hardware y comodidad.

3.1 IMPACTO ESPERADO

3.1.1 Impacto Social

El presente proyecto intenta mejorar la experiencia del usuario al hacer uso de un campo de tiro, haciéndolo sentir que está haciendo uso de alta tecnología fabricada en el país, aumentando su confianza en los productos nacionales.

Se tiene como expectativa mejorar el porcentaje de innovación y desarrollo tecnológico de las empresas que tienen como actividad económica el entrenamiento de manejo de armas, y así tener un aumento en las cifras de innovación de la industria colombiana. El DANE para el periodo 2013-2014, el 0,1 % de las empresas se clasificaron como innovadoras en sentido estricto y 19,3 %como innovadoras en sentido amplio, la EDIT se aplicó a 10.133 empresas del sector industrial.[21]

3.1.2 Impacto Económico

El presente proyecto intenta brindar un mayor portafolio de productos al propietario de un campo de tiro, lo que conlleva a una mayor oferta, mejorando la competitividad del campo en relación a otros ofrecidos en el mercado. Atrayendo así un mayor número de usuarios y un aumento en las ganancias.

Igualmente al estar todos los procesos automatizados, se puede hacer un mejor aprovechamiento de los empleados, asignándoles tareas en ámbitos diferentes.

La inversión realizada en el proceso de automatización será efectuada una sola vez, con mantenimientos correctivos esporádicos, causados principalmente por los riesgos del entorno (impacto por algún proyectil, manejo inadecuado por parte de algún usuario, daños por humedad, temperatura, etc). En este orden de ideas se busca dar a entender que la inversión realizada en el sistema automatizado genera ganancias mayores a su costo, debido a que queda implementado de forma permanente mientras su inversión se realiza una sola vez y los mantenimientos son debidos a agentes externos que no se presentan constantemente.

3.1.3 Impacto Tecnológico

Se pretende desarrollar un producto de alta tecnología que ofrezca conectividad inalámbrica robusta unida a una aplicación móvil, con largas distancias de alcance y posibilidad de expansión de módulos, sin necesidad de cambiar la infraestructura. Actualmente no es grande la demanda de productos de este tipo a nivel mundial debido a su alto costo, el mercado ofrece

en este momento una gran variedad de productos con conectividad inalámbrica y aplicaciones en dispositivos móviles (xataga, ozom, etc) aplicados exclusivamente para el hogar, por lo cual; el campo de acción de esta tecnología podría expandirse a cualquier entorno ofreciendo bajo de consumo de energía (para Smartphone y módulos que usen baterías), largas distancias de alcance, confiabilidad en los datos y adhesión de cualquier otro dispositivo final.

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Teniendo en cuenta las necesidades expresadas en el capítulo 3, alrededor de la falta e importancia de desarrollar un sistema que permita la automatización de un campo de tiro controlado y configurado mediante un dispositivo móvil, (particularmente mediante una aplicación Android), obteniendo diferentes beneficios en comparación a otras tecnologías que usan cableado estructurado, las cuales tienen limitaciones en cuanto a ancho de banda y resultan altamente costosas para las distancias que se emplean en los campos de tiro. Estos inconvenientes provocan un problema mayor cuando se pretende modificar, realizar alguna medición o adicionar más dispositivos (sensores, nodos, etc) en un sistema que ya se encuentra implementado, ya que esto podría requerir el recableado y relocalización de los dispositivos de medición.

Lo anterior es para sistemas de automatización que se implementan mediante cableado estructurado. Sin embargo, como se evidencia en la Tabla 3, las redes Wi-Fi presentan alto consumo de energía, protocolo complejo, alto costo. Al analizar las falencias de las tecnologías existentes se presenta la oportunidad de proponer un sistema que mejore, facilite e innove el mercado actual para sistemas de automatización de campos de tiro.

El presente trabajo pretende responder o aportar información a la industria de campos de tiro colombianos en relación a la siguiente pregunta: ¿En qué medida la tecnología ZigBee combinada con una aplicación Android puede reemplazar las tecnologías inalámbricas actuales para la automatización de un polígono de tiro?.

La pregunta de investigación planteada busca realizar una propuesta entorno a los siguientes aspectos:

- La cantidad y costo de los dispositivos necesarios para intercomunicar los módulos de la red inalámbrica a distancias considerablemente grandes (más de 100m).
- La facilidad de acceso a la plataforma de control teniendo una interfaz de usuario amigable y sencilla.
- Facilidad de adición de nodos y sensores.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar un prototipo para la automatización de un campo de tiro controlado y configurado mediante una aplicación móvil.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar una aplicación Android que sea capaz de configurar y controlar vía Bluetooth los parámetros del sistema (activación y reiniciación de tareas, velocidad).
- Diseñar de forma individual los diferentes sistemas embebidos (Módulo padre y Módulos Hijos) capaces de desarrollar sus tareas específicas (comunicación bluetooth, comunicación ZigBee, control de velocidad, control de posición, determinación de puntaje y accionamiento de motores).
- Verificar el funcionamiento de la comunicación entre el módulo padre y la aplicación móvil por vía Bluetooth.
- Desarrollar un sistema de pruebas de funcionamiento para la comunicación entre el módulo padre y los módulos hijos por vía ZigBee.
- Evaluar la implementación del sistema de control para el prototipo a escala.

6. MARCO TEÓRICO

6.1 REDES DE SENSORES INALAMBRICAS

Las redes de sensores son la clave para la recopilación de la información que necesitan los entornos inteligentes, ya sea en edificios, construcciones, industrias, casas, aviones, en el campo o en otro lugar. En tales aplicaciones, el tendido de cables o cableado suele ser poco práctico. Se requiere una red de sensores que sea rápida y fácil de instalar y mantener. [22]

Una red de sensores inalámbrica es una colección de nodos organizados en una red cooperativa. Cada nodo posee capacidad de procesamiento (uno o más microcontroladores, procesadores o chips DSP), pueden contener varios tipos de memoria (programa, datos y memorias flash), tener un transceptor de RF (por lo general con una única antena omnidireccional), tienen una fuente de alimentación (por ejemplo, baterías y celdas solares), y acomodar varios sensores y actuadores. Los nodos se comunican de forma inalámbrica y, a menudo se auto-organizan. Sistemas de 1.000 o incluso 10.000 nodos se anticipan. Tales sistemas pueden revolucionar la forma en que se vive y se trabaja. [23]

6.1.1 Factores que influyen en el diseño de redes de sensores.

Un diseño de red de sensores está influenciada por muchos factores, que incluyen la tolerancia a fallos; escalabilidad; costos de producción; entorno operativo; topología de la red del sensor; limitaciones de hardware; medios de transmisión; y consumo de energía. A continuación se describen algunos de los factores a tener en cuenta:

- Tolerancia a Fallos:

Algunos nodos de sensores pueden fallar o ser bloqueada por falta de energía, tener daño físico o la interferencia ambiental. El fracaso de los nodos de sensores no debe afectar a la tarea general de la red de sensores. La tolerancia a fallos es la capacidad de mantener las funcionalidades de redes de sensores sin ninguna interrupción debido a fallos en los nodos de sensores. [24]

- Escalabilidad.

El número de nodos de sensores desplegados en el estudio de un fenómeno puede estar en el orden de cientos o miles. Dependiendo de la aplicación, el número puede llegar a un valor extremo de millones; los nuevos esquemas deben ser capaces de trabajar con este número de nodos. También deben utilizar la naturaleza de alta densidad de las redes de sensores. [24]

- Costos de producción

Dado que las redes de sensores consisten en un gran número de nodos de sensores, el costo de un solo nodo es muy importante para justificar el coste global de las redes. Si el coste de la red es más caro que el despliegue de sensores tradicionales, no se justifica el costo de la red de sensores. Como resultado, el costo de cada nodo sensor tiene que mantenerse bajo. [24]

- Limitaciones de hardware:

La arquitectura general y la mayoría de sus componentes de un nodo sensor se muestra en la Figura 3. Un nodo sensor se compone de cuatro componentes básicos: una unidad de detección, una unidad de procesamiento, una unidad de transceptor y una unidad de potencia.

También pueden tener componentes adicionales dependientes de aplicación tales como un sistema de hallazgo de ubicación, un generador de energía y un movilizador. [24]

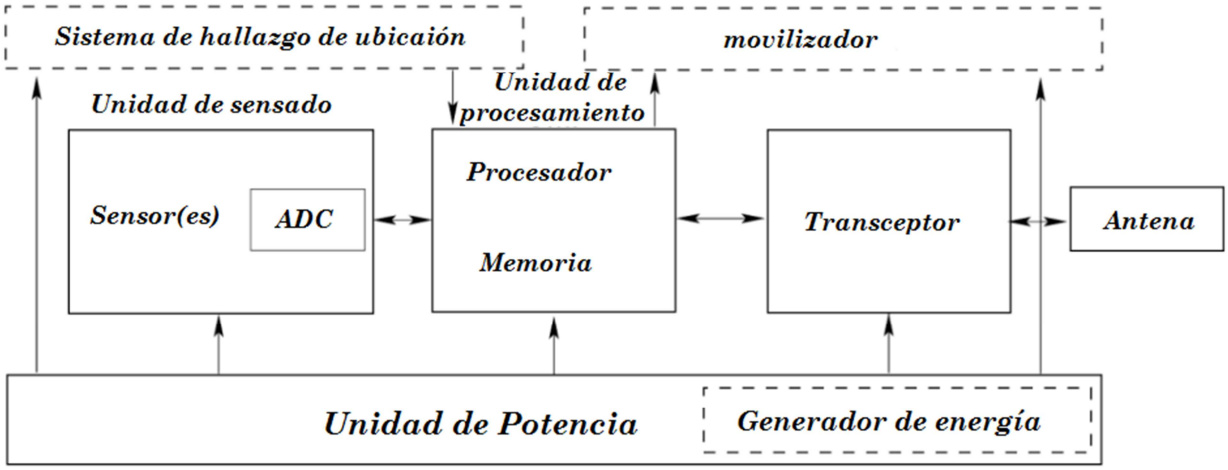


Figura 3. Arquitectura general de un nodo sensor. Fuente, traducido de [24]

6.1.2 Redes de sensores ZigBee

ZigBee posee un bajo consumo de energía en tecnologías de comunicación inalámbrica, que puede ser ampliamente utilizado en redes de sensores inalámbricos (WSN). WSN se compone de cientos de nodos, toda la información de nodos de sensores en la red será enviada al coordinador, por lo que el coordinador general recoge información de los datos de los sensores, conserva y procesa la información. Así mismo, también se encarga de la interfaz de red con el usuario. [25]

Antes de que cualquier nodo ZigBee se pueda comunicar en una red, debe formar una nueva red o unirse a una red existente. Sólo el Coordinador ZigBee puede formar una red. Sólo dispositivos finales ZigBee y ZigBee routers se pueden unir a una red. Muchos proveedores ofrecen la posibilidad de tener un nodo designado como ZC, ZR, o ZED en tiempo de

compilación (para ahorrar código y RAM) o en tiempo de ejecución (para reducir piezas fabricadas por el OEM). [26]

Cada nodo comienza con una dirección única IEEE de 64 bits (también conocido como MAC o larga), asignado por el fabricante durante la fabricación. Durante el proceso de adhesión a la red, cada nodo se le asigna un único discurso de 16 bits (dentro de esa red, también conocido como NwkAddr) para utilizar al comunicarse con otros nodos de la red. La dirección de 16 bits se utiliza para casi todas las comunicaciones, para reducir over-the-air sobrecarga de protocolo, dejando más espacio para la carga útil de la aplicación. [26]

Los coordinadores ZigBee (ZCS) forman redes. El proceso de formación de una red se realiza a través de la determinación de un identificador único para la red, llamado PAN ID, y la elección de uno de los dieciséis canales 802.15.4 (11-26) en la que opera la red. En el momento en que ZC ha formado la red, se establece la red. [26]

Un Coordinador ZigBee tiene las siguientes funciones:

- Se forma una red.
- Establece el canal 802.15.4 en el que operará la red.
- Se establece la ID PAN extendido y corto para la red.
- Se decide el perfil pila de usar (compilar o en tiempo de ejecución opcional).
- Actúa como el Centro de confianza para aplicaciones y redes seguras.
- Actúa como árbitro para el final de dispositivos-Bind (una opción de puesta en marcha).
- Actúa como un router para el enrutamiento de malla.
- Actúa como la parte superior del árbol, si el direccionamiento árbol habilitado. [26]

Los ZigBee routers (ZRS) y ZigBee End- Devices (ZEDs) se unen a las redes. ZRs están generalmente encendidos, a la escucha de paquetes a ruta. Los ZEDs son usualmente la fuente de poder y están en modo “Sleep”, solo se despiertan para comunicarse brevemente antes de ir a dormir (entran en modo “sleep”). [26] ZigBee routers son responsables de:

- Encontrar y unirse a la red "correcta"
- La perpetuación de emisiones a través de la red
- Participar en el enrutamiento, incluyendo descubrimiento y el mantenimiento de rutas
- Permitir que otros dispositivos se unan a la red (Si hay el permiso de unirse y activar)
- El almacenamiento de los paquetes en modo “Sleep”. [26]

Los ZigBee End-devices son responsables de:

- Encontrar y unirse a la red "correcta"
- Sondeo a sus padres para ver si se enviaron los mensajes a ellos mientras estaban dormidos.
- Encontrar un nuevo padre si se pierde el enlace de los padres (NWK reunirse)
- Dormir la mayor parte del tiempo para conservar las baterías cuando no esté en uso por parte de la solicitud. [26]

6.1.3 Enrutamiento de paquetes

ZigBee emplea una variedad de métodos para enrutamiento de paquetes de un nodo a otro:

- Broadcasting/ Difusión (de uno a muchos nodos)
- Mesh routing (unicast de un nodo a otro)

- Enrutamiento árbol (unicast de un nodo a otro, apilar perfil sólo 0x01)
- Source routing (unicast de un nodo a otro, apilar perfil 0x02 solamente) [26]

Cada uno de estos métodos distintos tiene ventajas y desventajas, como se ve en la Tabla 2. Para efectos de la tabla, multicast, Recuperado de ZigBee Pro, tiene las mismas ventajas que la broadcast.

Broadcasting esencialmente permite que un nodo pueda llegar a muchos otros nodos con una sola petición de datos. Este método no es reconocido (el nodo de origen no tiene ninguna garantía de que se recibió) y utiliza muchos recursos. [26]

Mesh routing es muy eficiente (en términos de recursos de tiempo, ancho de banda, y de la memoria), una vez establecida la ruta. Los paquetes enviados a lo largo de la malla son reconocidos, por lo que el nodo de envío puede saber si es o no recibido el paquete. Las rutas de malla son distribuidas, lo que reduce la sobrecarga de paquetes over-the-air. Una malla ZigBee puede entregar paquetes de hasta 30 saltos de distancia. [26]

El enrutamiento árbol es tan eficiente como el ancho de banda de la malla, y más eficiente en términos de memoria. Pero tiene un gran inconveniente: si los vínculos entre padres e hijos se rompen, no tiene recuperación. De esta manera se utiliza una malla de forma predeterminada. [26]

Source routing se utiliza sobre todo cuando un concentrador de datos (o gateway) debe comunicarse con muchos nodos, tal vez cientos, o miles. Con el enrutamiento de malla, cada ruta necesita una entrada de la tabla, y los nodos ZigBee normalmente no tienen la memoria RAM para un millar de rutas. En source routing, un solo nodo (más costoso) puede tener la memoria RAM para almacenar todas las rutas. La ruta para cualquier comunicación particular, entonces se

envía como parte del paquete over-the-air. Su principal inconveniente es que está limitado a un máximo de cinco saltos. [26]

Tabla 2: Métodos de enrutamiento ZigBee

	Broadcast	Mesh	Árbol	Source Route
Multi-salto	Hasta 30	Hasta 30	Hasta 10	Hasta 5 saltos
Múltiples destinos	Si	No	No	No
Uno a Uno	No	Si	Si	Si
Ancho de banda eficiente	No	Si	Si	Si
Carga eficiente	Si	Si	Si	No
Acknowledged	No	Si	Si	Si

NOTA: Esta tabla fue traducida de [26]

6.1.3.1 Topología Estrella

En redes de topología estrella el coordinador se sitúa en el centro, y toda conexión que se quiera realizar entre los distintos nodos de la red debe pasar por éste. Una red en estrella activa tiene un nodo central activo que normalmente tiene los medios para prevenir problemas. Se utiliza sobre todo para redes locales. La mayoría de las redes de área local que tienen un *router* que sigue esta topología. [29]

El nodo central, en el caso de utilizar uno de estos dispositivos, sería el por el que pasan todos los paquetes. Las ventajas que nos puede aportar una red en estrella sería la facilidad a la hora de implementarla, adecuada para redes temporales, el fallo de un nodo periférico no influiría en el comportamiento del resto de la red y no hay problemas con colisiones de datos ya que cada estación tiene su propia conexión al coordinador central. [29]

6.2 BLUETOOTH VS WIFI

La velocidad de transferencia de Bluetooth es generalmente menor a 3Mbps, la distancia de transmisión es 2 ~ 10m, que consiste generalmente en la red sólo incluye siete nodos. La tecnología Wi-Fi tiene un área que cubre ampliamente cerca de 100m y una tasa de transferencia muy rápida, pero el consumo de energía más grande, el protocolo de comunicación es muy complejo y costoso[27]. La comparación de tres tecnologías: Bluetooth, WI-FI y ZigBee se muestran en la Tabla 3:

Tabla 3: Comparación de tecnologías

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Bluetooth	Velocidad de transmisión por debajo de 3Mbps, bajo consumo de energía	Escalabilidad de red pequeña, rango de distancia de comunicación corto, comunicación punto a punto.
WI-FI	Velocidad de transmisión por encima de 11Mbps, rango de distancia aproximadamente de 30 a 100m.	Alto consumo de energía, protocolo complejo, alto costo
ZigBee	Alta seguridad, inmunidad, permite redes ad hoc, gran capacidad, distancia de transmisión hasta de 40Km , bajo consumo de energía, bajo costo	Dificultad de desarrollo del protocolo

NOTA: Esta tabla fue tomada y traducida de [27] [28]

Bluetooth y Wi-Fi tienen el potencial de alterar drásticamente cómo las personas utilizan dispositivos para conectarse y comunicarse en la vida cotidiana. Bluetooth posee bajo consumo de energía, es una tecnología de corto alcance; Asimismo, nos permite combinar de forma inalámbrica dispositivos donde se quiera. [28]

Por el contrario, Wi-Fi es posee un rango de distancia moderado, tecnología de velocidad moderada basada en Ethernet; que permite a las personas acceder de forma inalámbrica a través de una red de organización. Aunque las tecnologías comparten la banda de 2,4 GHz, tiene

algunas aplicaciones que pueden solaparse, y se han enfrentado entre sí, e incluso se han combinado con éxito para el uso corporativo de United Parcel Service, Toshiba, Compaq, y otros. [28]

Después de reconocer las importantes diferencias entre las dos tecnologías, los consumidores y los compradores de tecnología de negocios por igual puede determinar cuál se adapta mejor a sus necesidades, o si tiene sentido utilizar ambos. [28]

7. DESARROLLO APLICACIÓN ANDROID

Para desarrollar la aplicación se utilizó el software Android Studio 2.0, el cual es un software libre y permite desarrollar aplicaciones para todas las versiones existentes actualmente de la plataforma Android. Android Studio utiliza Eclipse IDE el cual es uno de los IDE más utilizados, posee PlugIns y es gratuito, además cuenta con las herramientas necesarias para desarrollar componentes de NDK en C o C++, usando el PlugIn de NDK que provee Google. [29]

El código completo de la aplicación se encuentra en el anexo digital "ANEXO C. Código de las clases de la aplicación Android". En la Figura 4, se muestra la interfaz gráfica definitiva de la aplicación, y en la Figura 5 se puede ver la arquitectura de la aplicación la cual está compuesta por siete clases. En el anexo digital "ANEXO B. Manual de aplicación Android" se describe el manejo que se debe dar a la aplicación.

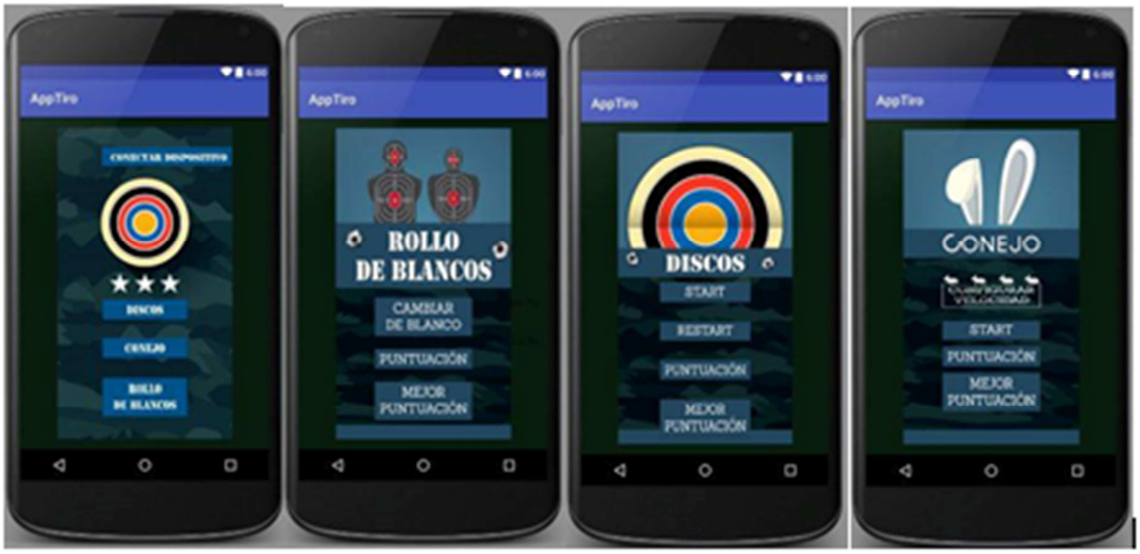


Figura 4. Interfaz gráfica definitiva de la aplicación.

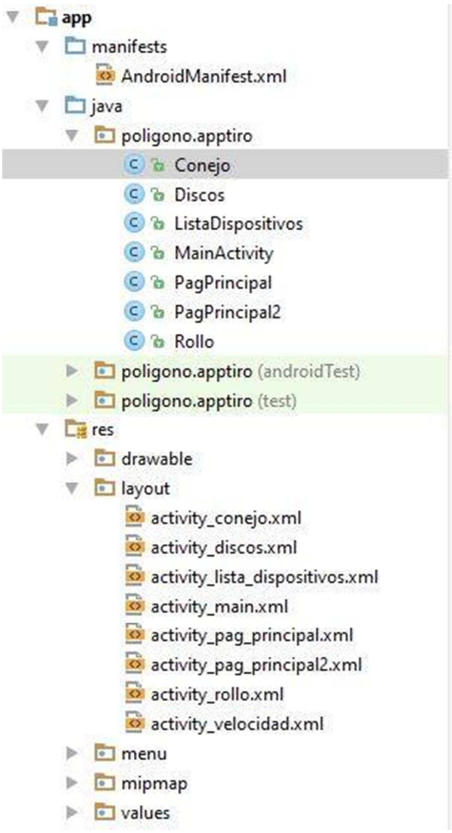


Figura 5. Arquitectura de la aplicación Android en Android Studio 2.0.

7.1 DISEÑO DE LA APLICACIÓN "APP TIRO".

La finalidad de la aplicación es permitirle al usuario tener un control fácil e intuitivo de todas las características del sistema del campo de tiro, para esto se diseñó la aplicación basada en el diagrama de flujo que se muestra en la Figura 6. Se debe contar con la comunicación vía Bluetooth para enviar y recibir datos entre la aplicación y el módulo padre, además se debe contar con un submenú independiente para cada una de las opciones pertenecientes a cada escenario (Discos, Conejo, Rollo de blancos).

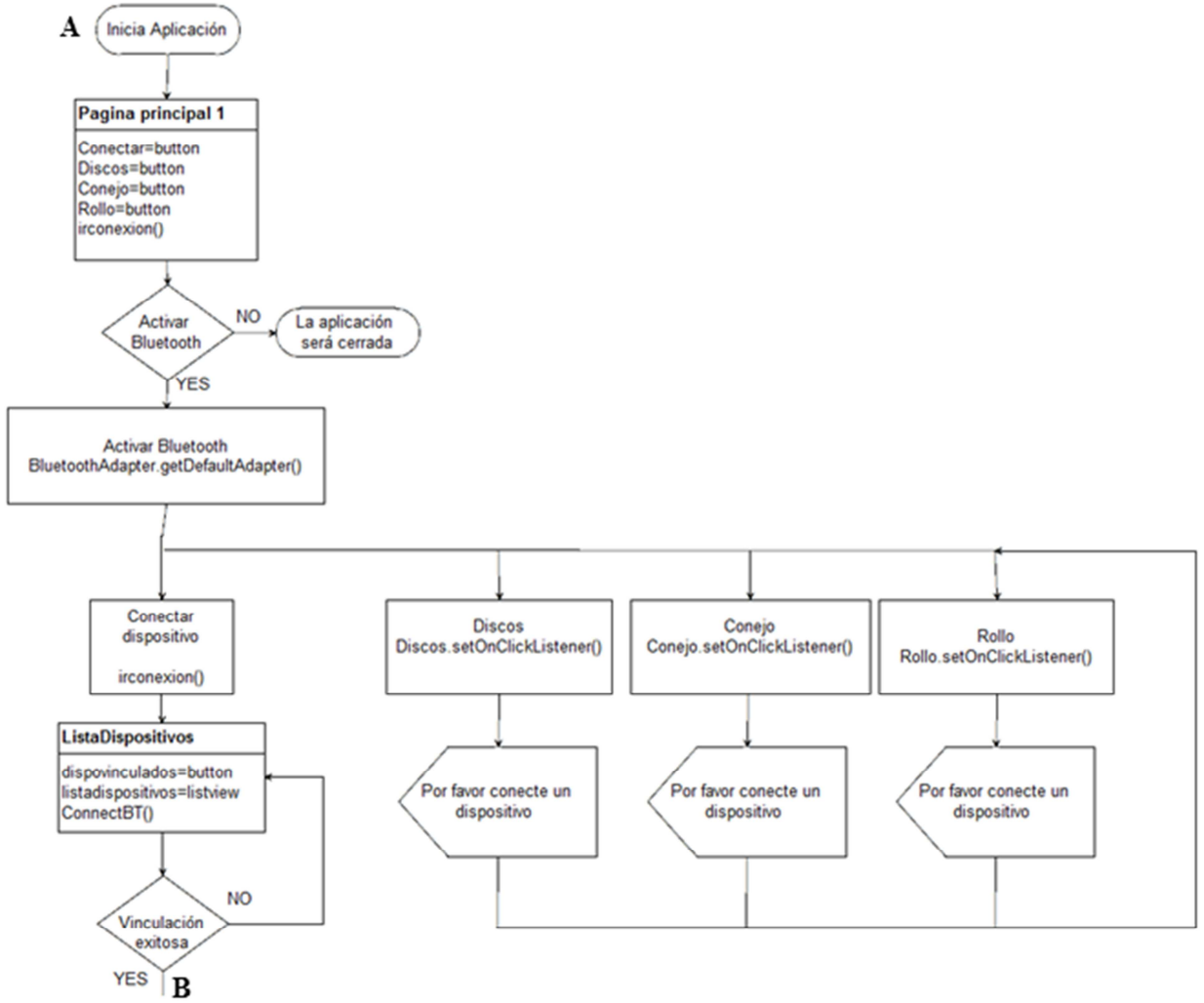


Figura 6A. Diagrama de flujo de la aplicación App Tiro (parte A).

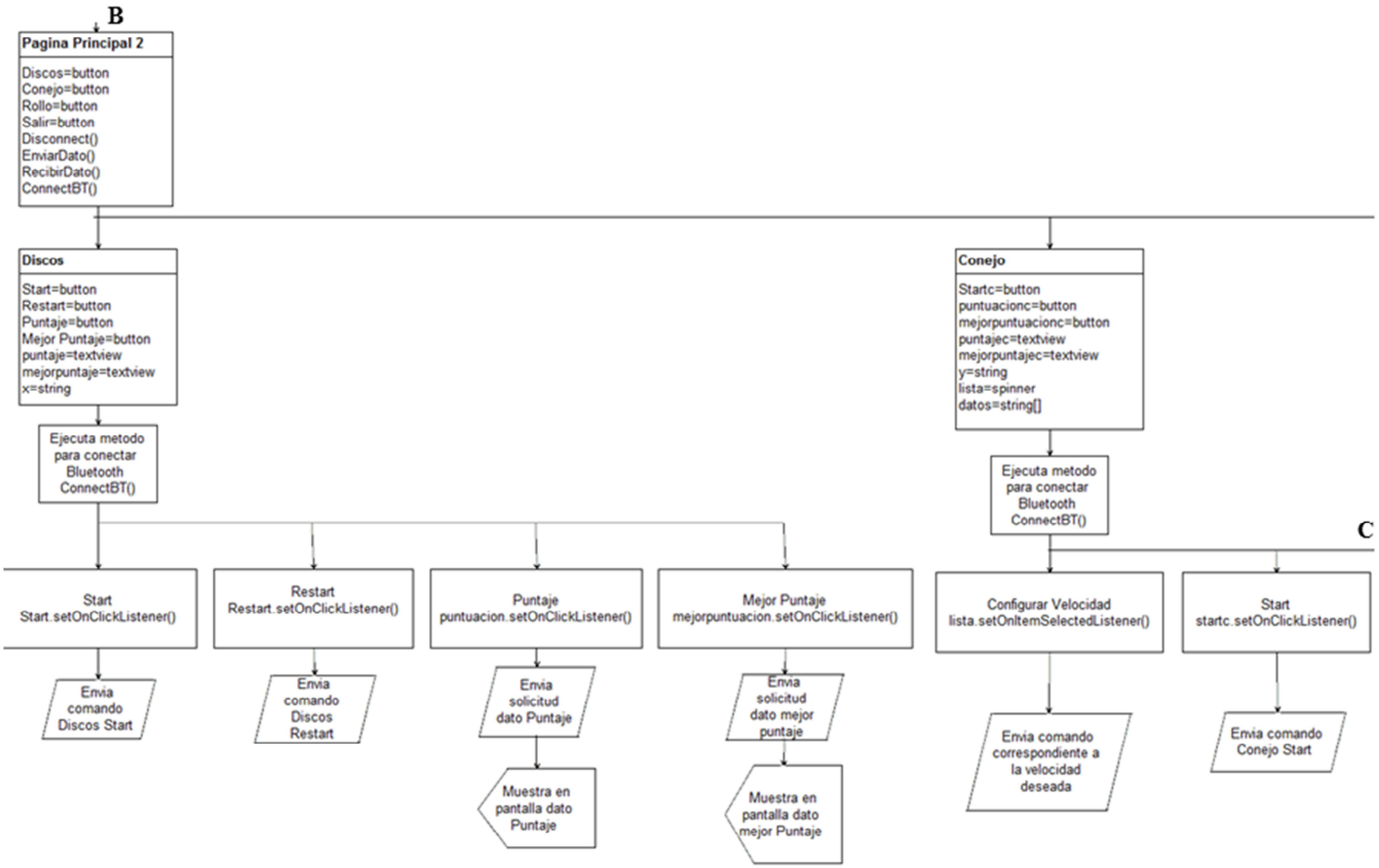


Figura 6B. Diagrama de flujo de la aplicación App Tiro (parte B).

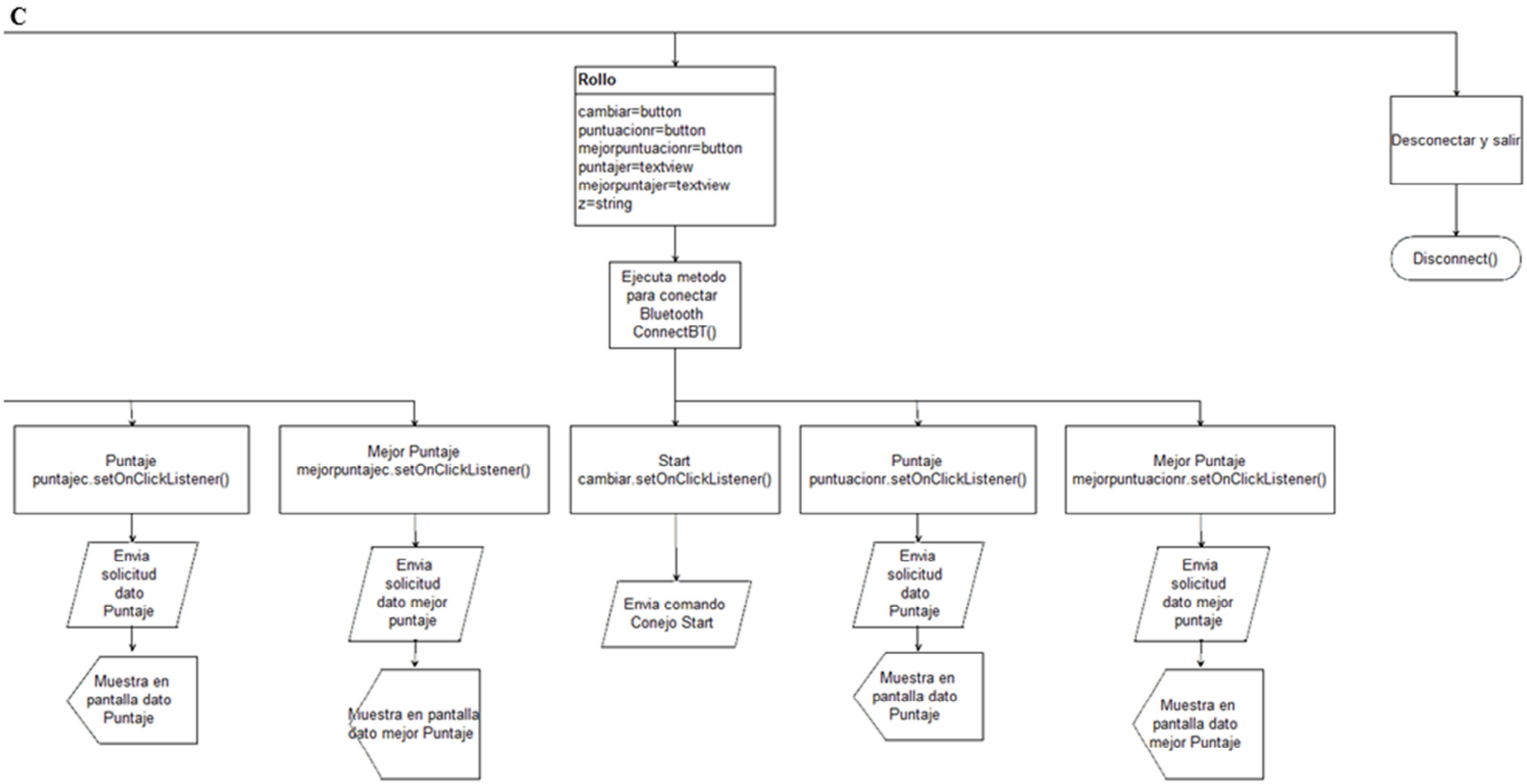


Figura 6C. Diagrama de flujo de la aplicación App Tiro (parte C).

7.2 DESARROLLO DE LA APLICACIÓN "APP TIRO" EN ANDROID STUDIO 2.0.

Inicialmente para trabajar en Android Studio, se sigue todo el procedimiento para crear un proyecto nuevo, tal como se haría en cualquier software para codificar ya sea para un microcontrolador, una aplicación Web, o cualquier codificación realizada en lenguaje java.

La aplicación "APP TIRO" se desarrolla en el IDE Android Studio 2.0 en dos escenarios esenciales, uno de estos es el editor de archivos".xml" en el cual se desarrolla la interfaz gráfica de usuario de la aplicación, el otro es el editor de línea de código ".java" en el cual se desarrolla todo el código que ejecuta la aplicación. . En la figura 13, se puede ver en la arquitectura de la aplicación que consta de siete (7) clases, y se ven los archivos .java y en la carpeta "layout" se ven los siete (7) archivos .xml.

Se debe seleccionar la versión de Android sobre la cual se va a desarrollar la aplicación, esto se realiza cuando se está iniciando el proyecto en el menú llamado "Target Android Devices" tal como se ve en la Figura 7., donde se elige la versión de Android API21:ANDROID5.0(LOLLIPOP).

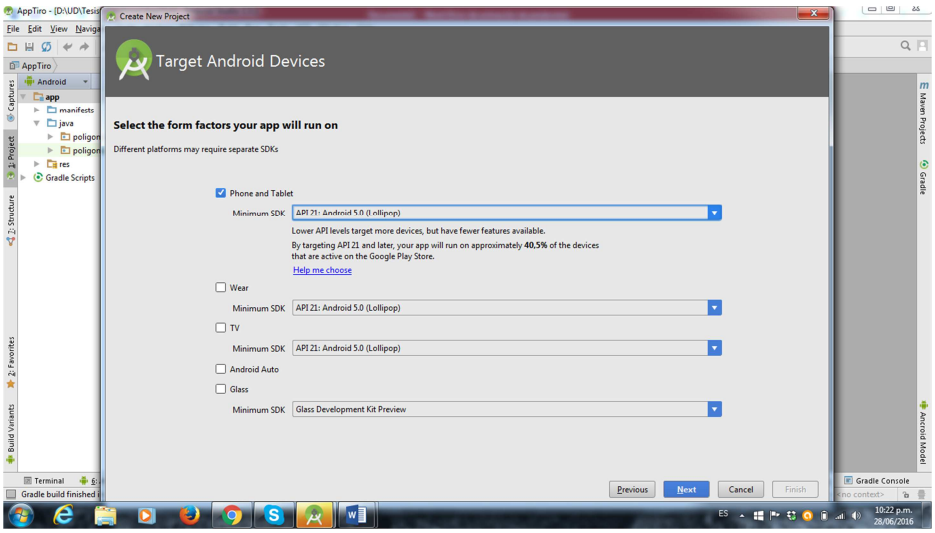


Figura 7. Selección de la versión de Android.

Normalmente se inicia a desarrollar la aplicación desde la parte gráfica, incluyendo en el editor .xml los botones, los fondos de pantalla, los labels, las imágenes y cualquier otro elemento necesario, posteriormente se inicia a codificar en los archivos de extensiones .java cada una de las acciones de la aplicación, los botones y cualquier acción que realice el usuario.

7.2.1 Editor .xml

Android Studio 2.0 dispone de un editor de archivos .xml el cual cuenta con dos partes, un editor de diseño y otro editor de texto, así podemos trabajar el archivo de interfaz gráfica de la forma que elijamos. En la Figura 8., se puede ver las dos opciones del editor .xml. Resaltado en amarillo se puede ver la pestaña de Diseño, y al costado derecho superior cada uno de los elementos de la clase, en este editor se pueden modificar las características, (tamaño, color, fondo, texto, etc), de los componentes, (botones, imágenes, texto, etc) de la imagen que el usuario encuentra en la pantalla de su Smarthphone.

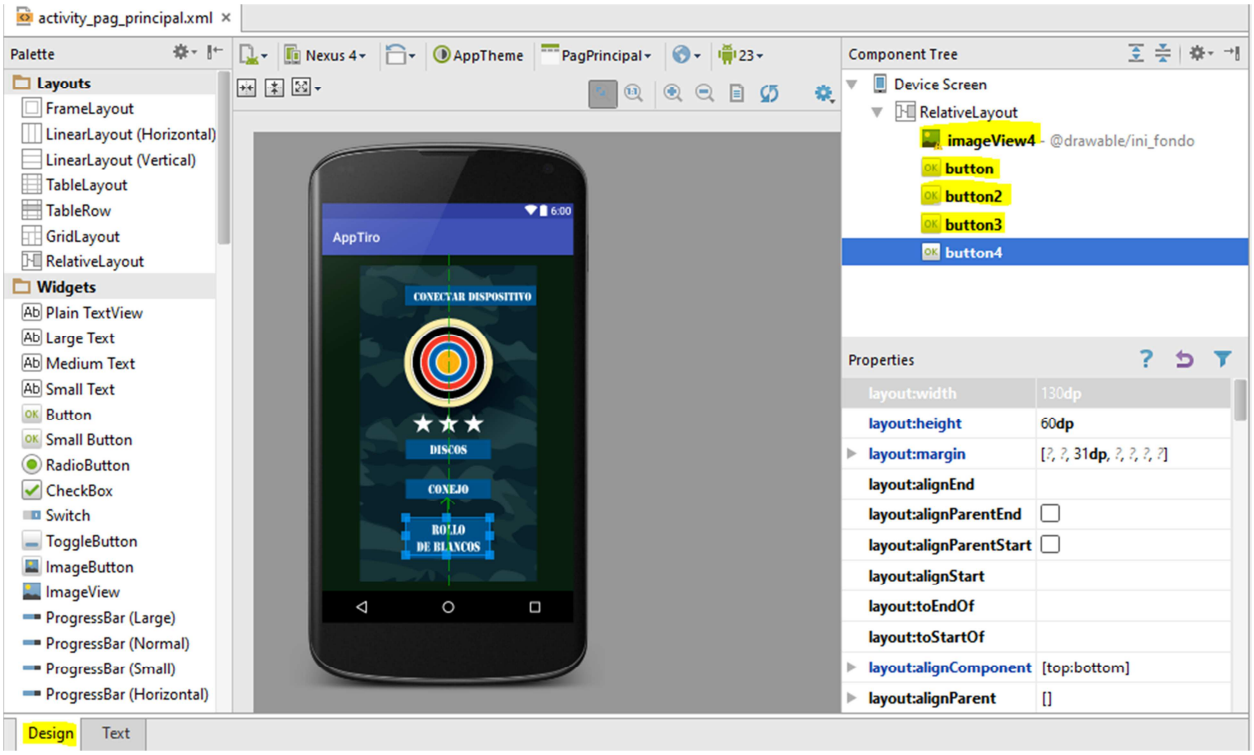


Figura 8. Editor de diseño xml de Android Studio.

En la Figura 9., se ve el editor de texto de xml de Android Studio, en el cual se puede trabajar de una forma mucho más precisa todas las características visuales de los componentes de la interfaz grafica de usuario, utiliza una sintaxis sencilla en la cual se pueden agregar tamaños, ubicaciones, acciones, entre muchas otras características, a cualquier componente que se encuentre en pantalla, desde el fondo de pantalla hasta cualquier label que se quiere introducir a la aplicación.

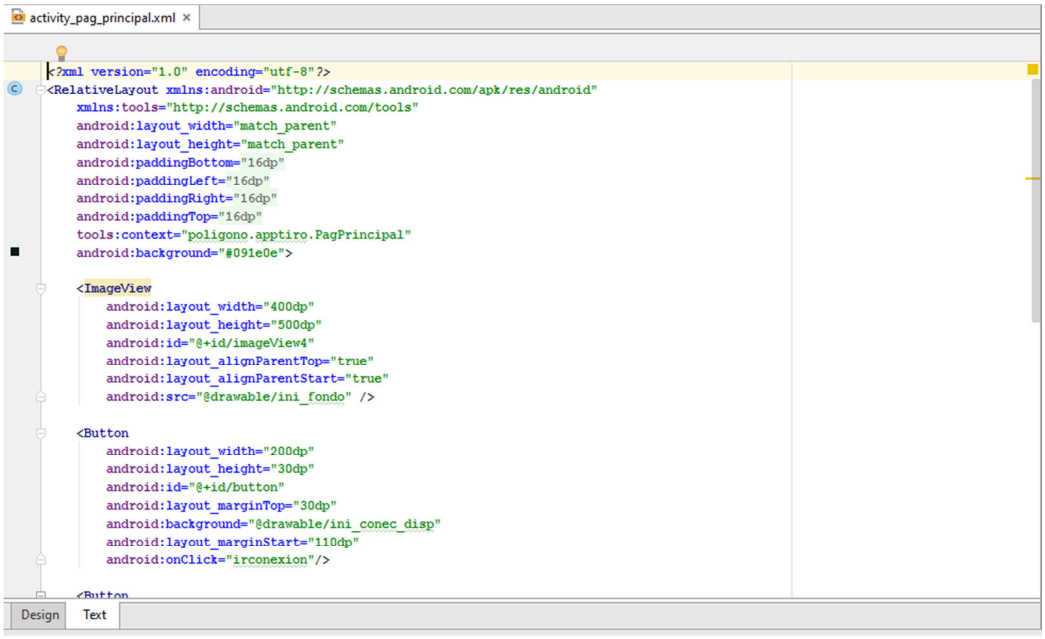


Figura 9. Editor de texto xml de Android Studio.

En la parte izquierda de la Figura 8, se puede ver el listado de todos los elementos que podemos agregar a nuestro proyecto, layouts, botones redondos, botones rectangulares, imageview, botones con imágenes, entre muchas más opciones con las que cuenta el software.

7.2.1 Editor .java

En este editor se desarrolla todo el código que ejecuta la aplicación, se realiza un código por cada clase y se codifica en lenguaje java, en esta parte de la aplicación se encuentra todo el código encargado de iniciar la aplicación y realizar los procesos de inicio y reinicio de comunicación Bluetooth, quien este desarrollando la aplicación puede elegir si llama los metodos desde el mismo código java o si desea llamarlos como una acción que realice un botón desde el editor .xml tanto en diseño como en texto.

Lo primero que se debe realizar al iniciar la codificación en java es instanciar cada uno de los objetos que agregamos en la interfaz grafica de usuario como botones, Textview, labels, etc, por ejemplo, se crea un objeto de la clase botón:

```
public class PagPrincipal extends AppCompatActivity {
    BluetoothAdapter newbluetooth = null;
    private static final int onbluetooth = 1;

    Button Conectar,Discos,Conejo,Rollo;
```

Posteriormente se instancian los objetos de clase botón dentro del método onCreate (se enlaza el botón de la interfaz gráfica con el objeto del tipo botón creado en el paso anterior) de la siguiente manera:

```
//Intanciación de los botones
Conectar = (Button)findViewById(R.id.button);
Discos = (Button)findViewById(R.id.button2);
Conejo = (Button)findViewById(R.id.button3);
Rollo = (Button)findViewById(R.id.button4);
```

A continuación se crea un método para cada botón, en donde se describe lo que realiza cada uno al ser pulsado, de la siguiente manera:

```
discos.setOnClickListener((v) → {

      // textView.setText(address);
       if (btsocket!=null)
       {
           try
           {
               btsocket.close();

           }
           catch (IOException e)
           { msg("Error");}
       }
       Intent i = new Intent(PagPrincipal2.this,Discos.class);
       i.putExtra(ADDRESS, address);
       startActivity(i);
});
```

Para el anterior ejemplo, el programa verifica si la comunicación Bluetooth está conectada de la manera correcta, posteriormente inicia una nueva clase llamada Discos.class, e inicia la actividad asociada a esta clase, mostrando en pantalla el submenú que se había desarrollado en .xml para el botón Discos.

7.2.3 Insertar imágenes al proyecto en android studio

Dado que la aplicación tiene un carácter, en mayor parte, gráfico, se enfatiza mucho en la amabilidad de la interfaz con el usuario, para ingresar todas las imágenes a la aplicación estas deben ser incluidas en una carpeta específica llamada drawable, en la Figura 10., podemos apreciar la ubicación exacta de la carpeta, ingresar una imagen al proyecto es tan sencillo como arrastrarla y soltarla dentro de esta ubicación.

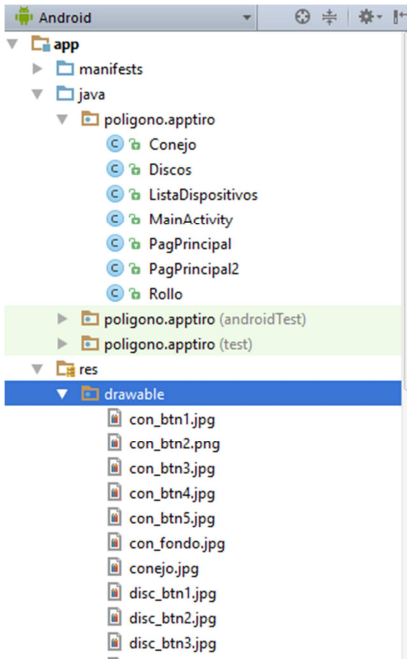


Figura 10. Ubicación de la carpeta "drawable" de Android Studio.

7.2.4 Conexión Bluetooth

Para entablar una conexión Bluetooth primeramente se deben pedir los permisos al dispositivo para usar el Bluetooth, esto se hace en el AndroidManifest del proyecto tal como se ve en la Figura 11.

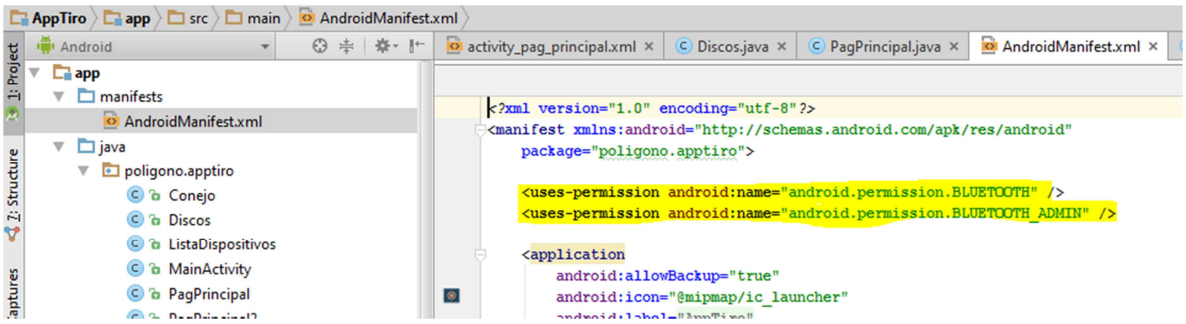


Figura 11. Solicitud de permisos de uso de Bluetooth.

Posteriormente, desde la página principal de la aplicación, se incluye el código que se encarga de activar el Bluetooth. Para esto se hace uso de un Adaptador Bluetooth (BluetoothAdapter), este se encarga de preguntar si hay un dispositivo instalado en el equipo, en caso de tener un dispositivo instalado y disponible prosigue a conectar, en caso contrario envía un mensaje de error “No es posible conectar el dispositivo”, como se ve a continuación.

```
//Verificar que el bluetooth este encendido:
    newbluetooth = BluetoothAdapter.getDefaultAdapter();

if (newbluetooth == null){
    //se muestra un mensaje de no es posible conectar
    Toast.makeText(getApplicationContext(), "No es posible conectar el bluetooth", Toast.LENGTH_LONG).show();
}
else if (!newbluetooth.isEnabled()) {
    //Se activa el bluetooth por medio de un Intent que es como decirle ejecute
    Intent activarbluetooth = new Intent(BluetoothAdapter.ACTION_REQUEST_ENABLE);
    startActivityForResult(activarbluetooth, onbluetooth);
}
```

Con el código anterior la aplicación ha activado el Bluetooth del dispositivo; sin embargo, no ha entablado conexión con ningún otro dispositivo, en este caso se busca entablar conexión con el Bluetooth HC-05 del módulo padre. Para conectarse se crea una nueva activity (una nueva ventana para el usuario en su dispositivo) en la cual se tiene solamente un botón que despliega una lista con los dispositivos disponibles para conectarse.

Para crear la nueva activity se sigue la siguiente ruta File/New/Activity/Empty Activity, tal como se muestra en la Figura 12., y se inserta un botón y un list view, como se muestra en la Figura 13. Esta actividad es llamada en el proyecto Listadispositivos, y es muy importante, pues es la encargada de encontrar los dispositivos disponibles con la característica más importante, su dirección MAC.

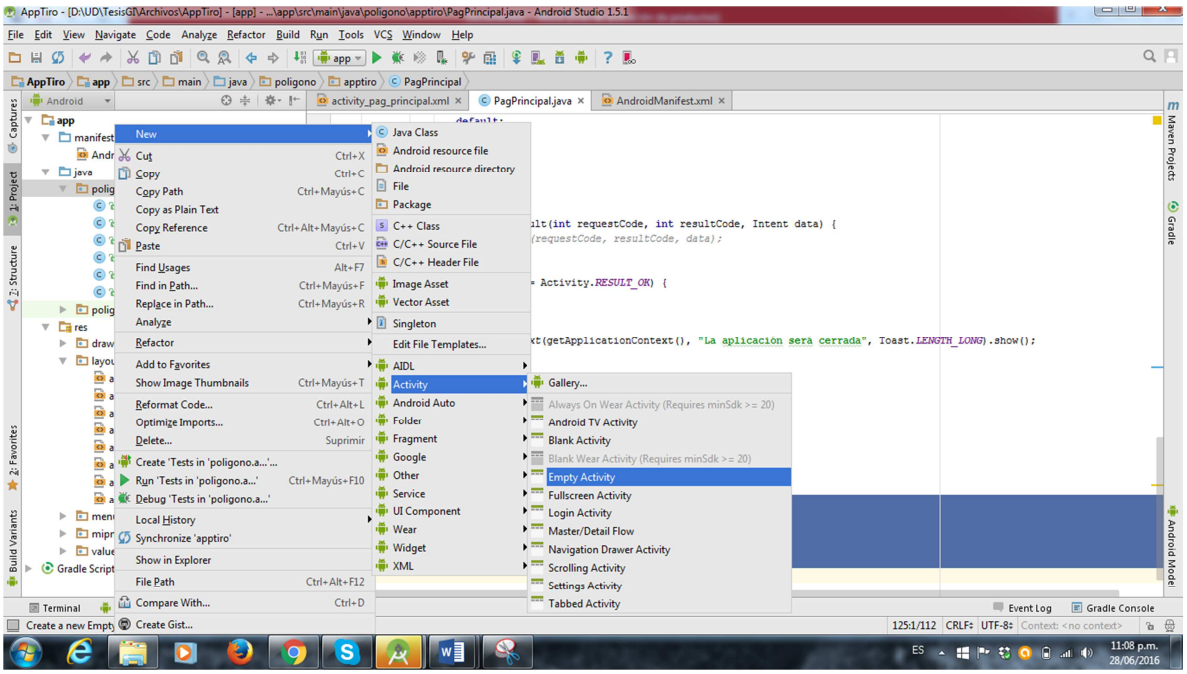


Figura 12. Creación de una nueva Activity.

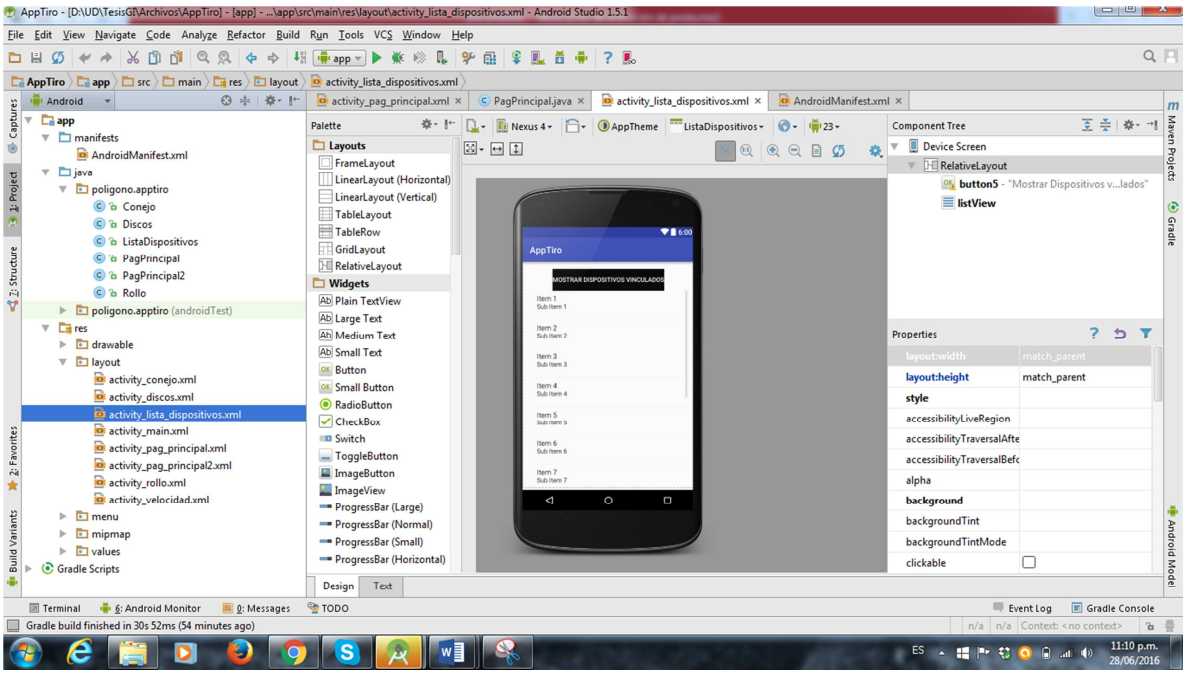


Figura 13. Diseño en xml Design para el listado de dispositivos disponibles.

Nuevamente en la página principal se crea un método que se encargue de darle acción a el botón.

```
public void irconexion (View view){
    startActivity(new Intent(this, ListaDispositivos.class));

}
```

En este caso se llama el método desde el editor xml de texto, en donde se le asigna todas las características al botón, tal como se ve en la Figura 14.

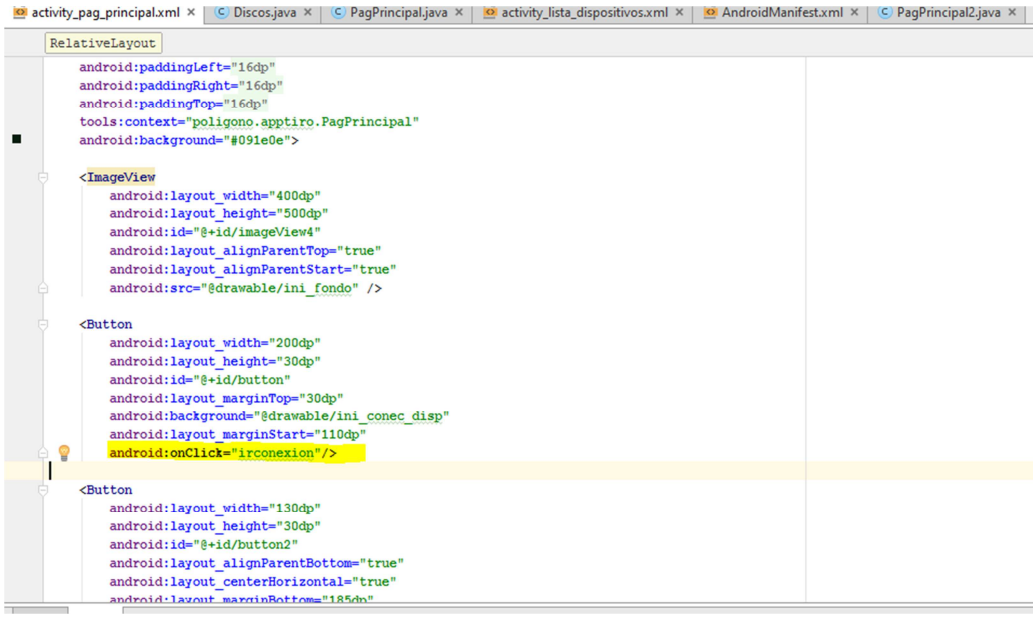


Figura 14. Acción asignada al botón para abrir la actividad de conexión Bluetooth.

En la actividad Listadispositivos se crean los objetos que se requieren:

```
public class ListaDispositivos extends AppCompatActivity {

    Button dispovinculados;
    ListView listadispositivos;
```

A continuación, se crea un método para ver los dispositivos vinculados Listadispositivosvinculados(), este método es llamado al hacer clic en el botón ver dispositivos (dispovinculados.setoncliclistener).

```
    dispovinculados.setOnClickListener((v) -> {
            listadispositivosvinculados();
    });

}
private  void  listadispositivosvinculados()
{
    listVinculados = myBluetooth.getBondedDevices();
    ArrayList list = new ArrayList();

    if (listVinculados.size()>0)
    {
        for (BluetoothDevice bt : listVinculados)
        {
            list.add(bt.getName() + "\n"+ bt.getAddress()); // se obtienen nombres y direcciones de los dispositivos vinculados
        }
    }
    else
    {
        Toast.makeText(getApplicationContext(), "No se han encontrado dispositivos vinculados", Toast.LENGTH_LONG).show();
    }
    final ArrayAdapter adapter = new ArrayAdapter(this,android.R.layout.simple_list_item_1, list);
    listadispositivos.setAdapter(adapter);
    listadispositivos.setOnItemClickListener(MyListListener);
}
```

Al entablar la conexión se almacena la dirección MAC del dispositivo para usarla en caso de requerir una reconexión, y se inicia el siguiente activity llamado página principal 2.

El desarrollo de la aplicación de aquí en adelante se repite de forma similar, se hacen todas las interfaces gráficas de cada activity en xml, una para cada escenario (Discos, Conejo, Rollo de blancos), y posteriormente se codifican las acciones que realiza cada botón, ya sea abrir una nueva activity, o enviar o recibir un comando via Bluetooth.

El código para iniciar una nueva activity es similar para cada caso:

```
Intent i = new Intent(ListaDispositivos.this,PagPrincipal2.class);
i.putExtra(EXTRA_ADDRESS,address);


startActivity(i);
```

Otro ejemplo:

```
Intent i = new Intent(PagPrincipal2.this,Discos.class);
i.putExtra(ADDRESS, address);
startActivity(i);
```

En la clase página principal 2 se crean los métodos públicos para enviar o recibir datos desde cualquiera de las activity.

Código para enviar dato:

```
public void EnviarDato(String x,TextView textView)
{

    textView.setText(x);
    //Envia dato al arduino:
    if (btsocket!=null)
    {
        try
        {
            btsocket.getOutputStream().write(x.toString().getBytes());

        }
        catch (IOException e)
        {
            msg("Error");
        }
    }

}
```

Código para recibir dato:

```
public int RecibirDato () {

    byte[] buffer = new byte[8];
   // int bytes=20;
    //Buscara continuamente mensajes recibidos
    while (true) {
        try {
            InputStream mmInstream = btsocket.getInputStream();
            int readmessage = mmInstream.read(buffer);
           /* btsocket.getInputStream().read(buffer); //lee bytes desde el buffer de entrada
            String readmessage = new String(buffer, 0, bytes);*/

            return readmessage;

        } catch (IOException e) {
            msg("Error");
        }

    }
}
```

8. DISEÑO DE LA RED

8.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA RED

A continuación se presenta el diagrama de bloques general del sistema planteado de configuración y automatización de un campo de tiro.

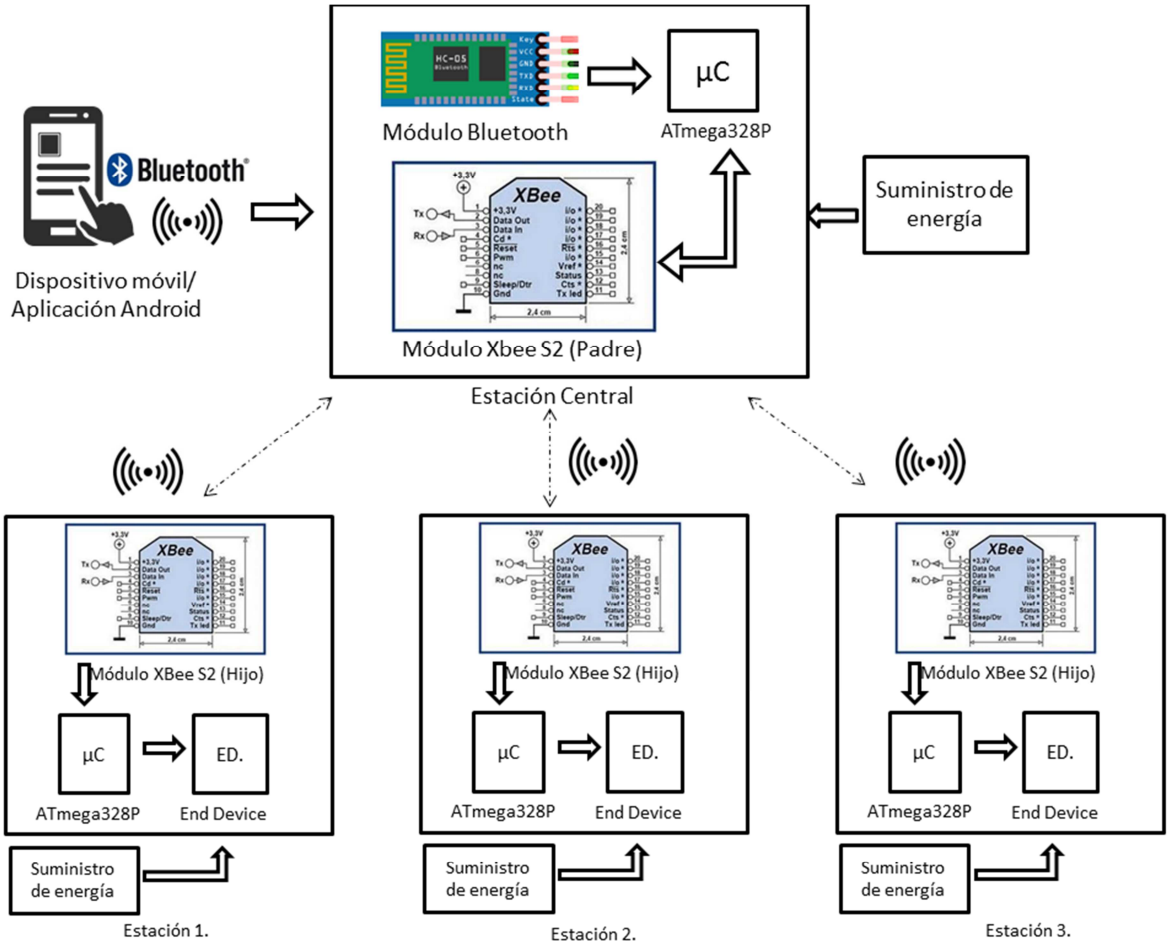


Figura 15. Diagrama de Bloques general.

En la Figura 15., se observa el diagrama de bloques general de la red propuesta para el control de cada uno de los escenarios inalámbricamente. Se tiene una estación central (módulo

padre) el cual se encarga de enviar los datos de control y recibir las puntuaciones de cada una de las estaciones.

Las estaciones 1, 2 y 3 (módulos hijos) están contenidas por un XBee S2, que actúa como Router y se encarga de enviar las instrucciones hacia el microcontrolador para así controlar el dispositivo final (End Device) de la red. Los módulos XBee router conectados en la red solamente pueden enviar y recibir datos que tenga como origen y destinatario al módulo XBee coordinador.

8.2. SELECCIÓN DE DISPOSITIVOS PRINCIPALES

Como primera instancia se tuvo en cuenta la topología de la red presentada anteriormente para la correcta selección de los módulos inalámbricos. En base a la Tabla 5 se seleccionó el módulo XBee S2 como el dispositivo inalámbrico ZigBee de la red.

Tabla 4: Tabla comparativa de diferentes módulos ZigBee

	XBee Pro		EasyBee	LINX	ATMEL
	XBee	XBee-Pro			
Tamaño (cm)[LXWXH]	2.43X2.76	2.43X3.29	2.6X2	1.6X1.57X0.32	-
Peso (gramos)	3	3	-	-	-
Transceiver	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Micro	No	No	No	Sí	Sí
Consumo Rx	40mA	45mA	20mA	12mA	15.5mA
Consumo Tx	40mA	295mA	18mA	6.1mA	16.5mA
Fuente de alimentación	2.1-3.6V	3.0-3.4V	2.1-3.6V	3.0V	3.6V
Potencia de salida	1 -2mW	10-50mW	1mW	1mW	4mW
Precio	75000	168000	95000	81200	67000

NOTA: La tabla fue basada de [30] y [31]

Se seleccionó el módulo XBee S2 debido a sus características, precio y facilidad de adquisición en el mercado. Recordando que la tecnología ZigBee permite tener hasta 65.000 nodos, dando la posibilidad de implementar hasta 65.000 estaciones de una manera muy sencilla, sin realizar cambios en el hardware y software del prototipo ya implementado.

Las principales características del módulo XBee S2 se presentan enseguida:

- Módulo XBEE Marca Digi (Maxstream) serie 2 que cumple con el estándar IEEE 802.15.4 con baja potencia y bajo costo.
- Tiene un alcance aproximado de 40 metros en interiores y de 120 metros en exteriores con línea de vista.
- La potencia de transmisión es de 1mW (0dBm) y la sensibilidad del receptor es de -96dBm. Consumo de corriente: 35mA en transmisión, 38mA en recepción.
- Funcionan a 2.4 Ghz con una rata máxima de 250Kbps.
- Configuración con comandos de la API o AT, localmente o por aire.
- 10 E / S digitales y 4 entradas ADC de 10 bits.
- Bajo consumo de energía en modo de suspensión (sleep).[32]

Posteriormente a la selección del módulo XBee S2 como el más adecuado para el desarrollo de la red inalámbrica presentada, se seleccionó el microcontrolador ATmega328P para todas las estaciones de la red, ya que es un microcontrolador que permite gran facilidad de programación, es de fácil adquisición en el mercado, y está apto para controlar cualquier escenario igual o diferente a los presentados; demás de que se posee la tarjeta arduino uno para su programación y no se desea incurrir en costos adicionales. ATmega328P tiene las siguientes características principales:

- Microcontrolador arquitectura de 8 bits de la familia AVR
- Hasta 23 pines I/O disponibles
- Velocidad max. de la CPU 20 MIPS
- Oscilador externo hasta 20 MHz
- Voltaje de operación 1.8 V a 5.5 V
- ADC de 10 bits y 6 canales
- 2 timers/contadores/comparadores de 8 bits
- 1 timer/contador/comparador/Captura de 16 bits
- 6 canales PWM
- USART Full duplex
- TWI Two-wire Serial Interface (2-Wire) (I2C compatible)
- Comparador análogo
- Múltiples fuentes de interrupción
- Oscilador de reloj interno.[33]

8.3. ESTACIÓN PRINCIPAL

8.3.1. Descripción General

Este módulo padre está compuesto en primer lugar por la aplicación desarrollada en el sistema operativo Android el cual realiza transmisión de datos hacia el módulo Bluetooth HC-05, posteriormente envía estos datos al microcontrolador ATmega328p y enseguida al XBee S2, que actúa como Coordinador, el cual se encarga de enviar y recibir información de las estaciones (módulos hijos).

8.3.2. Desarrollo del sistema embebido

Con base en el diagrama de bloques presentado en la Figura 5., se seleccionó como módulo Bluetooth el dispositivo HC-05 el cual ofrece una mejor relación de precio y características, ya que es un módulo Maestro-Esclavo, quiere decir que además de recibir conexiones desde una PC o tablet, también es capaz de generar conexiones hacia otros dispositivos bluetooth. Esto permite por ejemplo, conectar dos módulos de Bluetooth y formar una conexión punto a punto para transmitir datos entre dos microcontroladores o dispositivos.

Características Hardware

- Compatible con Arduino
- Sensibilidad Típica: -80dBm.
- Hasta +4 dBm de potencia de transmisión RF.
- Fully Qualified Bluetooth V2.0 +modulción EDR 3Mbps.
- Funcionamiento de bajo consumo.
- PIO control.
- Interfaz UART con velocidad de modulación en baudios programable.
- Antena PCB Integrada.

Características del Software

- Velocidad en baudios (Modo comandos AT): 38400, Bits de datos: 8, Bit deparada: 1, Paridad: Sin paridad.
- Tasa de velocidad de modulación en baudios soportadas: 9600, 19200, 38400,57600, 115200, 230400, 460800.

- Auto-conexión del dispositivo con la última configuración por defecto.
- Permiso conectar el dispositivo emparejado de forma predeterminada.
- Por defecto PINCODE: "1234".
- Reconexión automática en 30 min cuando se desconecta como consecuencia de pérdida de conexión por salirse del rango de alcance.[34]

El módulo bluetooth HC-05 se comunica de forma serial por medio de los pines Rx y Tx, para configurarlo es necesario acceder a los comando AT del dispositivo, para esto se realiza un programa en arduino y se configuran y leen los comandos AT relevantes (nombre, contraseña, tasa de velocidad de modulación en baudios, etc).

Se procede a realizar la Red de sensores inalámbricos (WSN), mediante el uso de módulos ZigBee con las características requeridas para el alcance en distancia definido previamente.

Para la programación de los módulos XBee S2 se utiliza el software X CTU, con el cual se pueden configurar todos los parámetros con que cuentan los módulos, en el anexo digital "ANEXO A. Configuración Xbee" se detalla la configuración aplicada al XBee Coordinador y a los XBee Router. Para esta aplicación se utiliza una topología punto- multipunto, donde el módulo XBee coordinador (base central) puede enviar y recibir datos a todos los XBee router (hijos) que tenga conectados.

Tanto el HC-05 como el XBee S2 se comunican por UART. El microcontrolador Atmega328p solamente cuenta con un par de pines dedicados a la comunicación UART, pero permite realizar una función llamada Software Serial, con la cual se pueden destinar pines de propósito general de entrada y salida, GPIO's, como pines Rx y Tx para comunicación serial por

software. Para poder realizar pruebas se definen dos Software Serial cada uno para comunicarse con un módulo y se deja los pines que trae el microcontrolador por defecto para que se comunique con el PC y se pueda visualizar y verificar los datos que recibe y envía.

El programa del microcontrolador se describe en el diagrama de flujo presentado en la Figura 16.

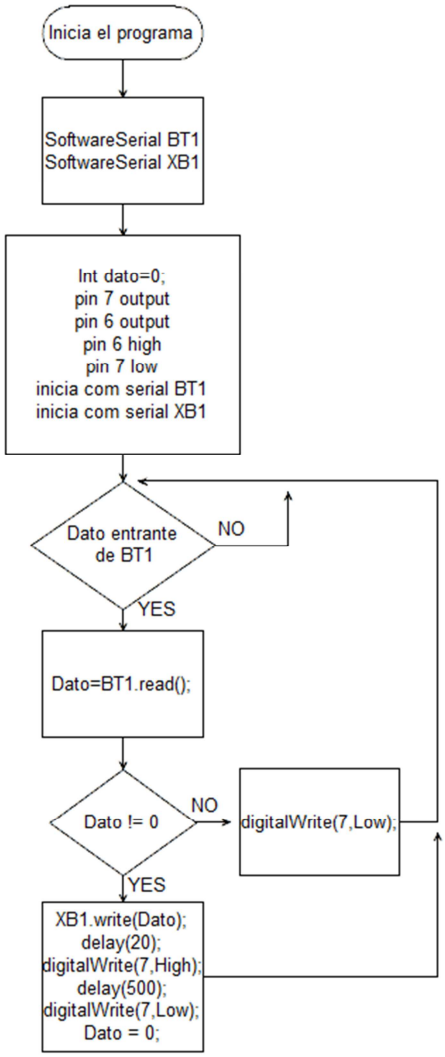


Figura 16. Diagrama de flujo programa módulo padre.

En la Figura 17., se presenta el esquemático para el sistema embebido de la Estación Central.

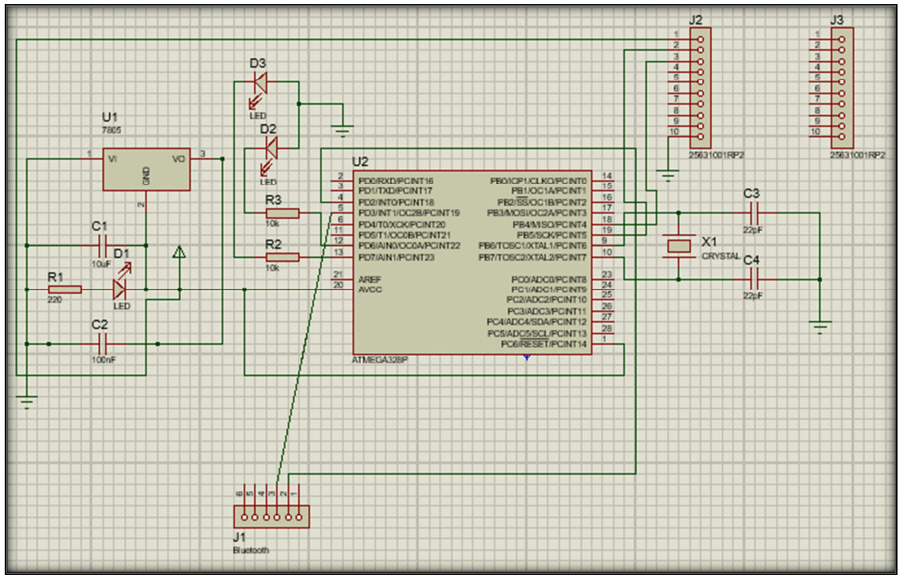


Figura 17. Esquemático Estación Central

8.3.3. Pruebas de funcionamiento entre el módulo padre y la aplicación Android.

Como se observa anteriormente, el pin 7 del microcontrolador ATmega328P cambia a estado alto, encendiendo un LED, cada vez que la aplicación Android transmite un dato, de esta forma visualmente se comprueba la funcionalidad de la comunicación entre la aplicación y el módulo padre.

Teniendo en cuenta esto, se desarrolló una serie de pruebas donde se contó el número de aciertos cada vez que se enviaba una orden desde la aplicación, este proceso se realizó manualmente cien veces, de los cuales 96 datos fueron recibidos exitosamente, dando una fiabilidad del 96%.

Además se midió mediante la aplicación SENTINEL de NEXTGEN, el indicador de fuerza de la señal recibida RSSI del módulo bueltooth de la estación central, los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5: Resultados medida RSSI estación central.

Longitud (m)	RSSI (dBm)
0	-46
1	-67
2	-72
3	-75
4-12	-76 a -81
40 con línea de vista	-86
40 sin línea de vista	-96

Se comprueba que el módulo HC-05 opera en un rango de 0 a 40m con línea de vista lo cual aumentaría el alcance de la red general.

8.4. ESTACIÓN 1. "CONEJO"

8.4.1. Descripción General

La estación 1 está compuesta por un blanco móvil, el cual se desplaza sobre dos rieles, está anclado a una cadena, la cual a su vez se conecta a un piñón de un motor, véase Figura 18. La idea del escenario es que el blanco se desplace sobre los rieles a distintas velocidades, configurables por el usuario, permitiendo que el usuario realice su ronda de tiros. Al momento de impactar en el blanco, este cae, y se restablece automáticamente. Cuenta con un motor de 24V 4A encargado de desplazar el blanco, dos (2) sensores de fin de carrera, un motorreductor de 12V encargado de levantar el blanco cuando este caiga, un (1) potenciómetro que actúa como

sensor de posición para el brazo que reactiva el blanco y un (1) módulo infrarrojo que detecta cuando el blanco móvil ha caído.

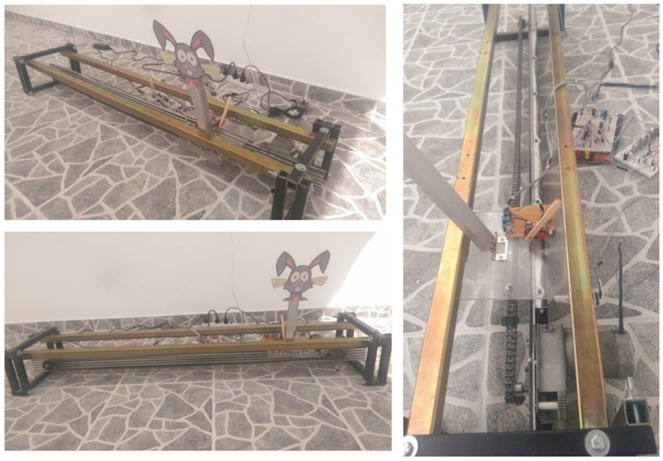


Figura 18. Montaje mecánico a escala Estación 1.

8.4.2. Diagrama de Bloques

En la Figura 19., se presenta el diagrama de bloques de la estación 1. “Conejo”.

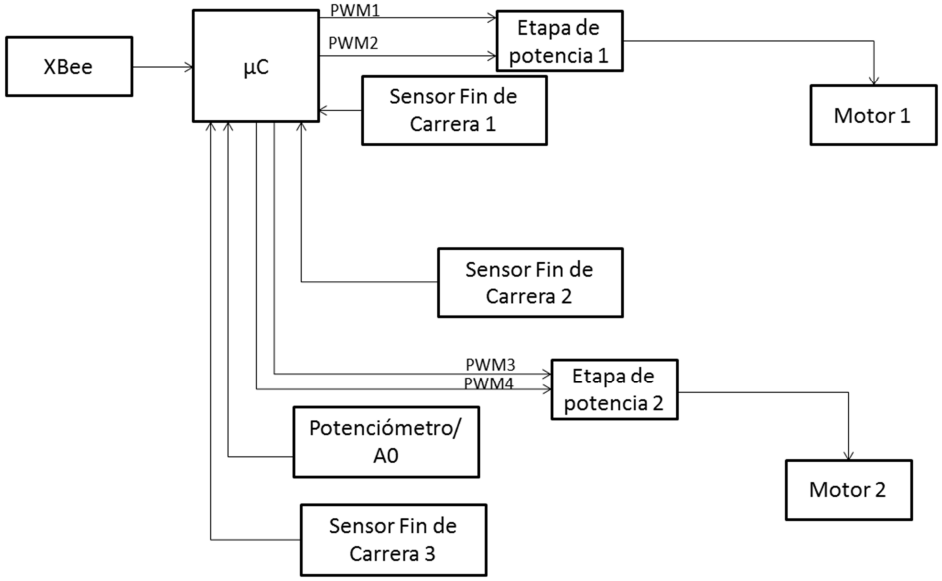


Figura 19. Diagrama de bloques Estación 1. Conejo.

El XBee se encuentra configurado como router transmitiendo la orden recibida al puerto serial del microcontrolador ATmega328P, el cual procede a realizar una ronda de tiro dependiendo de la velocidad asignada por el usuario desde la aplicación móvil, definiendo el ciclo útil de PWM1 y PWM2. La ronda de tiro consiste en que el blanco se desplace dos veces en ambos sentidos de giro, por lo cual las señales PWM1 y PWM2 definen el sentido de giro del motor DC principal (Motor 1).

Teniendo en cuenta el diagrama de bloques de la Figura 19., tras recibir la trama con las instrucciones provenientes del módulo XBee S2, fue necesario diseñar la etapa de potencia para el motor 1, para esto se diseñó un puente-H en base a la Tabla 6, con capacidad de 24V a 4A, características exigidas por el motor DC.

Tabla 6: Tabla de verdad puente-H motor 1.

PWM1	PWM2	Q1	Q2	Q3/Q5	Q4/Q6	Estado del motor
0	0	0	0	0	0	Detenido
0	1	1	0	1	0	Gira a la izquierda
1	0	0	1	0	1	Gira a la derecha
1	1	1	1	1	1	No se permite.

Se propone el puente-H presentado en la Figura 20. Donde, las señales PWM1 y PWM2 entran a los optoacopladores 4N25, las resistencias R8, R9, R12 y R13 previenen de corrientes estáticas a los transistores y así evitar cualquier avería. Cuando PWM1=1 y PWM2=0, U3 y Q1 se encuentran en corte, U4 entra en saturación lo cual envía el gate de Q2 a tierra saturando el transistor, por lo tanto en OUT1 habrá como valor del voltaje el porcentaje de ciclo útil de PWM1, y a la vez Q6 y Q4 entran en saturación colocando el terminal OUT2 a tierra, Q6 envía

a corte a los transistores Q5 y Q3, evitando así un cortocircuito. Se puede entender de manera análoga el circuito cuando PWM1=0 y PWM2=1. De ninguna manera está permitido que PWM1=1 y PWM2=1, debido a que se ocasionaría un corto circuito.

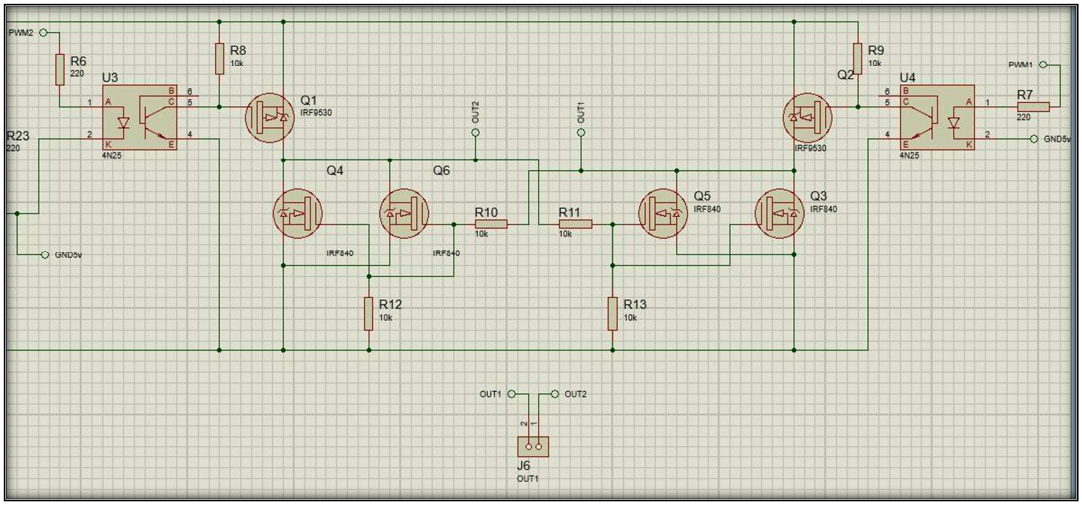


Figura 20. Esquemático Etapa de potencia 1, Estación 1. Conejo.

Como se observa en la simulación de la Figura 21., el puente-H conmuta la salida del motor hasta ±21.55V dependiendo el ciclo útil del PWM1 y PWM2 enviado por el microcontrolador ATmega328, y la etapa de potencia 1 posee capacidad de corriente de 4A que requiere el motor 1.

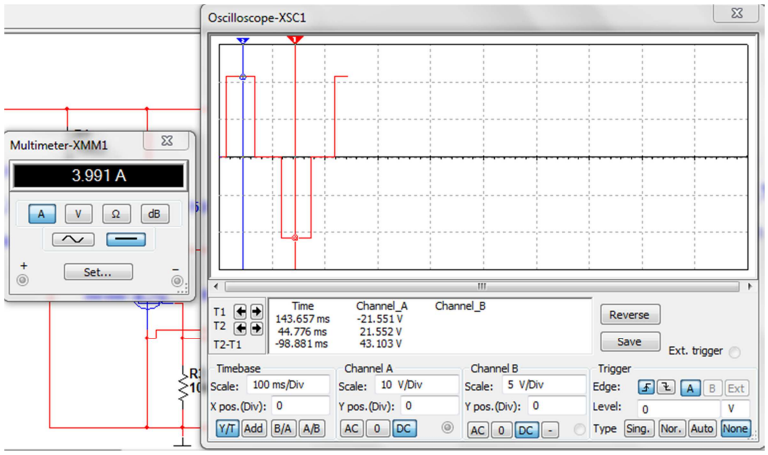


Figura 21. Simulación Etapa de potencia 1.

Se eligió el mosfet canal P IRF9530N un transistor sobredimensionado para las características del motor requeridas, posee una corriente de drain de -14A. Esto fue, ya que se presentaron inconvenientes con referencias de transistores de menor capacidad en la corriente de drain I_D debido al aumento de temperatura por la disipación de potencia generada. En la Figura 22., se observa la curva de la corriente de drain máxima con respecto a la temperatura del semiconductor IRF9530N, en esta se evidencia que a mayor temperatura del semiconductor, este soporta una menor corriente máxima de drain. De esta manera se garantizó que no se generaran daños en los montajes reales. Además se instalaron disipadores de calor para cada transistor y un ventilador de 24V que ayuda a mantener a una temperatura baja los transistores.

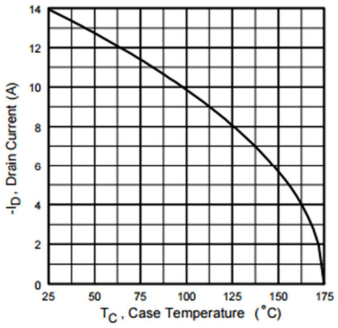


Figura 22. Corriente máxima de Drain Vs. Temperatura. Imágen tomada de [35].

Por las razones expuestas anteriormente se decidió utilizar dos transistores canal N IRF840 en paralelo para cada sentido de giro, ya que a pesar de que su corriente máxima de drain es 8A al momento de ser implementado el montaje con un solo transistor, este salía de la zona lineal debido al aumento de la temperatura generada, provocando la disminución en la corriente de drain máxima soportada, para ver con más detalle la curva de I_D Vs. Temperatura, consultar en [36].

Posteriormente a tener al blanco móvil desplazándose en ambos sentidos de giro, se utilizaron dos sensores ópticos reflectivos TCRT5000, véase Figura 23. Es un sensor que incluye el emisor y el receptor en el mismo empaquetado. El módulo funciona con IR lo que lo hace inmune a la luz visible.

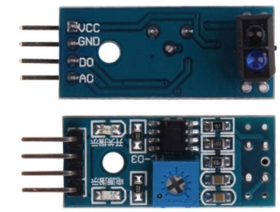


Figura 23. Módulo infrarrojo TCRT5000

El módulo posee las siguientes características

- Distancia de operación: 30 mm
- Salida digital
- Indicadores led
- Longitud de onda del emisor: 950nm.

- Voltaje de operación recomendado: 5V.
- Corriente: 60mA.[37]

El módulo infrarrojo presentado anteriormente actúa como un fin de carrera para el recorrido e inmediatamente el motor invierte su giro al detectar esta señal. Para validar la velocidad a la que se mueve el blanco se desarrolló un sistema de pruebas, donde tras realizar múltiples desplazamientos en ambos sentidos se encuentra la relación entre el PWM que envia el microcontrolador y la velocidad a la que se desplaza el blanco, esto para garantizar que el blanco se mueve a la velocidad seleccionada por el usuario.

8.4.3. Desarrollo de Prueba de Velocidad

Ya teniendo la etapa de potencia 1, se puede proceder a determinar la ecuación de velocidad en función del voltaje para nuestro sistema. Para determinar la velocidad del blanco móvil se realizó un desarrollo de pruebas midiendo el tiempo entre la activación de los sensores fin de carrera con respecto al voltaje de entrada aplicado al motor DC (ciclo útil de PWM). Teniendo como distancia de recorrido entre los dos sensores (S1 y S2) 90 cm.

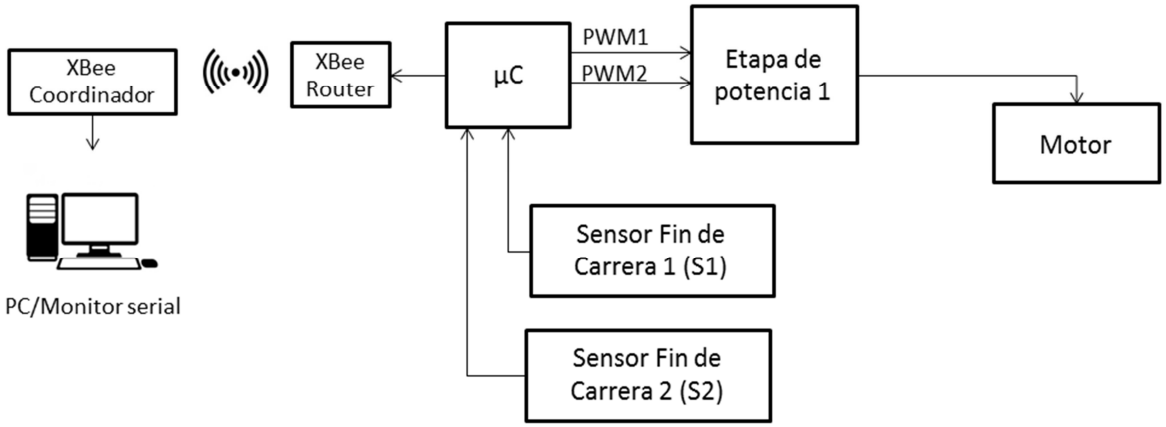


Figura 24. Montaje para el desarrollo de pruebas de velocidad.

El diagrama de bloques de la Figura 24., presenta el montaje desarrollado para la obtención de los datos requeridos para la ecuación de velocidad. Para esto, se diseñó un programa en el microcontrolador ATmega28P el cual midió el tiempo de activación entre los sensores S1 y S2 a diferentes ciclos útil de PWM, estos datos fueron enviados por el microcontrolador a través del puerto UART al XBee router, y este a su vez de forma inalámbrica al XBee Coordinador que está conectado al computador, de tal manera que se observaran los datos obtenidos en el monitor serial del computador.

El diagrama de flujo del microcontrolador se presenta en la Figura 25.

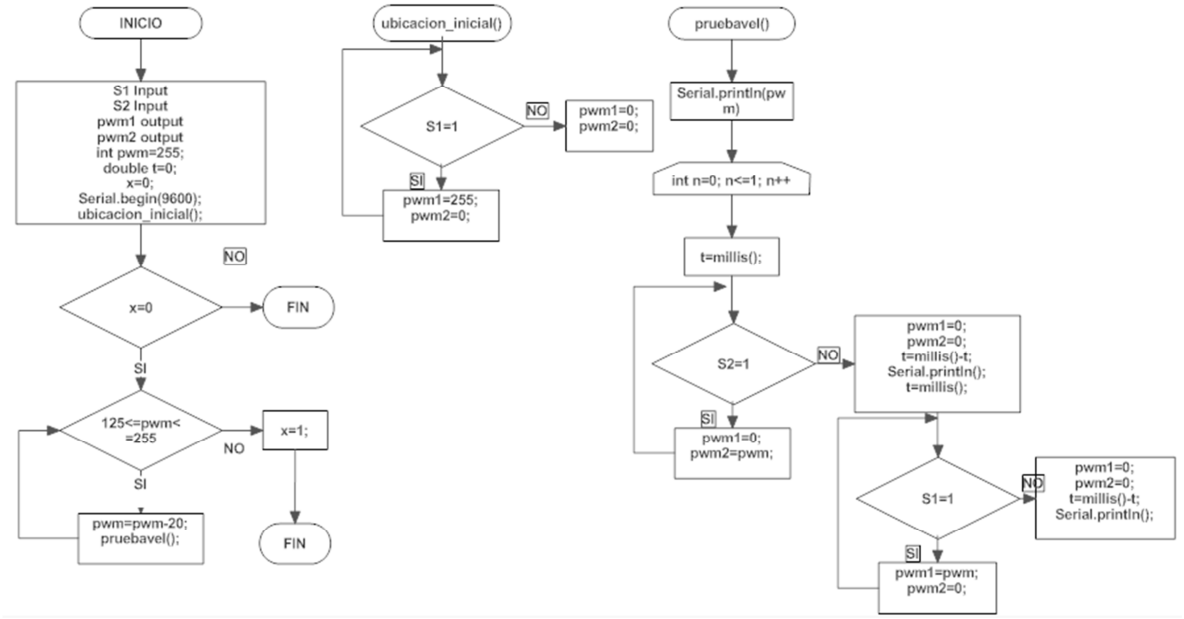


Figura 25. Diagrama de flujo programa prueba de velocidad.

Los resultados obtenidos de estas pruebas se observan en la Tabla 7.

Tabla 7: Resultados experimentales Δt, Desviación absoluta (DA) y desviación absoluta media (DAM).

Prueba 1 t(ms)	Prueba 2 t(ms)	Prueba 3 t(ms)	Prueba 4 t(ms)	promedio $\overline{\Delta t}$ (ms)	Prueba 1 DA(ms)	Prueba 2 DA(ms)	Prueba 3 DA(ms)	Prueba 4 DA(ms)	DAM(ms)
PWM=92,15%					**PWM=92,15%**				
2130	2193	2122	2115	2146	16	47	24	31	16,5
2153	2151	2167	2150		7	5	21	4	
2129	2187	2099	2093		17	41	47	53	
2149	2143	2161	2139		3	3	15	7	
PWM=84,31%				2597,5	**PWM=84,31%**				13,5
2625	2666	2581	2535		27,5	68,5	16,5	62,5	
2603	2606	2600	2589		5,5	8,5	2,5	8,5	
2595	2641	2546	2521		2,5	43,5	51,5	76,5	
2595	2608	2602	2579		2,5	10,5	4,5	18,5	
PWM=76,47%				2932	**PWM=76,47%**				25
2952	3037	2950	2860		20	105	18	72	
2902	2922	2937	2927		30	10	5	5	
2968	3017	2942	2870		36	85	10	62	
2895	2926	3132	2914		37	6	200	18	
PWM=68,62%				3387	**PWM=68,62%**				61
3487	3513	3452	3361		100	126	65	26	
3323	3352	3410	3328		64	35	23	59	
3450	3532	3437	3348		63	145	50	39	
3307	3366	3408	3302		80	21	21	85	
PWM=60,78%				4102	**PWM=60,78%**				140
4259	4318	4300	4094		157	216	198	8	
3976	4052	4168	3928		126	50	66	174	
4287	4295	4256	4034		185	193	154	68	
4001	4042	4110	3917		101	60	8	185	
PWM=52,94%				5292,5	**PWM=52,94%**				206,5
5768	5817	5497	5323		475,5	524,5	204,5	30,5	
5177	5299	4996	5015		115,5	6,5	296,5	277,5	
5834	5888	5245	5440		541,5	595,5	47,5	147,5	
5178	5286	5084	5048		114,5	6,5	208,5	244,5	

Se realizaron cuatro pruebas para la adquisición de datos, donde cada prueba realizó dos recorridos en cada sentido de giro y se midió el Δt, siendo $\Delta t=t_2-t_1$, donde t_2 es el tiempo cuando el sensor fin de carrera S2 cambia de estado y t_1 el tiempo cuando el sensor fin de carrera S1 cambia de estado. Se calculó la desviación absoluta y la desviación absoluta media, dando como resultado una desviación absoluta media máxima de 206,5 ms, lo cual para el proyecto presentado es un tiempo casi imperceptible ante el ojo humano. Por lo tanto, con este sistema de pruebas se valida la característica del sistema de brindar diferentes velocidades previamente establecidas por el usuario.

En la Tabla 8., se tomó el Δt promedio ($\overline{\Delta t}$) para calcular la velocidad que resulta al conmutar el motor con un porcentaje de ciclo útil de PWM predeterminado, de tal manera que la velocidad se calculó mediante la ecuación (1).

$$v = \frac{90}{\Delta t} \qquad (1)$$

Tabla 8: Datos de Velocidad Vs. Ciclo útil de PWM.

PWM (%)	**bin**	**Voltaje (V)**	$\overline{\Delta t}$ **(s)**	**v(cm/s)**
92,157	235	21,159	2,146	41,938
91,373	233	20,979	2,180	41,294
87,059	222	19,989	2,420	37,190
84,314	215	19,358	2,598	34,649
82,745	211	18,998	2,662	33,816
78,431	200	18,008	2,831	31,797
76,471	195	17,558	2,932	30,696
68,627	175	15,757	3,387	26,572
60,784	155	13,956	4,102	21,941
52,941	135	12,155	5,293	17,005

De la Tabla 8., se procede a graficar los datos y a determinar la ecuación de velocidad en función del porcentaje ciclo útil de PWM mediante el método de regresión lineal, dando como resultado la ecuación (2).

$$v(pwm) = 0{,}6104 \cdot pwm - 15{,}612\ ,\ para\ PWM \geq 52{,}94\% \quad (2)$$

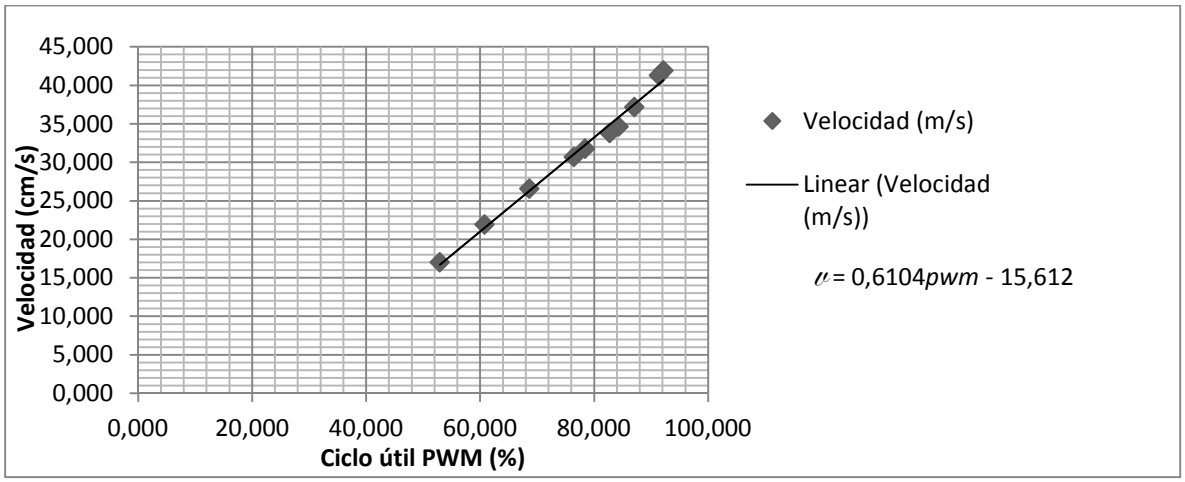


Figura 26. Gráfica de Velocidad Vs. PWM

El presente proyecto buscar darle al usuario la opción de variar la velocidad de desplazamiento del blanco, por lo cual se presentan la opción de seleccionar cinco velocidades diferentes desde 17 cm/s hasta 42 cm/s. En la Tabla 9., se presenta el valor del porcentaje del ciclo útil de PWM para que el blanco se desplace a la velocidad que se escoja; en la casilla "bin", se presenta el valor del PWM en binario para la salida del microcontrolador.

Tabla 9: Valores de PWM para la velocidad seleccionada.

v(cm/s)	PWM(%)	bin
17	53,427	136
23	63,257	161
29	73,087	186
35	82,916	211
42	94,384	241

8.4.4. Desarrollo de Sistema de Levantamiento de Blanco

Para el levantamiento del blanco al momento de ser derribado, se diseñó un puente H con capacidad de 18V hasta máximo una corriente de 1A que cumpla con la Tabla 10. De tal manera que acciona un brazo el cual se encarga de levantar el blanco móvil.

Tabla 10: Tabla de verdad Etapa de potencia 2.

PWM3	PWM4	Q3	Q4	Q5	Q6	Estado del motor
0	0	0	0	1	1	Detenido
0	1	0	1	1	0	Gira a la izquierda
1	0	1	0	0	1	Gira a la derecha
1	1	1	1	0	0	Detenido

Entonces, $Q3 = PWM3,\ Q4 = PWM4,\ Q5 = \overline{PWM3},\ Q6 = \overline{PMW4}$.

Para esto, se diseñó el circuito de la Figura 27. Primeramente, se tiene que hallar la resistencia R3, por lo tanto:

$$R3 = \frac{23{,}3V \cdot \beta_{Q3}}{1A}, \beta_{Q3} = 26 \quad (3)$$

$$R3 = 619{,}2\Omega$$

La resistencia R3 se encarga de saturar el transistor Q3, la resistencia R2 disminuye la corriente que circula por R3. Se usa el transistor Q5 para invertir la señal del emisor común de Q1, para esto se procede a calcular el valor de las resistencias R4 y R5.

Entonces,

$$(R4 + R5) = \frac{24V \cdot \beta_{Q5}}{1A}, \beta_{Q5} = 100 \qquad (4)$$

$$R4 + R5 = 2400\Omega$$

Por lo tanto R4=2,2KΩ y R5=240Ω

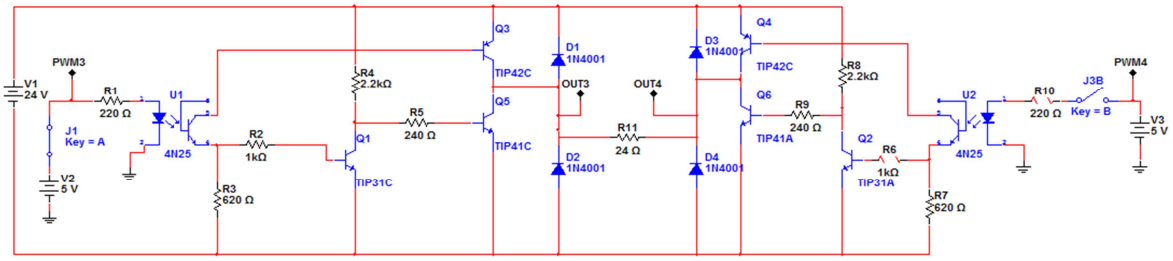


Figura 27. Circuito Etapa de potencia 2

De manera análoga se duplica el diseño para la señal PWM4, de tal manera que el puente-H conmuta las dos señales para cambiar el sentido de giro del motor 2. A continuación se presenta la simulación del circuito presentado en la Figura 28. Donde se observa la salida de voltaje en ±18.5 V y la corriente máxima de salida de 0.7 A.

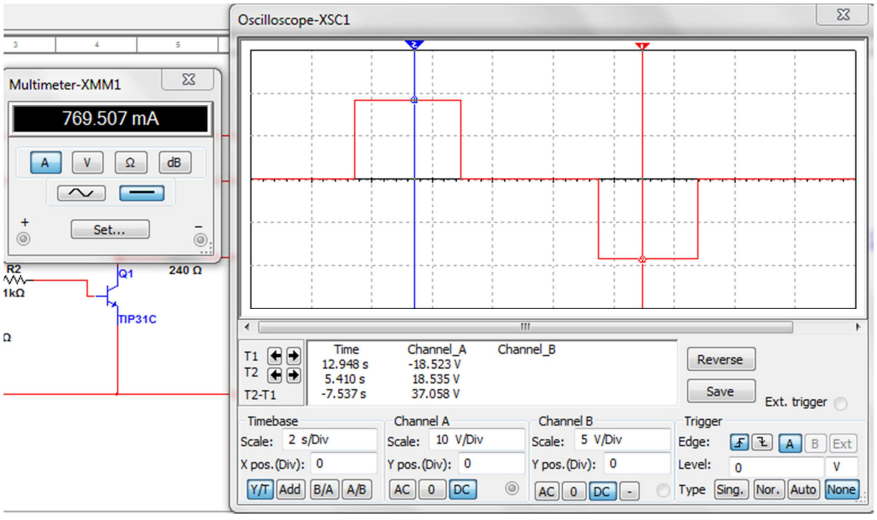


Figura 28. Simulación Etapa de potencia 2.

Ya teniendo diseñada la Etapa de Potencia 2, se adicionó como sensor de posición un potenciómetro acoplado mecánicamente al eje del motorreductor encargado de levantar el blanco móvil el cual envía una señal analógica al pin ADC0 del microcontrolador e informa el estado de la variable. Además, el módulo infrarrojo TCRT5000 detecta la caída del blanco cada vez que ha sido impactado.

El diagrama de flujo del programa del microcontrolador desarrollado para la estación 1. "Conejo" se presenta en la Figura 29., y el esquemático general de la Estación 1. "Conejo" se observa en su totalidad en la Figura 30.

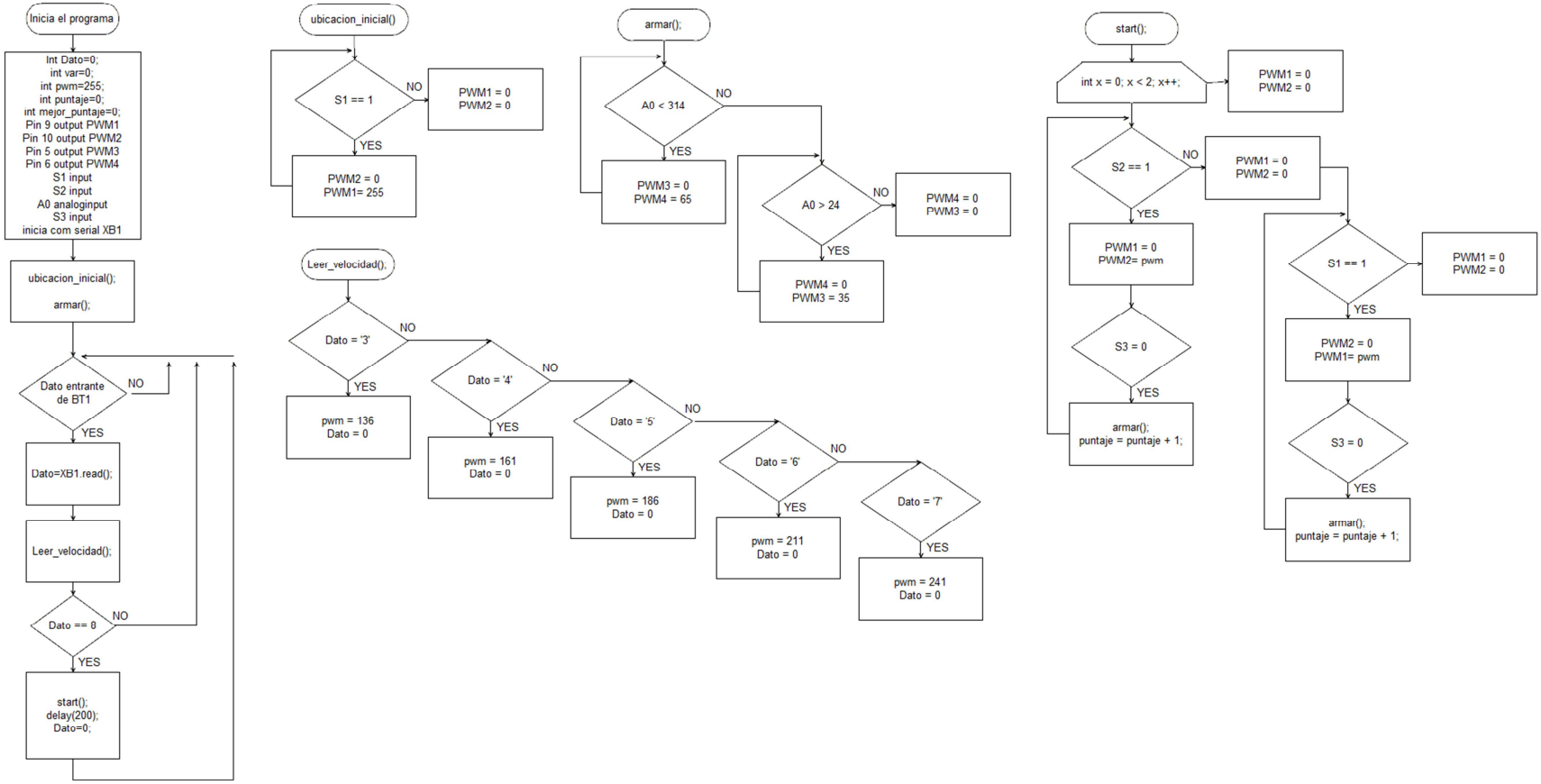


Figura 29. Diagrama de flujo micro estacion conejo

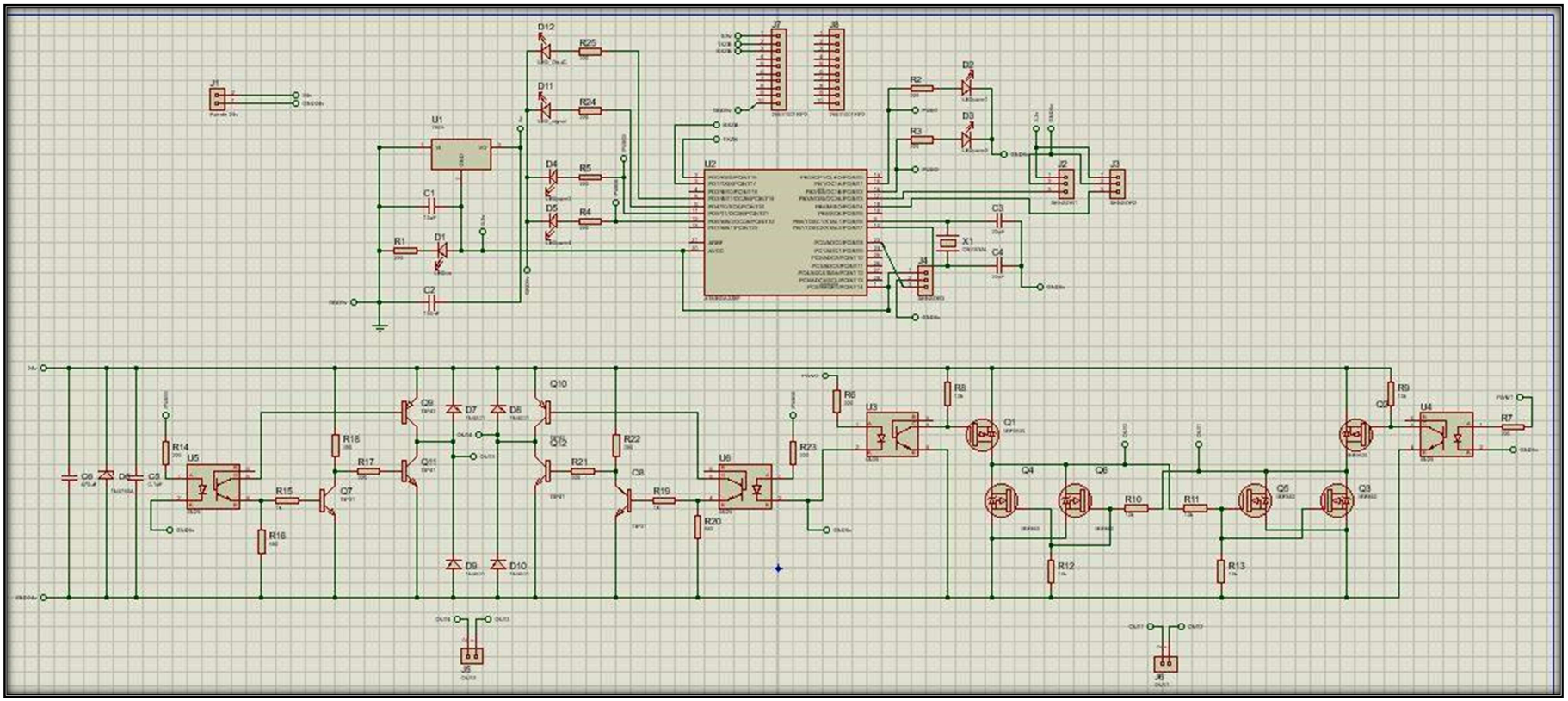


Figura 30. Esquemático General de la estación 1. Conejo

8.5. ESTACIÓN 2. “DISCOS”

8.5.1. Descripción General

La estación 2 está compuesta por seis (6) discos, que están anclados cada uno a un brazo basculante, cada vez que el usuario impacta un disco este cae, por medio de la aplicación el usuario puede reiniciar el escenario levantando los discos para iniciar una nueva ronda de tiro. La estación tiene un motorreductor de 3.3V acoplado a una barra horizontal que es la encargada de levantar los discos, para detectar el ángulo al que llega la barra horizontal se tienen dos sensores ópticos que indican cuando la barra ha levantado los blancos. véase Figura 31.



Figura 31. Montaje mecánico Estación 2.

8.5.2. Diagrama de bloques

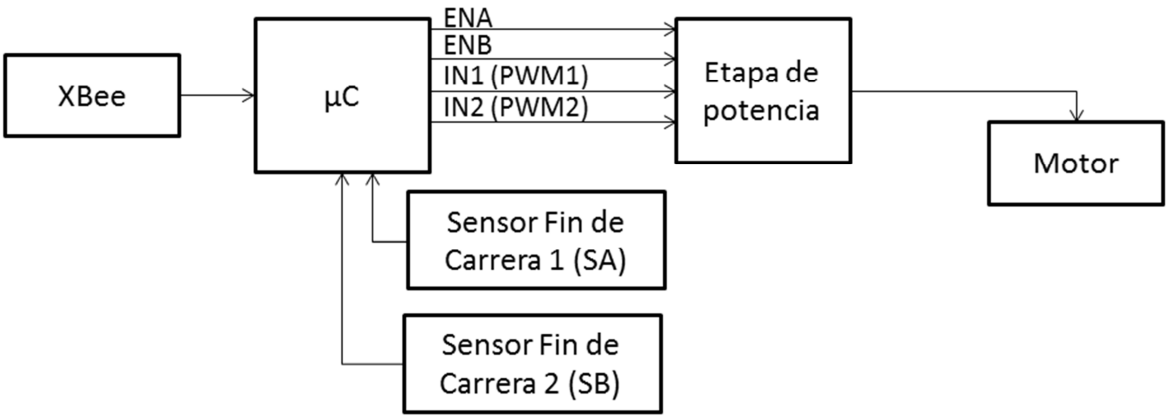


Figura 32. Diagrama de Bloques Estación 2.

En el diagrama de bloques presentado en la Figura 32, se observa que después de que el XBee recibe el dato enviado desde la aplicación móvil, este envía la orden recibida al puerto UART del microcontrolador Atmega328P el cuál desarrolla el código con base en el diagrama de flujo presentado en la Figura 33.

El microcontrolador recibe las señales de dos módulos sensor optoacoplador tipo herradura H2010[38] (sensores SA y SB) y dependiendo los estados lógicos de estos sensores activa las señales de Enable A y Enable B los cuales le indican al driver del motor que canal activar para darle el sentido de giro al motorreductor encargado de levantar el blanco. Así mismo, al momento de activar el canal del driver de motor, el microcontrolador envía un ciclo útil de PWM (IN1 ó IN2) dependiendo del sentido de giro ordenado.

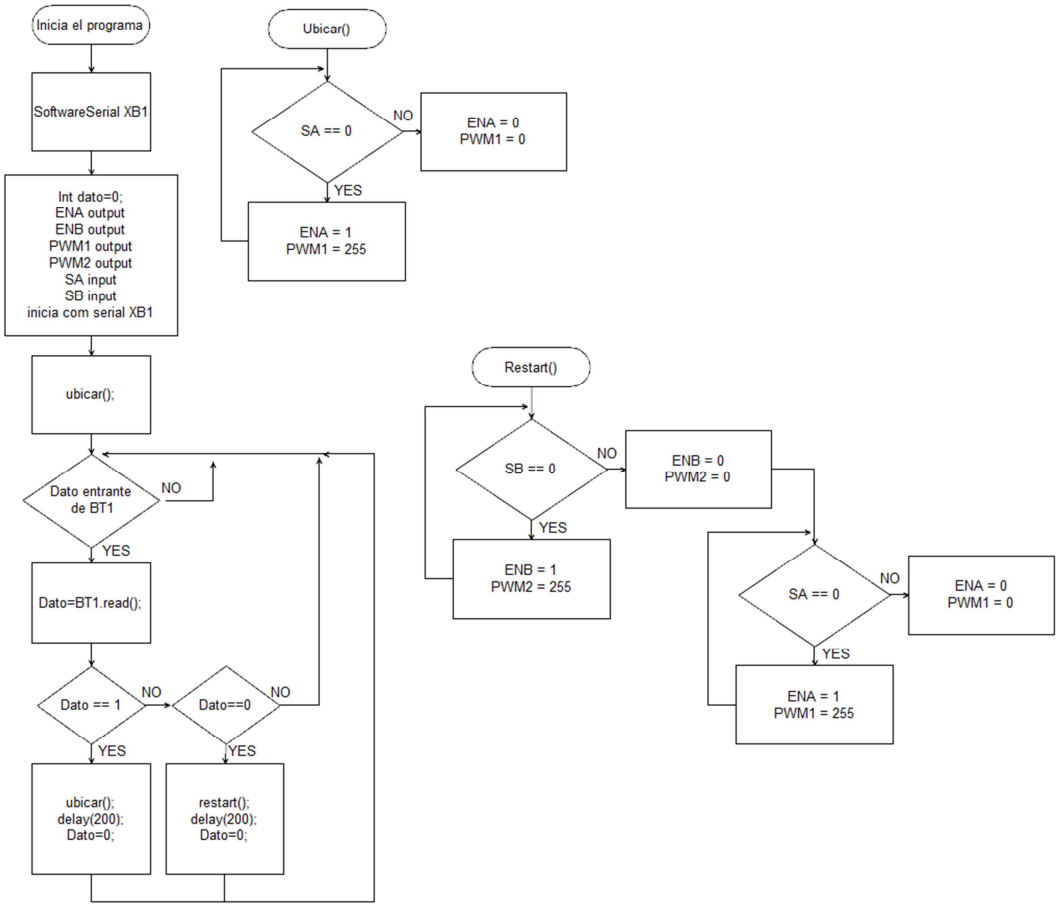


Figura 33. Diagrama de flujo del programa de la Estación 2. "Discos".

El montaje eléctrico se presenta en la Figura 34.

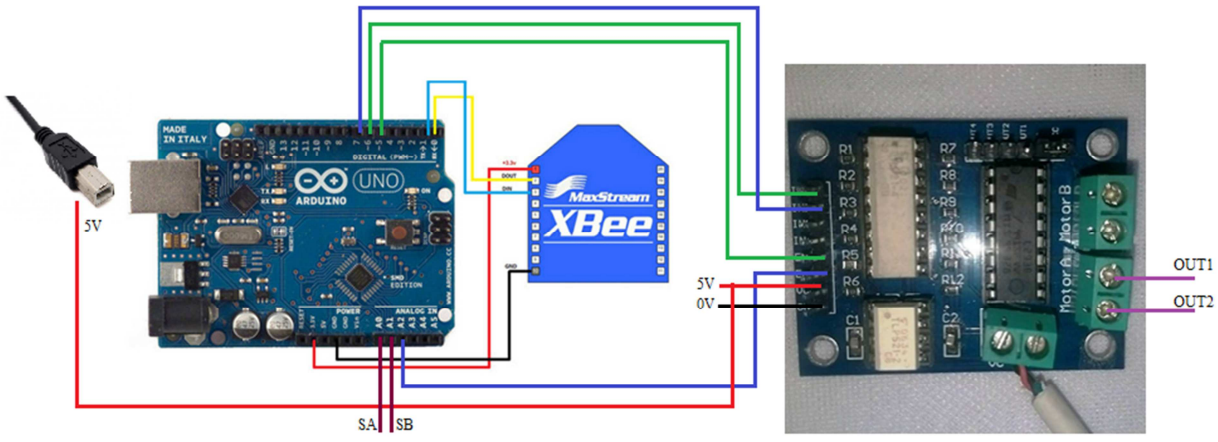


Figura 34. Montaje eléctrico Estación 2., "Discos".

8.6. ESTACIÓN 3. ROLLO DE BLANCOS

8.6.1. Descripción General

La estación 3 está compuesta por un rollo de blancos, el cual acoplado mecánicamente a un motor se encarga de desplazar imágenes de blancos hasta que un sensor de fin de carrera se activa para que un blanco nuevo quede listo para ser usado por el usuario, véase Figura 35.



Figura 35. Montaje mecánico Estación 3. “Rollo de blancos”.

8.6.2. Diagrama de Bloques

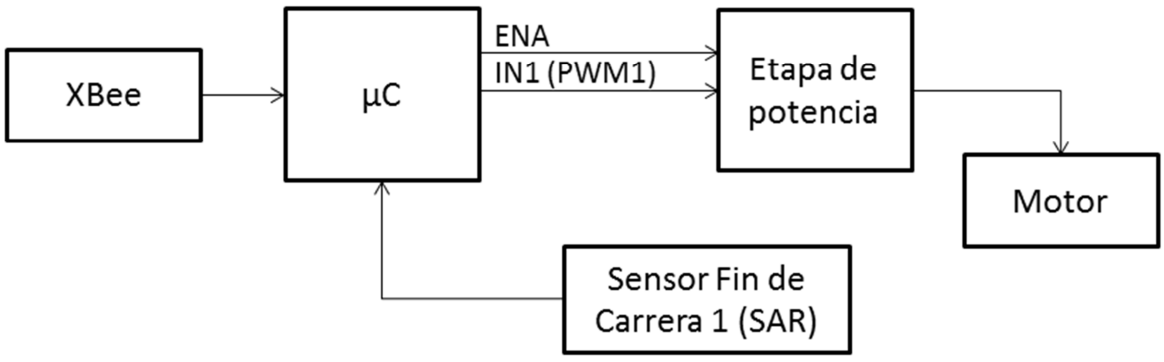


Figura 36. Diagrama de bloques Estación 3. “Rollo de blancos”.

En el diagrama de bloques presentado en la Figura 36, se observa que después de que el XBee recibe el dato enviado desde la aplicación móvil, este envía la orden recibida al puerto UART del microcontrolador Atmega328P el cuál desarrolla el código con base en el diagrama de flujo presentado en la Figura 37.

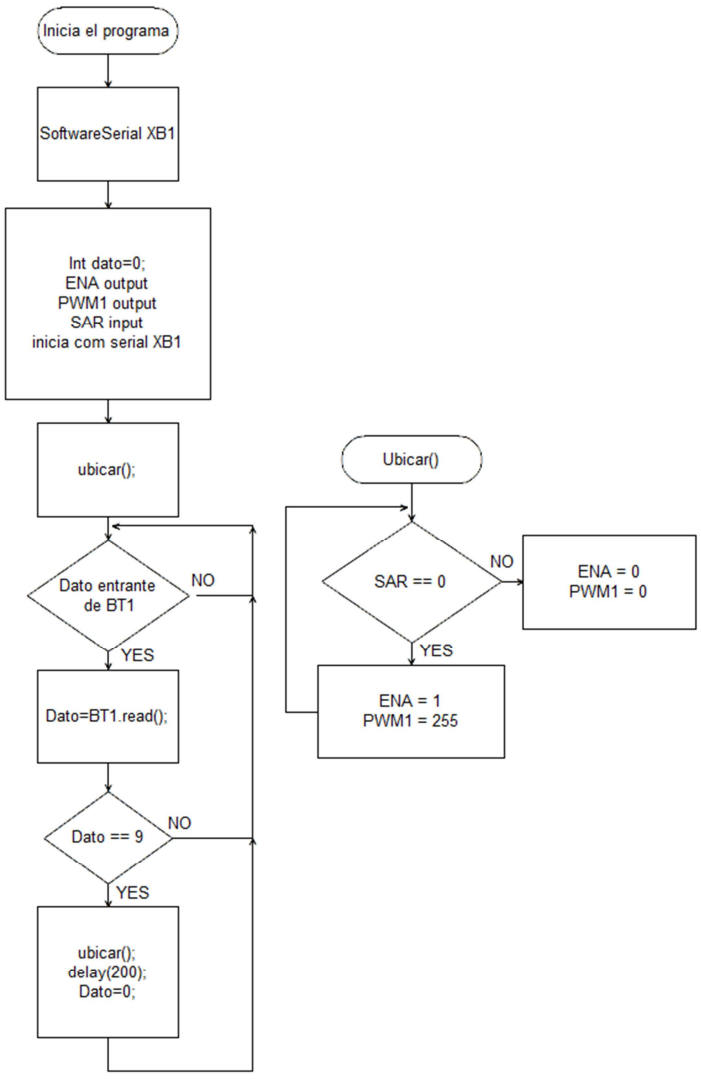


Figura 37. Diagrama de flujo del programa de la Estación Rollo de blancos

Similar a la estación 2. “Discos”. El microcontrolador recibe la señal del módulo sensor optoacoplador tipo herradura H2010[38] (sensores SAR) y dependiendo del estado lógico de este sensor activa la señal de Enable A el cual le indica al driver del motor que conmute la señal de PWM (IN1) para darle el sentido de giro al motorreductor encargado de desplazar el blanco nuevo hasta que se activa la señal del SAR que indica que el blanco se encuentra en su lugar para ser usado. El montaje eléctrico de la presente estación se observa en la Figura 38.

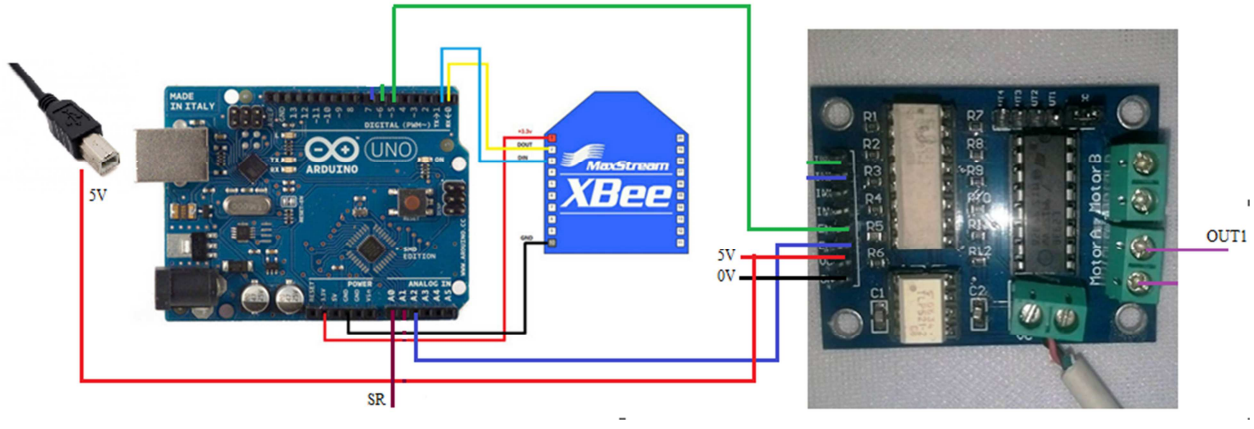


Figura 38.Montaje eléctrico Estación 3 "Rollo de blancos".

9. PRUEBAS DE COMUNICACIÓN DE LA RED

9.1. DESARROLLO DE PRUEBAS DE COMUNICACIÓN DE LA RED

Para el desarrollo de pruebas de la red propuesta, se realizó el proceso descrito en el diagrama de bloques de la Figura 39., en el cual se conecta el XBee Coordinador del módulo padre al PC para que por medio del software X-CTU y su herramienta "test range" se monitoree el indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI), también el software X-CTU muestra la cantidad total de paquetes enviados, paquetes recibidos, errores de transmisión y paquetes perdidos. También muestra la tasa de éxito (como porcentaje) para enviar y recibir paquetes durante el desarrollo de la prueba.

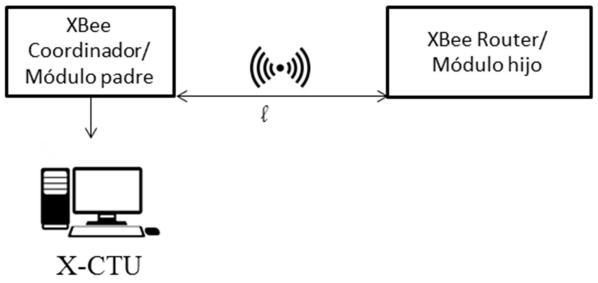


Figura 39. Diagrama de bloques para las pruebas de comunicación de la red.

La utilidad de la herramienta "test range", incorporada dentro del X-CTU, prueba el rango real de radiofrecuencia y la calidad de enlace entre dos módulos XBee en la misma red. Para realizar la prueba, se necesita tener un módulo de radio local conectado a su PC y adicionado al X-CTU, y un dispositivo remoto en la misma red que el dispositivo local. [39]

Para garantizar que la comunicación entre los XBee sea efectiva y que alcance las distancias que determina el fabricante en las hojas de especificaciones, se deben cumplir algunas condiciones de implementación, los radios deben ubicarsen a una altura determinada

dependiendo de la distancia a la que se vaya a ubicar el uno del otro dejando libre la zona denominada Zona de Fresnel. [40]

Las pruebas se desarrollaron a diferentes distancias "ℓ" con y sin línea de vista. A continuación se muestran los resultados obtenidos en el desarrollo de las pruebas:

- ℓ =1m con línea de vista.

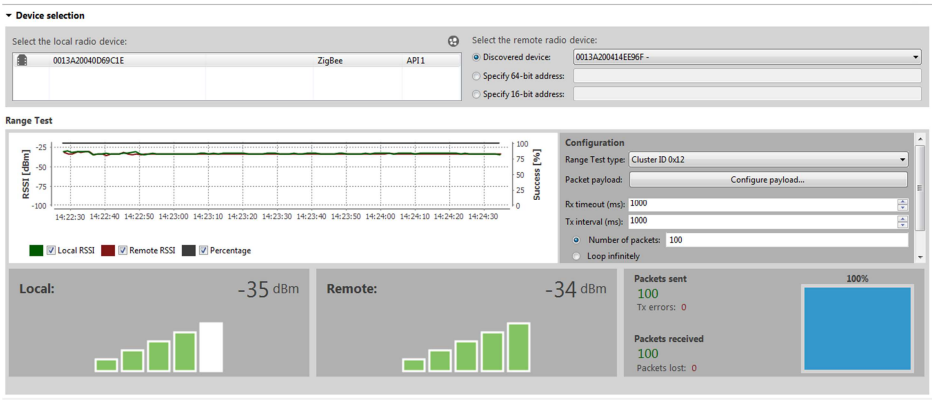


Figura 40. Resultados ℓ =1m con línea de vista.

- ℓ =6m con línea de vista.

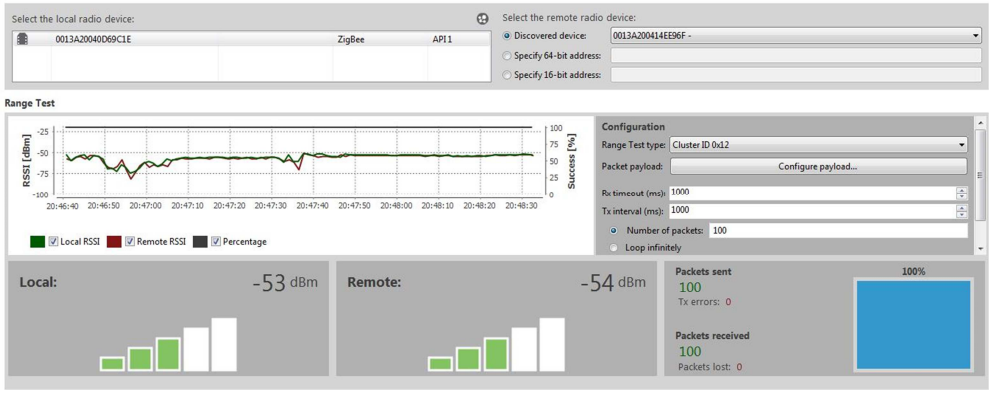


Figura 41. Resultados ℓ =6m con línea de vista.

- ℓ =9m sin línea de vista.

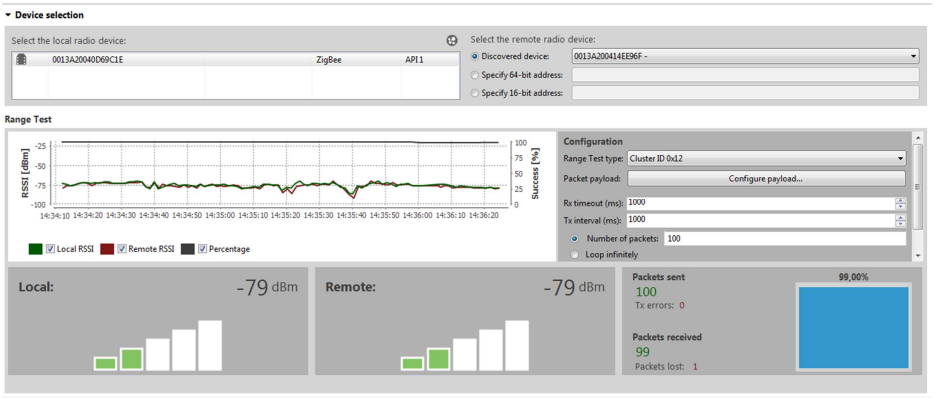


Figura 42. Resultados ℓ =9m sin línea de vista.

- ℓ =12m sin línea de vista.

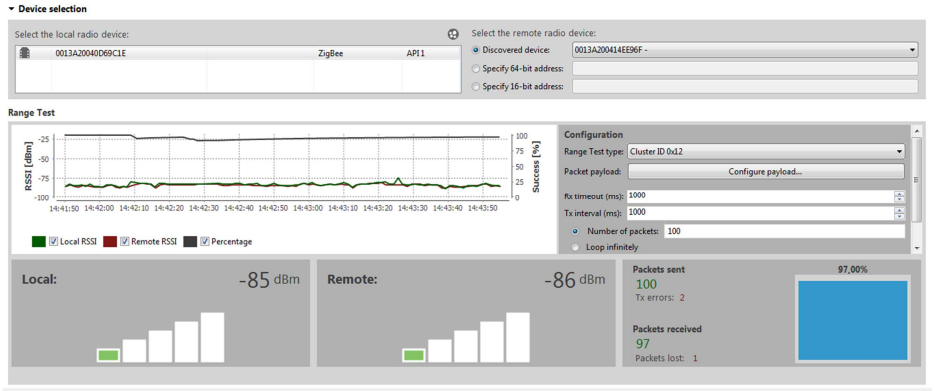


Figura 43. Resultados ℓ =12m sin línea de vista.

- ℓ =80m con línea de vista.

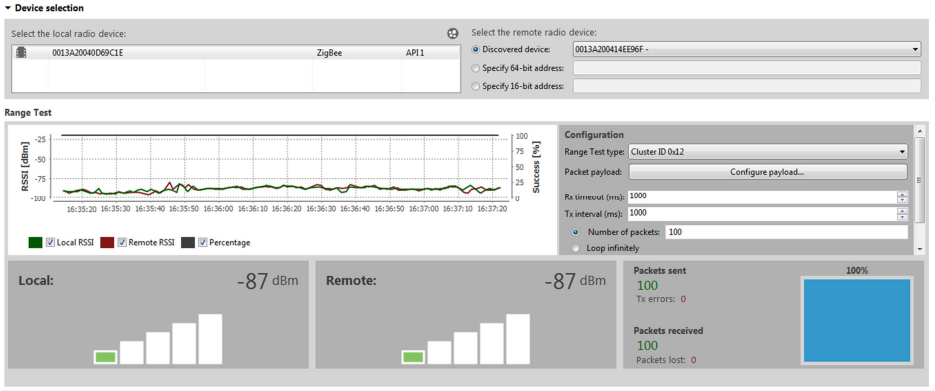


Figura 44. Resultados ℓ =80m con línea de vista.

9.2. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE COMUNICACIÓN DE LA RED

Tabla 11: Resultados de pruebas de comunicación de la Red XBee.

ℓ (m)	Linea de vista	RSSI Local (dBm)	RSSI Remoto (dBm)	Tasa de éxito (%)
1	si	-35	-34	100
6	si	-53	-54	100
9	no	-79	-79	99
12	no	-85	-86	97
80	si	-87	-87	100

Para realizar las pruebas se seleccionó un envío de 100 paquetes en cada prueba, este valor se puede modificar en el software X-CTU con la cantidad de paquetes deseada. Como se evidencia en la Tabla 11., un factor muy importante para garantizar la tasa de éxito es la línea de vista, en las pruebas quedó demostrado que aúnque haya un indicador de fuerza de la señal recibida (RSSI) bajo, debido a que los módulos estan a una gran distancia, se lográ tener una tasa de éxito del 100% teniendo los dos módulos XBee con línea de vista. En los tres casos donde se tenian los dispositivos con línea de vista se presento un porcentaje de éxito del 100%.

10. DISEÑOS PCB

A continuación se presentan los diseños de los PCB de cada una de las estaciones:

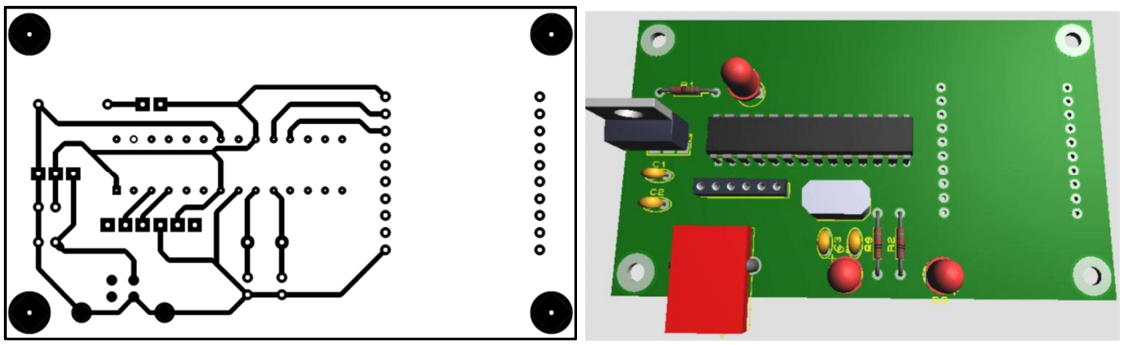


Figura 45. Diseño PCB y vista 3D de la estación Central.

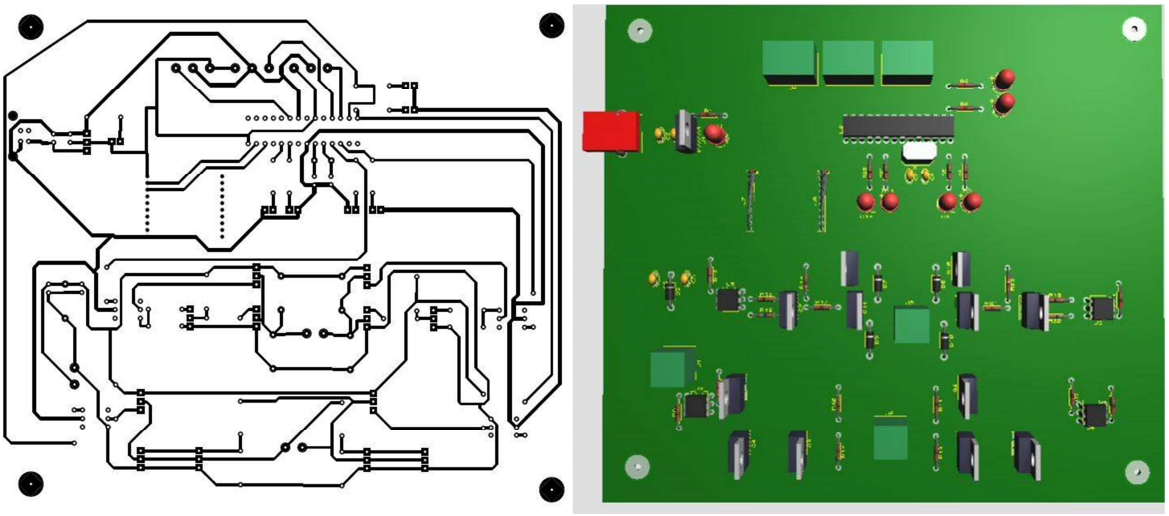


Figura 46. Diseño PCB y vista 3D de la estación 1.

10.1 MONTAJES REALES DE LAS PLACAS DISEÑADAS

10.1.1 Estación Central

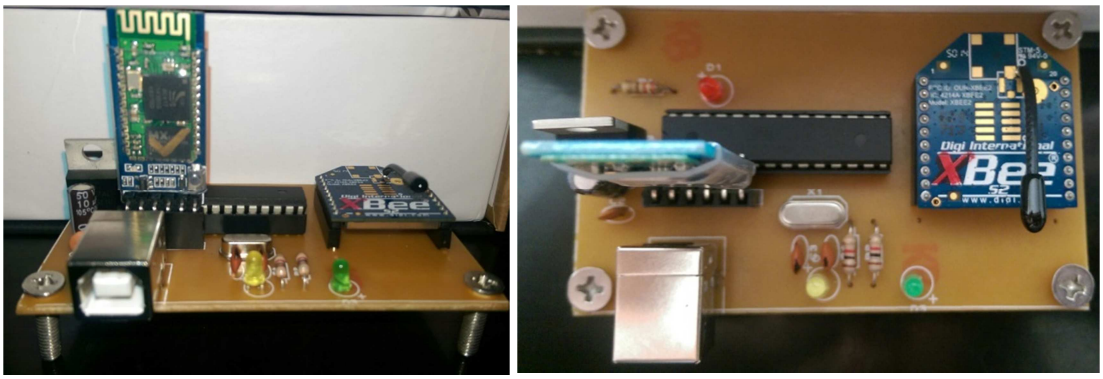


Figura 47. Montaje placa de la Estación Central.

10.1.2 Estación 1 "Conejo"

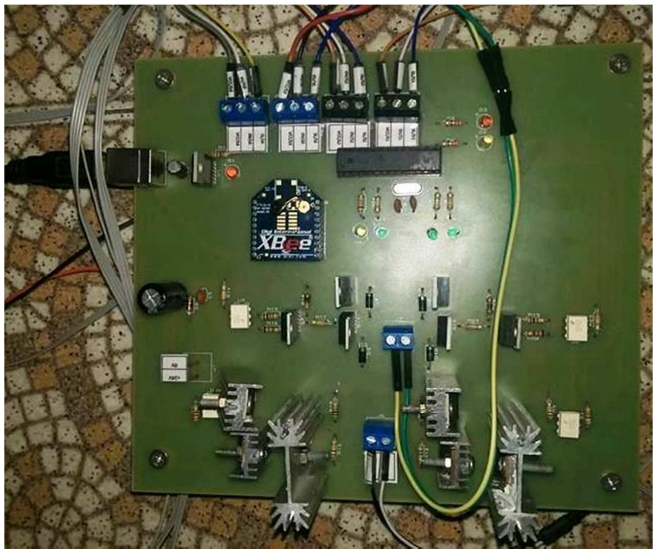


Figura 48. Montaje placa de la Estación 1 "Conejo".

11. CONCLUSIONES

De conformidad con los resultados obtenidos en la investigación, a continuación se presentan las principales conclusiones de la presente monografía.

Con relación al problema de la investigación, ¿En qué medida la tecnología ZigBee combinada con una aplicación Android puede reemplazar las tecnologías inalámbricas actuales para la automatización de un polígono de tiro? Se concluye que:

La automatización de un polígono de tiro se puede ejecutar en un 100% mediante la tecnología ZigBee, la cual combinada mediante la aplicación Android presentada es una propuesta bastante llamativa, al tener como principal característica la facilidad de interacción con el usuario. Adicionalmente, la facilidad de la programación de la aplicación permite modificar y adicionar configuraciones sin mayor complejidad. Otro aspecto relevante, es que el software Android Studio es gratuito, por lo tanto, no se incurre en costos de licencias.

Se logró crear una red donde la fiabilidad mínima del enlace es de un 97% en el peor de los casos, en el cual no hay línea de vista. Además, se mostró la funcionalidad de la red con solamente tres nodos, lo cual se puede expandir hasta 65.000 nodos sin tener que cambiar drásticamente la topología de la red o la configuración de los módulos XBee, ni incurrir en costos de cableado adicional.

Por otra parte, se cumplió con cada uno de los objetivos planteados, demostrando la funcionalidad del prototipo a escala, donde se evidencia la configuración y control de cada una de las estaciones mediante un dispositivo móvil.

La elección de los dispositivos fue la adecuada, ya que se cumplieron con las tareas designadas y diseñadas. Sin embargo, en la estación 1, se tuvo que acondicionar la variación de la velocidad a una escala diferente a la planteada en el anteproyecto, debido a que por costos no se pudo adquirir un motor con mayor número de rpm. Además que el torque de arranque fue insuficiente a un voltaje de alimentación del motor menor a 12V, debido a esta zona muerta, se tuvo que implementar porcentajes de ciclo útil en los PWM1 y PWM2 superiores al 52,941%.

12. RECOMENDACIONES

1. Teniendo las bases electrónicas del sistema de automatización del campo de tiro, queda como trabajo futuro implementar el sistema completo en un polígono de tiro real.
2. En la implementación del sistema se debe tener cuidado al úbicar los módulos XBee, garantizando que el cordinador este en línea de vista con todos los router y asegurandose de mantener libre la zona de Fresnel.
3. Se pueden adicionar más estaciones de acuerdo a las necesidades de escenarios que se requieran.
4. Se puede seleccionar un módulo XBee de mayor rango según la distancia que se requiera.
5. De acuerdo a las necesidades que se requieran se puede configurar la red en la topología árbol para obtener mayor rango de distancia.
6. En cada una de las estaciones se pueden adicionar más sensores para la detección de puntaje.
7. La aplicación implementada se puede diseñar en otros sistemas operativos para dispositivos móviles diferentes a Android.
8. La aplicación Android se puede mejorar con el nivel de detalle que se requiera.
9. El control de la velocidad del motor se puede mejorar implementando un motor de más RPM, un sensor de velocidad, por ejemplo, un encoder, y realizando un sistema de control realimentado con el cuál se corrija el problema del bajo torque de arranque y la zona muerta.

13. BIBLIOGRAFIA.

[1] Range management systems. 2016 Cubic Defence UK Ltd. All rights reserved. Recuperado de: http://www.ais-solutions.co.uk/range-equipment/range-management-systems.php

[2] Electronic target systems. 2016 Cubic Defence UK Ltd. All rights reserved. Recuperado de: http://www.ais-solutions.co.uk/range-equipment/target-systems/index.php

[3] WIRELESS MASTER CONTROL. © 2016, ACTION TARGET. Recuperado de: http://www. actiontarget.com/products/wireless-master-control/#

[5] MASTER CONTROL SCREEN. © 2016, ACTION TARGET. Recuperado de: http://www.actiontarget.com/wp-content/uploads/2016/05/Mancom-Master-Control-Screen.pdf

[6] Touch Plus™ Master Control Screen Models MCS1100, MCS1200, MCS1300. 2016 Mancom manufacturing incorporated. Recuperado de : http://192.185.141.224/~mancomv2/ images/retrieval/TouchPlusMasterControlScreenMCS1100.pdf

[7] Master control screen. 2016 Mancom manufacturing incorporated. Recuperado de: http://192.185.141.224/~mancomv2/index.php/tr-mastercontrolscreen

[8] Sistemas de radio control. Copyright © 2016 máquinas y consumibles para campos de tiro s.l. todos los derechos reservados.desarrollado por GB comunicación. Recuperado de: http://www.elicio.es/index.php/es/productos/sistemas-radio-control

[9] Saona Domínguez, M. (2014). Diseño y construcción de un sistema mecatrónico, de detección de puntajes automatizado en "Blancos o Dianas" para un polígono de tiro.

[10] Enríquez Alulema, Á. G., & Ortega Romero, C. P. (2015). Automatización del proceso de seriamiento, puntuación y registro de tiro de armas livianas en un polígono de tiro.

[11] Ding, P., Zhang, X., Fan, X., & Cheng, Q. (2009, August). Design of automatic target-scoring system of shooting game based on computer vision. In 2009 IEEE International Conference on Automation and Logistics (pp. 825-830). IEEE.

[12] Ali, F., & Mansoor, A. B. (2008, December). Computer vision based automatic scoring of shooting targets. In Multitopic Conference, 2008. INMIC 2008. IEEE International (pp. 515-519). IEEE.

[13] Davis, H., & Ripley, J. (1974). U.S. Patent No. 3,793,481. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

[14] Qiao, B., & Ma, K. (2015, July). An enhancement of the ZigBee wireless sensor network using bluetooth for industrial field measurement. In Advanced Materials and Processes for RF and THz Applications (IMWS-AMP), 2015 IEEE MTT-S International Microwave Workshop Series on (pp. 1-3). IEEE.

[15] Choudhury, S., Kuchhal, P., & Singh, R. (2015). ZigBee and Bluetooth network based sensory data acquisition system. Procedia Computer Science, 48, 367-372.

[16] Iraceburu González, J. (2014). Desarrollo e implementación de una red inalámbrica de sensores de temperatura y humedad.

[17] Tecnología. (27 de Junio de 2015). Colombia, el país de los 'smartphones'. *Semana*. Recuperado de http://www.semana.com/tecnologia/articulo/colombia-el-pais-de-los-smartpho nes/432806-3

[18] XBee® / RF Family Features Comparison. Adafruit. 2016. Recuperado de: https://cdn-shop. adafruit.com/datasheets/chart_xbee_rf_features.pdf

[19]Justicia. (17 de mayo de 2014). Uno de cada 300 colombianos tiene un arma legal. *El Tiempo*. Recuperado de http://www.eltiempo.com/politica/justicia/informe-sobre-porte-de-armas-en-colombia/14002417

[20]Presidente de la República. (3 de Agosto de 1994). Por el cual se reglamenta el Decreto 2535 de 1993. [DECRETO 1809 DE 1994]. DO: 41.473.

[21] La industria invirtió $1,7 billones en 2013 y $2,2 billones en 2014 en Actividades Científicas, Tecnológicas y de Innovación- ACTI. Bogotá, 26 de noviembre de 2015. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Recuperado de: http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/edit/cp_EDIT_Manufacturera_2013_2014.pdf

[22] Lewis, F. L. (2004). Wireless sensor networks. Smart environments: technologies, protocols, and applications, 11-46.

[23] Stankovic, J. A. (2008). Wireless Sensor Networks. IEEE Computer, 41(10), 92-95.

[24] Akyildiz, I.F., Su,W., Sankarasubramaniam, Y., Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: a survey. Computer Networks 38:393–422

[25] Yanfei, L., Cheng, W., Xiaojun, Q., & Yunhe, Z. (2009, August). An improved design of ZigBee wireless sensor network. In Computer Science and Information Technology, 2009. ICCSIT 2009. 2nd IEEE International Conference on (pp. 515-518). IEEE.

[26] D. Gislason, ZigBee wireless networking. Oxford: Newnes, 2008, pp 303-406.

[27] Peng, B., Wei, Z. G., & Wu, T. (2014, December). Corresponding Research of Android and ZigBee. In Wireless Communication and Sensor Network (WCSN), 2014 International Conference on (pp. 378-382). IEEE.

[28] Man, M. (2002). Bluetooth and Wi-Fi. Socket communications, March.

[29] Android Studio - Ventajas y desventajas. Jorge Martín Espinosa. 29 de abril de 2014. Recuperado de: http://es.slideshare.net/JorgeMartnEspinosa/presentacion-as-34098422

[30] Barneda, I. (2008). ZigBee aplicado a la transmisión de datos de sensores biomédicos. Memoria del Proyecto de Ingeniería Técnica en Telecomunicaciones.

[31] LT SERIES TRANSCEIVER MODULE DATA GUIDE. TRM-433-LT LINX TECHNOLOGIES, INC., datsheet, Recuperado de: http://www.sigmaelectronica.net/manuals/TR M-433-LT.pdf

[32] XBee™ Series 2 OEM RF Modules. XBee™ Series 2 OEM RF Modules, Recuperado de : http://www.farnell.com/datasheets/27606.pdf

[33] ATMEL 8-BIT MICROCONTROLLER WITH 4/8/16/32KBYTES IN-SYSTEM PROGRAMMABLE FLASH. DATASHEET, disponible: http://www.atmel.com/images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datas heet_Complete.pdf.

[34] HC Serial Bluetooth Products. User Instructional Manual. Bluetooth to Serial Port Module. 2010, Recuperado de: http://www.robotshop.com/media/files/pdf/rb-ite-12-bluetooth_hc05.pdf

[35] IRF9530N. HEXFET® Power MOSFET, disponible en: http://www.infineon.com/dgdl/irf9530n.pdf?fileId=5546d462533600a401535611b4a71dbf.

[36] IRF840. Data Sheet. Enero de 2002. 8A, 500V, 0.850 Ohm, N-Channel Power MOSFET. Disponible en: http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/fairchild/IRF840.pdf

[37] Modelo de Sensor de reflectancia/seguidor de linea/ infrarrojo. Disponible en: http://www.golemelectronics.com/producto/moduelo-de-sensor-de-reflectanciaseguidor-de-linea-infrarrojo/

[38] H21A1 / H21A2 / H21A3 PHOTOTRANSISTOR OPTICAL INTERRUPTER SWITCH. 05 de febrero de 2001. Recuperado de: http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheet/fairchild/H21A1.pdf

[39] Range test tool. © 2015 Digi International Inc. All rights reserved. | 90001458-13_B. DIGI X-CTU. Disponible en: http://docs.digi.com/display/XCTU/Range+test+tool.

[40] Martínez García, R. (2014). Análisis y diseño de una red inalámbrica de sensores para un proyecto agrario.