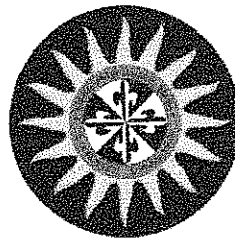


71E
G36
2011

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE JUEGO
"LASER TAG"

JHON ALEJANDRO GIRALDO GALLO



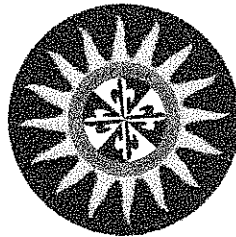
UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS ✓
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA ✓
TUNJA ✓
2011 ✓

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO SISTEMA DE JUEGO
"LASER TAG"

JHON ALEJANDRO GIRALDO GALLO

DIRECTOR
INGENIERO CAMILO ERNESTO PARDO BEAINY

DOCUMENTO PRESENTADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTRÓNICO



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
TUNJA
2011

El autor de este trabajo se hace responsable por la información, comentarios y afirmaciones plasmados en el mismo. Por lo tanto cualquier consecuencia derivada de ellos no implicará responsabilidad alguna sobre la facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás ni en sus funcionarios.

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo cumple con los requerimientos
minimos para optar al titulo de ingeniero
Electrónico.


DIRETOR


JURADO

JURADO

Gracias. A la fuerza que tenemos dentro los seres humanos que nos impulsa a ser mejores cada día. Dios.

Gracias. A mis padres que siempre han confiado en mis decisiones y que han sabido mostrarme, a su manera, la felicidad de una vida equilibrada y basada en valores.

Gracias. A la Universidad Santo Tomás por brindarme todos sus recursos que facilitaron mi crecimiento personal, tanto en el saber científico como en calidad humana.

Gracias. A todos los ingenieros y profesores que me brindaron lo mejor de sus conocimientos pero especialmente lo mejor de su ser.

Gracias. A todos mis familiares, amigos y compañeros de estudio por que de todos aprendo valiosas lecciones.

5.2.4. COMUNICACIÓN CON EL COMPUTADOR Y PROCESAMIENTO DE DATOS- 41 -	
5.2.4.1. EL SOFTWARE LABVIEW®.....	- 42 -
6. METODOLOGÍA.....	- 45 -
7. PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS.....	- 46 -
7.1. COMUNICACIÓN INFRARROJA ENTRE DISPOSITIVOS DE JUEGO- 47	
-	
7.1.1. DISEÑO DEL PROTOCOLO.....	- 48 -
7.1.2. CONEXIÓN DE EMISOR Y RECEPTOR INFRARROJOS	- 52 -
7.2. COMUNICACIÓN POR RADIO FRECUENCIA ENTRE DISPOSITIVOS DE JUEGO Y COMPUTADOR ADMINISTRADOR.....	- 53 -
7.2.1. MÓDULOS XBEE® ADQUIRIDOS	- 54 -
7.2.2. PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE LOS MÓDULOS XBEE®	- 55 -
7.2.3. CONEXIÓN Y COMUNICACIÓN ENTRE LOS MÓDULOS XBEE® Y EL MICROCONTROLADOR	- 58 -
7.2.4. DISEÑO DEL PAQUETE DE DATOS	- 59 -
7.3. SISTEMA MICROCONTROLADO.....	- 61 -
7.3.1. CRITERIOS PARA ESCOGER EL MICROCONTROLADOR	- 61 -
7.3.2. DESARROLLO DE PROGRAMACIÓN POR ETAPAS	- 62 -
7.3.2.1. EL MICROCONTROLADOR.....	- 63 -
7.3.2.2. ENVIO Y RECEPCION POR RADIOFRECUENCIA.....	- 67 -
7.3.2.3. ENVIO POR INFRARROJO (DISPARO)	- 68 -
7.3.2.4. RECEPCIÓN INFRARROJA.....	- 70 -
7.3.2.5. SELECCIÓN Y VISUALIZACIÓN DE OPCIONES DE JUEGO.....	- 71 -
7.4. DISEÑO DE LAS FUNCIONES DEL ADMINISTRADOR DE JUEGO..	- 72 -
7.5. DISEÑO DE CIRCUITOS IMPRESOS	- 75 -
CONCLUSIONES.....	- 79 -
BIBLIOGRAFÍA.....	- 81 -
LISTA DE ANEXOS.....	- 83 -

Gracias. A la fuerza que tenemos dentro los seres humanos que nos impulsa a ser mejores cada día. Dios.

Gracias. A mis padres que siempre han confiado en mis decisiones y que han sabido mostrarme, a su manera, la felicidad de una vida equilibrada y basada en valores.

Gracias. A la Universidad Santo Tomás por brindarme todos sus recursos que facilitaron mi crecimiento personal, tanto en el saber científico como en calidad humana.

Gracias. A todos los ingenieros y profesores que me brindaron lo mejor de sus conocimientos pero especialmente lo mejor de su ser.

Gracias. A todos mis familiares, amigos y compañeros de estudio por que de todos aprendo valiosas lecciones.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS.....	- 8 -
LISTA DE TABLAS.....	- 10 -
GLOSARIO.....	- 11 -
1. INTRODUCCIÓN.....	- 15 -
2. JUSTIFICACIÓN.....	- 16 -
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	- 17 -
4. OBJETIVOS.....	- 18 -
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	- 18 -
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	- 18 -
5. MARCO TEÓRICO.....	- 19 -
5.1. ANTECEDENTES.....	- 19 -
5.1.1. PRIMEROS SISTEMAS DE LASER TAG.....	- 19 -
5.1.2. DESARROLLO COMERCIAL DEL LASER TAG.....	- 20 -
5.1.3. EL MICRO-PROCESADOR Y LA EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS LASER TAG.....	- 23 -
5.1.4. DESARROLLO Y USO EN COLOMBIA.....	- 23 -
5.2. REFERENTE TEÓRICO.....	- 24 -
5.2.1. COMUNICACIÓN INFRARROJA.....	- 24 -
5.2.1.1. LUZ INFRARROJA.....	- 24 -
5.2.1.2. MODULACIÓN DE LA LUZ INFRARROJA.....	- 26 -
5.2.1.3. ASOCIACIÓN DE DATOS INFRARROJOS IrDA.....	- 27 -
5.2.1.4. CONTROL REMOTO INFRARROJO IRRC.....	- 28 -
5.2.2. COMUNICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA.....	- 30 -
5.2.2.1. EL ESPECTRO DE RADIOFRECUENCIA.....	- 30 -
5.2.2.2. ENVÍO Y RECEPCIÓN DE DATOS.....	- 31 -
5.2.2.3. EL BLUETOOTH.....	- 32 -
5.2.2.4. ZIG BEE.....	- 33 -
5.2.3. SISTEMAS MICRO-CONTROLADOS.....	- 35 -
5.2.3.1. MICROCONTROLADORES PIC.....	- 35 -
5.2.3.2. EL PIC16F628A.....	- 37 -
5.2.3.3. MÓDULO UART.....	- 38 -

5.2.4. COMUNICACIÓN CON EL COMPUTADOR Y PROCESAMIENTO DE DATOS-	41 -
5.2.4.1. EL SOFTWARE LABVIEW®.....	42 -
6. METODOLOGÍA.....	45 -
7. PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS.....	46 -
7.1. COMUNICACIÓN INFRARROJA ENTRE DISPOSITIVOS DE JUEGO-	47 -
7.1.1. DISEÑO DEL PROTOCOLO.....	48 -
7.1.2. CONEXIÓN DE EMISOR Y RECEPTOR INFRARROJOS	52 -
7.2. COMUNICACIÓN POR RADIO FRECUENCIA ENTRE DISPOSITIVOS DE JUEGO Y COMPUTADOR ADMINISTRADOR.....	53 -
7.2.1. MÓDULOS XBEE® ADQUIRIDOS	54 -
7.2.2. PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE LOS MÓDULOS XBEE®	55 -
7.2.3. CONEXIÓN Y COMUNICACIÓN ENTRE LOS MÓDULOS XBEE® Y EL MICROCONTROLADOR	58 -
7.2.4. DISEÑO DEL PAQUETE DE DATOS	59 -
7.3. SISTEMA MICROCONTROLADO.....	61 -
7.3.1. CRITERIOS PARA ESCOGER EL MICROCONTROLADOR.....	61 -
7.3.2. DESARROLLO DE PROGRAMACIÓN POR ETAPAS	62 -
7.3.2.1. EL MICROCONTROLADOR.....	63 -
7.3.2.2. ENVIO Y RECEPCION POR RADIOFRECUENCIA.....	67 -
7.3.2.3. ENVIO POR INFRARROJO (DISPARO)	68 -
7.3.2.4. RECEPCIÓN INFRARROJA.....	70 -
7.3.2.5. SELECCIÓN Y VISUALIZACIÓN DE OPCIONES DE JUEGO.....	71 -
7.4. DISEÑO DE LAS FUNCIONES DEL ADMINISTRADOR DE JUEGO..	72 -
7.5. DISEÑO DE CIRCUITOS IMPRESOS	75 -
CONCLUSIONES	79 -
BIBLIOGRAFÍA.....	81 -
LISTA DE ANEXOS.....	83 -

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Armas inspiradas en la serie <i>Star Trek</i>	- 20 -
Figura 2. Jugadores usando el equipo de laser tag de PHOTON®.....	- 21 -
Figura 3. Jugador usando el equipo de laser tag de la compañía Battle Field Sports.....	- 22 -
Figura 4. El espectro electromagnético	- 25 -
Figura 5. Diferentes fuentes de radiación infrarroja.....	- 25 -
Figura 6. Envío y recepción de una señal infrarroja modulada.....	- 26 -
Figura 7. Receptor de señales Infrarrojas.....	- 26 -
Figura 8. Símbolos lógicos del protocolo Phillips RC-5.....	- 29 -
Figura 9. Organización del paquete de datos del protocolo Phillips RC-5.....	- 29 -
Figura 10. Figura 8. Símbolos lógicos del protocolo de SONY.....	- 30 -
Figura 11. Organización del paquete de datos del protocolo de SONY.....	- 30 -
Figura 12. Diagrama de bloques de un transmisor RF.....	- 32 -
Figura 13. Diagrama de bloques de un receptor RF.....	- 32 -
Figura 14. Diagrama de bloques de un micro-controlador.....	- 35 -
Figura 15. Palabra de configuración del PIC16F628A.....	- 37 -
Figura 16. Registro de estado de transmisión del módulo UART de PIC.....	- 39 -
Figura 17. Registro de estado de recepción del módulo UART de PIC.....	- 39 -
Figura 18. Ecuación para encontrar el valor del registro BRGH.....	- 40 -
Figura 19. Instrumento virtual de LabVIEW® y su esquema interno.....	- 43 -
Figura 20. Vista del panel frontal y el panel de programación de LabVIEW®. ..	- 43 -
Figura 21. Visión general del sistema de laser tag.....	- 46 -
Figura 22. Esquema para envío y recepción IR con PIC.....	- 47 -
Figura 23. Elementos usados en el envío y recepción de datos por infrarrojo. ..	- 48 -
Figura 24. Símbolos del protocolo diseñado, primera versión.....	- 49 -
Figura 25. Organización de la trama de datos del protocolo diseñado, primera versión.....	- 49 -
Figura 26. Señales de prueba y de respuesta del dispositivo TSOP1740.....	- 50 -
Figura 27. Símbolos del protocolo en su versión definitiva.....	- 51 -
Figura 28. Diagrama de conexiones del emisor infrarrojo con el microcontrolador. ..	- 52 -
Figura 29. Diagrama de conexiones del receptor infrarrojo con el microcontrolador.....	- 53 -
Figura 30. Panel del software X-CTU para configuración de los módulos XBee®. ..	- 56 -
Figura 31. Diagrama de conexión para prueba con <i>loop back</i>	- 57 -
Figura 32. Pestaña <i>Range Test</i> del X-CTU.....	- 57 -
Figura 33. Diagrama de conexión entre las interfaces seriales del módulo XBee® y el microcontrolador.....	- 59 -
Figura 34. Organización del paquete de datos enviado del administrador a dispositivo de juego.....	- 60 -

Figura 35. Organización del paquete de datos enviado del dispositivo de juego al administrador.....	- 60 -
Figura 36. Esquema de las partes que constituyen el dispositivo de juego del sistema laser tag.....	- 63 -
Figura 37. Configuración inicial del microcontrolador.....	- 64 -
Figura 38. Rutina de pre-inicio.....	- 65 -
Figura 39. Diagrama de flujo del bucle Principal.....	- 66 -
Figura 40. Subrutina para recepción de datos que ingresan por SCI.....	- 68 -
Figura 41. Diagrama de flujo de la subrutina de envío infrarrojo.....	- 69 -
Figura 42. Diagrama de flujo de la rutina de recepción de dato infrarrojo.....	- 70 -
Figura 43. Diagrama de flujo del segmento de programa que permite seleccionar tipo de arma.....	- 72 -
Figura 44. Diagrama de flujo para el software administrador.....	- 73 -
Figura 45. Panel frontal de la aplicación de usuario diseñada en LabVIEW®.....	- 74 -
Figura 46. Diagrama del circuito eléctrico del dispositivo de juego.....	- 75 -
Figura 47. Vista superior del circuito diseñado en el módulo ARES de PROTEUS®.....	- 76 -
Figura 48. Diseño del circuito impreso asistido por el módulo ARES de PROTEUS®.....	- 76 -

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características definidas por la IrDA para los envíos infrarrojos.	- 27 -
Tabla 2. Comparación entre las tecnologías de envío infrarrojo IrDA y CIR.....	- 28 -
Tabla 3. Lista de los nombre y clasificación del espectro radioeléctrico.....	- 31 -
Tabla 4. Características principales del microcontrolador PIC16F628A.....	- 61 -

GLOSARIO

Baudio: representa la cantidad de veces que cambia el estado de una señal en un periodo de tiempo, tanto para señales digitales como para señales analógicas.

Circuito integrado: pastilla pequeña de material semiconductor, de algunos milímetros cuadrados de área, sobre la que se fabrican circuitos electrónicos. La escala de integración comienza en 10 transistores, SSI (integración a pequeña escala), y se eleva hasta varios millones de transistores por circuito, GLSI (giga gran escala de integración).

Codificación: proceso de conversión de un sistema de datos de origen a otro sistema de datos de destino.

Electrónica digital: parte de la electrónica que se encarga de sistemas electrónicos en los cuales la información está codificada en dos únicos estados. A dichos estados se les puede llamar "verdadero" o "falso", o más comúnmente 1 y 0, refiriéndose a que en un circuito electrónico digital hay dos niveles de tensión.

Entretenimiento: El entretenimiento es una diversión con la intención de fijar la atención de una audiencia o sus participantes. La industria que proporciona entretenimiento es llamada industria del entretenimiento.

Especificación: conjunto de normativas que definen los parámetros de funcionamiento de determinada tecnología. Dentro de los parámetros fijados en comunicaciones se establece el tipo de enlace y el control de acceso al medio.

Filtrar una señal: aplicar cualquier método, matemático, para señales digitales o circuitos pasivos, para señales analógicas, con el fin de eliminar componentes de frecuencia no deseados.

Funciones booleanas: conjunto de operaciones lógicas cuyo objeto es operar los valores falso y verdadero. Es la base de la electrónica digital en la que el cero "0" lógico representa al valor falso, y el uno "1" lógico representa al valor verdadero.

IrDA: asociación de datos infrarrojos. Define un estándar físico en la forma de transmisión y recepción de datos por rayos infrarrojo.

IRRC: control remoto infrarrojo. Son un conjunto de estándares de control remoto de consumidor desarrollados por diferentes empresas de electrodomésticos.

LAN: red de acceso local.

Laser tag: es un juego deportivo que simula un combate entre dos equipos. En su dinámica los jugadores intentan conseguir puntos alcanzando con sus disparadores de infrarrojos los dispositivos receptores situados en las armas o prendas de sus rivales.

Lenguaje de ensamblador: lenguaje de programación de bajo nivel para los computadores, microprocesadores, microcontroladores, y otros circuitos integrados programables. Constituye la representación más directa del código máquina específico para cada arquitectura legible por un programador.

LSB: bit menos significativo. En una secuencia de números binarios es el bit con menos valor o que está situado más a la derecha.

Luz infrarroja: tipo de radiación electromagnética de mayor longitud de onda que la luz visible, pero menor que la de las microondas. Su rango de longitudes de onda va desde unos 0,7 micrómetros hasta los 100 micrómetros, y es invisible por el ojo humano.

Microondas: ondas electromagnéticas definidas en un rango de frecuencias determinado; generalmente de entre 300 MHz y 300 GHz, que supone un período de oscilación de 3 nanosegundos (3×10^{-9} s) a 3 picosegundos (3×10^{-12} s) y una longitud de onda en el rango de 1 metro a 1 milímetros.

Microprocesador: circuito integrado central y más complejo de un sistema informático, constituido por millones de componentes electrónicos integrados en un chip o pastilla. Constituye la unidad central de procesamiento (CPU) de un PC catalogado como microcomputador.

MILES: sistema de laser tag desarrollado a finales de los años 70 por el ejército de los Estados Unidos. Se usaba para entrenar sus tropas para el combate.

MSB: bit más significativo. En una secuencia de números binarios es el bit con mayor valor o que está situado más a la izquierda.

Ondas electromagnéticas: forma de propagación de la radiación electromagnética a través del espacio.

Paquete de datos: unidad fundamental de transporte de información en todas las redes de telecomunicaciones. El término datagrama es usado a veces como sinónimo.

Plástico inyectado: proceso semi-continuo que consiste en inyectar un polímero en estado fundido en un molde cerrado a presión y frío, a través de un orificio pequeño llamado compuerta. En ese molde el material se solidifica, comenzando a cristalizar en polímeros semi-cristalinos.

Programación gráfica: tipo de programación en la que se utilizan figuras o íconos para realizar las funciones de programación, a menudo el flujo de dato se representa por medio de líneas que unen los íconos.

Protocolo de comunicación: conjunto de reglas normalizadas para la representación, señalización, autenticación y detección de errores necesario para enviar información a través de un canal de comunicación.

Receptor: unidad o módulo al que llega una señal portadora de información. Generalmente posee todas las características que le permiten captar, filtrar y decodificar la información que recibe.

Señal modulada: técnicas que se usan para transportar información sobre una onda portadora, típicamente una onda sinusoidal. Estas técnicas permiten un mejor aprovechamiento del canal de comunicación lo que posibilita transmitir más información en forma simultánea además de mejorar la resistencia contra posibles ruidos e interferencias.

Tasa de transmisión: número de bits que se transmiten por unidad de tiempo a través de un sistema de transmisión digital o entre dos dispositivos digitales. Así pues, es la velocidad de transferencia de datos.

Transmisor: unidad o módulo que se encarga de enviar una señal portadora de información hacia el medio físico de transmisión.

UART: transmisor-receptor asíncrono universal.

WPAN: red de área personal inalámbrica.

1. INTRODUCCIÓN

En el presente documento se encuentra consignado, el proceso, tanto de pensamiento como práctico, mediante el cual se trajo a la realidad el prototipo de sistema de juego LASER TAG, haciendo uso de materiales de fácil consecución en el mercado local y técnicas conocidas por todo ingeniero electrónico, de forma que pueda ser visto por los lectores, estudiantes y docentes, como un ejemplo práctico del gran potencial de desarrollo que existe en ésta carrera.

La idea de basar este trabajo de grado en el campo del entretenimiento, surge esencialmente de tres situaciones; primero y como es lógico, la admiración y afinidad por la industria creciente de la tecnología como herramienta de recreación. En segundo lugar, la posibilidad de generar empresa a partir del trabajo de grado. Y por último, tras observar decenas de trabajos de grado realizados en la Universidad Santo Tomás y en otras universidades del país, se encuentra que este campo no es tenido en cuenta muy a menudo, hecho que genera un valor agregado al trabajo.

En este documento se encuentra la descripción completa de lo que es el sistema de juego LASER TAG. Se presenta su historia y desarrollo tecnológico, también se hace una explicación de las ramas del conocimiento que hacen posible el desarrollo del sistema, esto con el fin de ilustrar el trabajo desde sus bases teóricas fundamentales. Después, en el capítulo 7 (PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS), se develan los pasos seguidos para desarrollar el prototipo del sistema. Se presentan los diagramas de flujo finales, los esquemas de funcionamiento de cada etapa del sistema por separado y al final se explica la interacción de las etapas que dan vida al sistema de juego completo. Finalmente se muestran algunas figuras que ilustran el funcionamiento del prototipo y la forma final.

Dicho ya lo anterior, el lector puede abordar este libro esperando encontrar el desarrollo de un trabajo de diseño e implementación de un sistema, pero también el proceso de materialización de una idea.

2. JUSTIFICACIÓN

La ingeniería electrónica encuentra su aplicación en diversos ámbitos dentro de la sociedad, tales como la salud, la industria, la seguridad y la educación. Dichos campos de acción cuentan con gran atractivo para los estudiantes que buscan desarrollar un trabajo de grado que sea innovador y que responda a necesidades reales de su entorno.

No obstante, existe un área poco explorada por estudiantes en proceso de terminación de carrera, que ofrece grandes oportunidades para la innovación y la creación de empresa; este es el caso del amplio campo del entretenimiento, el cual puede cobrar gran importancia cuando se usa de forma controlada y consciente.

Como es lógico, en toda ciudad que cuente con un número considerable de habitantes, se hace completamente necesaria la creación de lugares dedicados al esparcimiento, que ayuden a reducir los niveles de estrés de la gente, haciendo la vida más grata y llevadera, contribuyendo así al desarrollo social y al aumento de la calidad de vida de sus habitantes.

Es así como, con el presente trabajo, se busca proponer una respuesta a la creciente demanda de espacios dedicados al entretenimiento que se vive en las ciudades principales de Boyacá. Esto desde el enfoque del ingeniero electrónico, que busca, usar, apropiarse y adaptar la tecnología a las necesidades de su entorno. Y con miras a la creación de empresa, proyectándose así para cumplir con su responsabilidad social.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema planteado es el desarrollo de un prototipo del sistema de juego laser tag, diseñando a partir del uso de materiales que se consigan fácilmente en el mercado local, con el fin de dar respuesta a dos situaciones específicas que crean una oportunidad en el entorno boyacense.

La primera situación que motiva este trabajo, es la falta de lugares para el desarrollo de actividades lúdicas y recreativas en la ciudad de Tunja y en las ciudades principales de Boyacá. La segunda, es la posibilidad de crear alternativas para trabajar en la región pues empresarialmente se crearían nuevos empleos, lo que contribuiría a la economía boyacense y se lograría la proyección social buscada.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un prototipo de sistema de juego de campo, laser tag, con opciones de configuración y gestión inalámbricas, controladas desde un computador que contiene un software administrador. Haciendo uso de materiales de fácil adquisición en el mercado Nacional.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar la evolución de los sistemas de laser tag para comprender de forma completa en que ha consistido su desarrollo a través del tiempo.
- Plantear hipótesis sobre el funcionamiento de los sistemas de laser tag existentes en el mercado para que, con base en ellas, se propongan los diseños que aportarán ideas para la creación del sistema.
- Identificar los diferentes métodos mediante los cuales se puede enviar y recibir datos digitales de forma inalámbrica.
- Relacionar los métodos de comunicación inalámbrica existentes con las tecnologías de fácil adquisición en el mercado nacional para asegurar que sea posible su implementación a nivel local.
- Diseñar el modelo de funcionamiento del juego teniendo en cuenta dos aspectos. La necesidad del jugador de tener información sobre su desempeño y la del administrador del juego por controlar lo que sucede en el mismo.
- Seleccionar una herramienta de software que permita recibir, visualizar procesar y enviar datos por medio de las interfaces del computador.
- Diseñar, evaluar e implementar individualmente prototipos de las diferentes etapas del sistema para que una vez funcionando puedan ser integradas y probadas en conjunto.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. ANTECEDENTES

El lasertag es una actividad recreativa en la que los participantes deben sumar puntaje impactando a sus rivales, usualmente con un arma que emite una señal infrarroja. Cada jugador debe llevar además del arma, un dispositivo receptor de infrarrojos. Los jugadores pueden enfrentarse entre ellos individualmente o formar equipos de acuerdo a sus preferencias. El objetivo del juego es impactar los receptores del enemigo la mayor cantidad de veces evitando ser impactado. También se utilizan juegos de estrategia militar como captura la bandera enemiga, con el fin de sumar emociones al juego.

5.1.1. PRIMEROS SISTEMAS DE LASER TAG

A finales de los años 70, el ejército de los Estados Unidos desarrolló un sistema, que usaba un rayo infrarrojo, para entrenar sus tropas para el combate. Este sistema se conocía como MILES¹ por sus siglas en inglés (Multiple Integrated Laser Engagement System) y funcionaba con armas que “disparaban” un haz infrarrojo, que al impactar un receptor, de la misma naturaleza, contabilizaba el puntaje.

El sistema era usado en simulaciones de batalla, de manera que los soldados eran entrenados para situaciones donde la estrategia era primordial, la finalidad del sistema era informar el número de impactos que recibía un soldado o una tropa tratando de conseguir un objetivo; esto con el fin de evaluar y mejorar su desempeño

Dentro de la evolución del sistema MILES se incluyeron receptores infrarrojos en los elementos de uso de los soldados tales como: tanquetas, equipo de artillería, campamentos y vehículos de apoyo, esto con el fin de aumentar el realismo de las situaciones.

¹ Historia completa del sistema MILES en: <http://www.cubic.com/About-Us/History>. Información reciente de su uso en el ejército Estadounidense se puede ver en: <http://www.army.mil/article/12593/>

En 1993, debido a la escasa información que brindaba sobre el desarrollo del entrenamiento, el sistema MILES fue llamado MILES básico, y se inició el desarrollo de una versión mejorada que se llamó MILES-2000. El MILES-2000, no solo cuenta con armas más realistas sino que también genera una base de datos completa en la que brinda la estadística del desempeño de cada soldado. Ésta característica brinda a los soldados la posibilidad de cometer y corregir errores de procedimiento táctico que en situaciones de combate real podrían costarles la vida.

En 1995 la compañía Cubic Defense Systems obtuvo el contrato para producir el sistema MILES-2000, tecnológicamente superior al MILES básico y con todos los problemas de su versión anterior resueltos. Este sistema se probó en el fuerte Bening (GA) en 1998, y fue totalmente puesto en operación en el año 1999.

5.1.2. DESARROLLO COMERCIAL DEL LASER TAG

El primer sistema comercial de laser tag del que se tiene conocimiento es el *Star Trek Phaser*², producido por la compañía *South Bend Toy* en 1980. Este juguete es la forma más simple de laser tag que existe y su diseño está inspirado en la famosa serie de ciencia ficción estadounidense *Star Trek*.

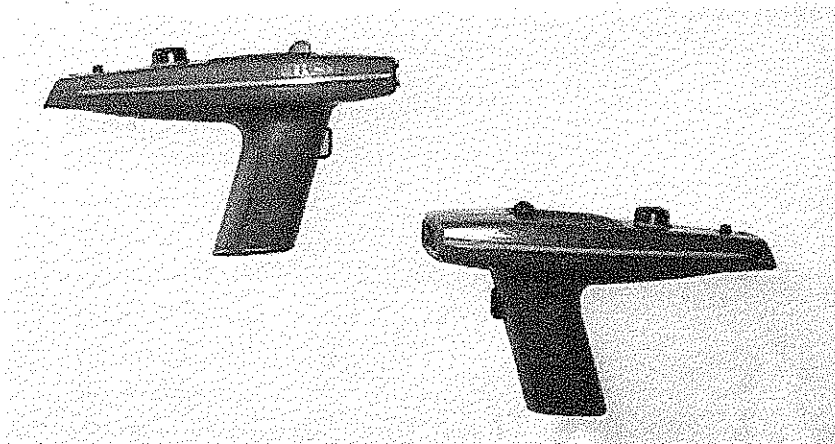


Figura 1. Armas inspiradas en la serie *Star Trek*.
Tomada de: http://home.comcast.net/~Ferret1963/All_Systems.HTML

² Historia tomada de: http://home.comcast.net/~Ferret1963/All_Systems.HTML

Estas armas contienen emisor y receptor infrarrojos, cuando el jugador presiona el gatillo el arma emite el haz infrarrojo acompañado por un sonido de disparo. El arma impactada emite un sonido que lo indica. Este sistema no maneja ningún tipo de intercambio de datos, ni lleva el conteo de disparos realizados o recibidos.

En 1984 la compañía PHOTON® abre el primer establecimiento para la práctica de laser tag, y rápidamente se expande a varios estados dentro de Norte América. Su popularidad crece gracias al uso de escenarios de juego inspirados en las películas de ciencia ficción que inundan el cine estadounidense en la misma época.



Figura 2. Jugadores usando el equipo de laser tag de PHOTON®.
Tomada de: <http://www.trutnee.com/index.php?page=381>

En 1986 PHOTON®³ comienza a producir versiones para uso en el hogar de sus sistemas de laser tag y los comercializa con gran éxito. Para la navidad de ese mismo año el sistema de laser tag producido por PHOTON® se vuelve número uno en ventas, posicionándose fuertemente en el mercado para los años siguientes.

En los años siguientes debido a la alta demanda de los sistemas de laser tag una gran compañía productora de juguetes llamada Worlds Of Wonder lanza al mercado su sistema de laser tag.

En la década siguiente, 1987-1997 aproximadamente, salen al mercado numerosas imitaciones de los sistemas de laser tag, todas con características

³ Ver el siguiente enlace para conocer en detalle sobre la historia de las empresas desarrolladoras de equipo para laser tag: <http://www.trutnee.com/index.php?page=381>

reducidas y calidades muy bajas, incluso se encuentran en el mercado sistemas que utilizan haces de luz blanca para hacer el impacto, lo que reduce su alcance y desmejora considerablemente las condiciones de juego, hecho que lleva a la bancarrota varias compañías productoras grandes, que aunque realizan muy buenos productos, no pueden competir con los precios bajos de las imitaciones.

Con el nuevo milenio y la masificación de los dispositivos electrónicos, llegan nuevos sistemas de laser tag, con características mejoradas que ofrecen mejores opciones de juego. Los nuevos sistemas son capaces de contabilizar el número de impactos que recibe cada jugador y también definen al ganador del juego automáticamente.

Nuevamente en el año 2003 una nueva compañía llamada Shoot The Moon reinventa el estilo del laser tag como juego de estrategia, ganando terreno en el área de los deportes de aventura y los pasatiempos.

Después del año 2005 aparecen compañías como Battle Field Sports, Sci-ARMS Ltda., British Meno Electronics, entre otras, que comenzaron a desarrollar sistemas de laser tag usando tecnología de punta. Estos sistemas cuentan con microprocesadores muy potentes, sistemas de comunicación inalámbrica de alcance medio, y protocolos de comunicación infrarroja de alta potencia y alta fidelidad en la transferencia de datos.



Figura 3. Jugador usando el equipo de laser tag de la compañía Battle Field Sports.
Tomada de: <http://www.trutnee.com/index.php?page=381>

5.1.3. EL MICRO-PROCESADOR Y LA EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS LASER TAG

El desarrollo tecnológico por el que pasaron los sistemas de laser tag está estrechamente relacionado con la evolución de la electrónica digital, la masificación de los circuitos integrados y la reducción de costos en la fabricación de los mismos.

De ésta forma se distinguen tres etapas de desarrollo en los sistemas de laser tag: los sistemas de la primera etapa contienen circuitos muy simples y ninguna opción de juego; de este tipo eran los que se produjeron en el año 1980.

En la segunda etapa se encuentran los sistemas que contaban con circuitos integrados un poco más complejos, como contadores y memorias, que permitían llevar el puntaje de los diferentes jugadores. Aunque el circuito integrado fue desarrollado en el año 1960, en los laboratorios de Texas Instruments⁴, fue solo hasta 1986 que estos dispositivos se encontraron al alcance de los diseñadores de juguetes que fabricaban los sistemas de laser tag.

La tercera etapa de desarrollo de los sistemas de laser tag se da a comienzos del año 1999. Ésta generación se caracteriza por utilizar micro-procesadores y sistemas de comunicación inalámbrica, factores que aumentan significativamente el realismo del juego.

Actualmente el costo de los dispositivos electrónicos sigue bajando mientras sus características técnicas mejoran. Por este motivo se sabe que los sistemas de juego, y por supuesto el lasertag, no se detendrán en su evolución tecnológica.

5.1.4. DESARROLLO Y USO EN COLOMBIA

En Colombia existen un número importante de empresas dedicadas a la producción de juguetes y juegos didácticos. Dentro de éstas algunas de las más importantes son: Ronda S.A., Fabrica Nacional de Juguetes, Rumbatex de Colombia, Muñecol y Tecnoalmbre S.A.

⁴Ver la historia del circuito integrado en:
http://nobelprize.org/educational/physics/integrated_circuit/history/index.html

De estas empresas, la mayoría fabrica juegos de mesa y juguetes en plástico inyectado, también fabrican muñecos y juegos didácticos que ayudan en la educación básica de los niños.

No existe registro alguno de que en Colombia se haya producido o se produzca actualmente equipo de laser tag. Tampoco hay registros, en internet, de alguna empresa que se dedique a importar este equipo.

En cuanto al uso de los sistemas de laser tag; en Colombia solo existe una arena de juego que está ubicada al norte de Bogotá⁵. Este lugar cuenta con equipo fabricado en Australia por la compañía P&C Micro.

5.2. REFERENTE TEÓRICO

5.2.1. COMUNICACIÓN INFRARROJA

Para comenzar a hablar sobre la comunicación infrarroja es importante conocer primero la naturaleza de la luz infrarroja.

5.2.1.1. LUZ INFRARROJA

Se le llama luz infrarroja a las ondas electromagnéticas cuya longitud de onda es mayor a la del color rojo (longitud de onda de 750 nm) y menor a las microondas (longitud de onda de 1mm). Debido a que el color rojo es la onda electromagnética con longitud de onda más grande que es perceptible por el ojo humano, la luz infrarroja es invisible.

⁵ Para conocer la página oficial del sitio visitar: <http://www.lasershots.com/locator.htm>

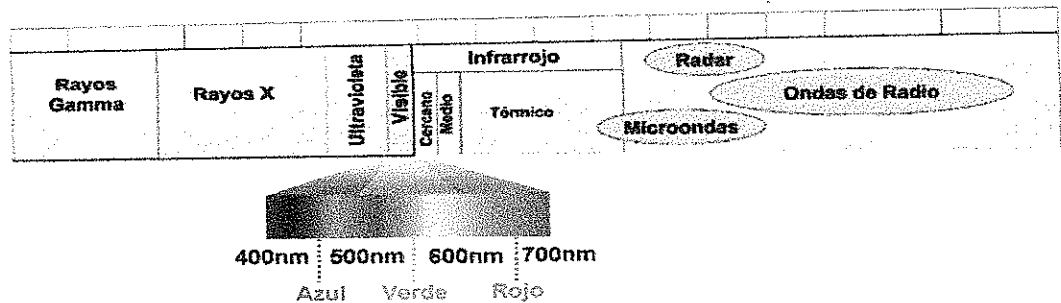


Figura 4. El espectro electromagnético

Tomada de: <http://cs-fs-primer0.blogspot.com/2011/04/espectro-electromagnetico.html>

La luz infrarroja se conoce también como radiación térmica. Todo cuerpo que posee una temperatura por encima del cero absoluto emite radiación infrarroja. Dentro de las fuentes de radiación infrarroja más comunes se encuentran: la luz solar, los bombillos comunes, las lámparas fluorescentes, los dispositivos generadores de calor e incluso el cuerpo humano, lo que se ilustra en la figura siguiente.

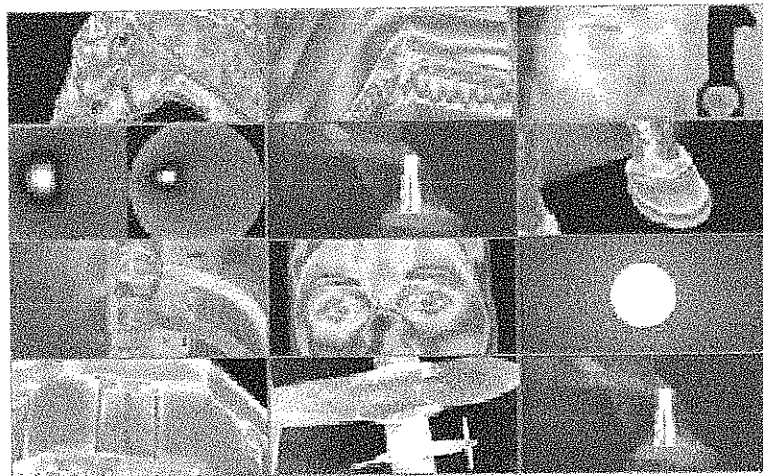


Figura 5. Diferentes fuentes de radiación infrarroja.

Tomada de: <http://universo.iaa.es/php/1029-radiacion-infrarroja.htm>

Por lo tanto, para poder realizar una comunicación entre dispositivos, utilizando la banda infrarroja del espectro electromagnético, es necesario utilizar técnicas que permitan al receptor diferenciar el mensaje, codificado en luz infrarroja, de la radiación producida por alguna de las fuentes mencionadas anteriormente.

5.2.1.2. MODULACIÓN DE LA LUZ INFRARROJA

Generalmente la señal infrarroja es modulada a una frecuencia que va desde los 35KHz hasta los 45KHz dependiendo del protocolo usado. Existen dispositivos receptores de infrarrojos diseñados específicamente para cada frecuencia, de forma que una señal modulada a 38KHz puede ser de-modulada únicamente por un dispositivo diseñado para trabajar con dicha frecuencia.

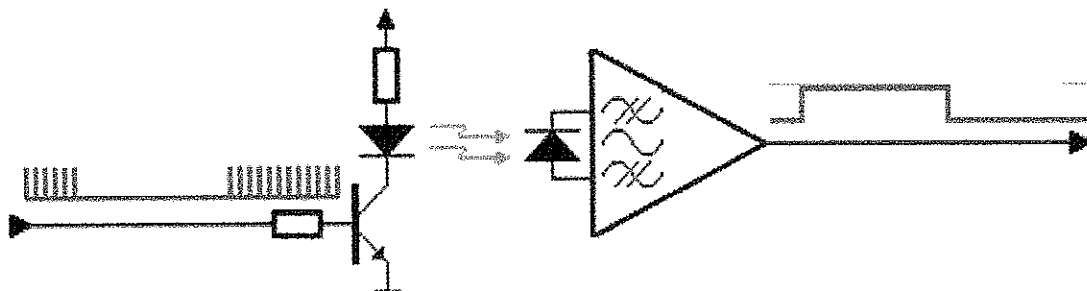


Figura 6. Envío y recepción de una señal infrarroja modulada.
Tomada de: <http://www.sbprojects.com/knowledge/ir/index.php>

En la figura 6 se ve el transmisor que consta de un circuito con un transistor, que tiene la capacidad de cambiar o conmutar su estado de conductividad a la frecuencia requerida, y de un LED que emite la señal infrarroja modulada.

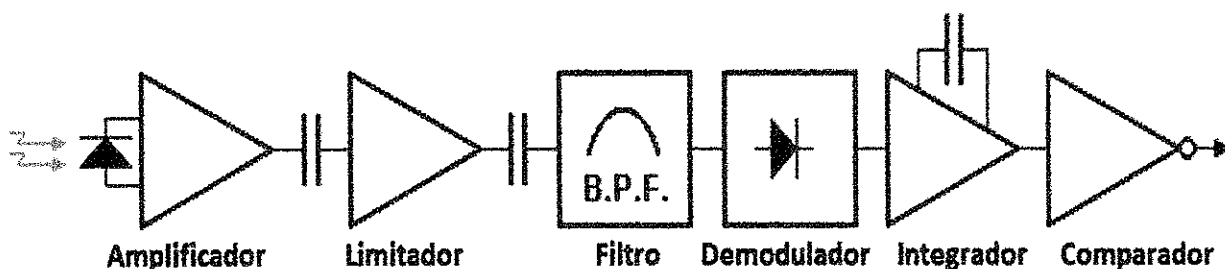


Figura 7. Receptor de señales Infrarrojas.
Tomada de: <http://www.sbprojects.com/knowledge/ir/index.php>

Por otro lado, es en el receptor donde en realidad se realiza el filtrado de la señal de forma que a la salida del mismo se obtenga el dato que fue enviado por el dispositivo digital antes de haber pasado por el transmisor.

5.2.1.3. ASOCIACIÓN DE DATOS INFRARROJOS IrDA

La IrDA fue creada en 1993 con el propósito de alentar el desarrollo de diseños de enlaces infrarrojos inter-operativos. Básicamente fue un grupo de desarrolladores que crearon un estándar para la transmisión de datos mediante ondas livianas infrarrojas, sus principales características se ven en la tabla 1.

Tabla 1. Características definidas por la IrDA para los envíos infrarrojos.
Tomada de: <http://www.irda.org/>.

Característica	IrDA
Velocidad máxima de transmisión	16 Mbps
Distancia efectiva	0 a 1 metro
Costo	Muy económica
¿Atraviesa paredes?	No
¿Requiere línea de vista?	Si
Seguridad	Muy alta
Interferencias con RF	No
Banda regulada	No, pero limitada físicamente
Estándares propietarios	No

La IrDA también define un protocolo con el que es posible establecer redes de área local (LAN), aunque su uso no se ha extendido. Las redes de acceso local IrDA permiten comunicación con un punto de conexión, entre pares de estaciones y con otras estaciones por medio de un host al cual todas las estaciones de la red tienen acceso.

IrDA desarrolló la pila de protocolos IrDA 1-X para conexiones ópticas, punto a punto, half-duplex, de bajo costo y corto alcance. El objetivo de los enlaces IrDA 1-X es reemplazar los cables entre dispositivos como computadoras portátiles, PDAs, cámaras y celulares. Una enorme cantidad de dispositivos que cuentan con puertos IrDA 1-X, se producen al año y por ésta razón la tecnología ha alcanzado un gran crecimiento en un poco tiempo.

La pila de protocolos de IrDA cuenta con tres capas: la capa física o IrPHY (IrDA Physical Layer), la capa de enlace o IrLAP y la capa de manejo de enlace o IrMP (IrDA link management layer). La especificación de cada capa define las características más importantes para que los dispositivos puedan llevar a cabo la comunicación.

5.2.1.4. CONTROL REMOTO INFRARROJO IRRC

El control remoto infrarrojo o también conocido como infrarrojo de consumidor es un dispositivo electrónico utilizado para controlar una gran variedad de electrodomésticos a distancia, esto para evitar el uso de cables. Los controles remotos realizan una comunicación simplex, es decir que únicamente envían datos, y no se encuentran en capacidad de recibirlos.

El infrarrojo de consumidor cuanta con una tasa de transferencia de datos muy baja a comparación de IrDA. Aunque supera a la anterior en alcance por varios metros. Una comparación entre ambas tecnologías se puede ver en la tabla 2.

Tabla 2. Comparación entre las tecnologías de envío infrarrojo IrDA y CIR. Tomada de: Autor.

Característica	Infrarrojo de consumidor	IrDA
Velocidad máxima de transmisión	2 Mbps	16 Mbps
Distancia efectiva	Hasta 20 metros (en ambientes interiores)	De 0 a 1 metro
¿Requiere línea de vista?	si	si
Estándares propietarios	no	No
Asociación reguladora	Ninguna	IrDA (infrared data association)

Existe una gran cantidad de protocolos para el envío de datos infrarrojos, los protocolos de consumidor son usualmente elaborados por los fabricantes de electrodomésticos motivo por el cual existen tantos protocolos como marcas. Sin embargo existen algunos protocolos que empezaron a ser adoptados por más de un fabricante y por tal motivo se han masificado, ganando importancia en el ámbito de los infrarrojos de consumidor.

Los protocolos de comunicación infrarroja de consumidor más utilizados son el NEC, usado por fabricantes como SHARP, TOSHIBA y DAEWOO y el RC-5 usado por muchos otros. Existe el caso de fabricantes como SONY que posee un código único, sin modificaciones y que no utiliza ningún otro fabricante.

Las técnicas de codificación utilizadas por algunos de los fabricantes mencionados y el entramado de datos se pueden ver a continuación.

En el protocolo PHILLIPS RC-5 la codificación de los símbolos es de tipo Manchester (modulación bifase). Como se ve en la figura 8, cada símbolo tiene una duración de 1.77 milisegundos. El cero lógico se conforma por 889 microsegundos de envío de pulsos y 889 microsegundos más de silencio. El uno lógico tiene la misma duración solo que en este último se envía primero el silencio y después los pulsos.

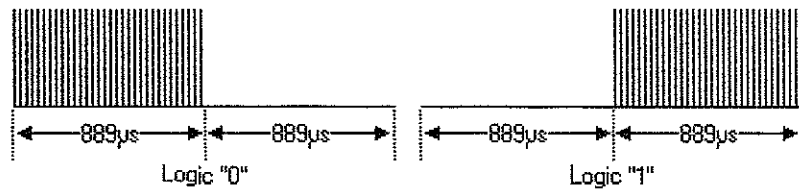


Figura 8. Símbolos lógicos del protocolo Phillips RC-5.
Tomada de: <http://www.sbprojects.com/knowledge/ir/index.php>

En la figura 9, se ve la trama del protocolo RC-5. El inicio de trama se conforma de dos bits que equivalen a unos "1's" lógicos, más un bit que indica se una tecla se ha presionado repetidas veces, todo esto seguido por 5 bits de dirección de dispositivo y 5 más de comando. El envío siempre comienza por el bit más significativo.

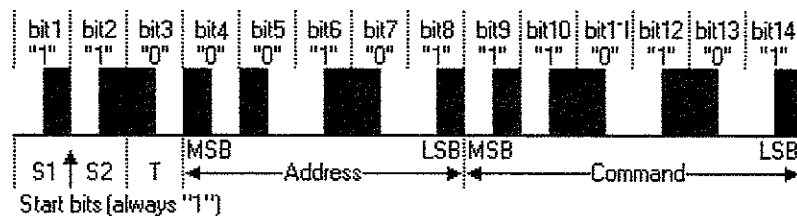


Figura 9. Organización del paquete de datos del protocolo Phillips RC-5.
Tomada de: <http://www.sbprojects.com/knowledge/ir/index.php>

En el protocolo creado por la compañía SONY, la codificación de los símbolos es de tipo PWM (modulación por ancho de pulso). Como se puede ver en la figura 10, un uno lógico consta de un envío de pulsos por 1.2 milisegundos seguido de un silencio de 600 microsegundos, mientras que el cero lógico consta de un envío de pulsos de 600 microsegundos seguido de un silencio del mismo periodo de tiempo.

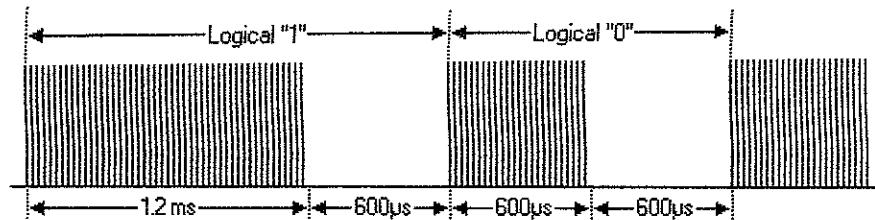


Figura 10. Figura 8. Símbolos lógicos del protocolo de SONY.
Tomada de: <http://www.sbprojects.com/knowledge/ir/index.php>

La trama de datos elaborada para el protocolo de consumidor infrarrojo SONY se muestra en la figura 11. Comienza con un bit de inicio de trama que tiene una duración de 2.4 milisegundos. Seguido por 7 bits de comando y 5 más de dirección de dispositivo. El protocolo SONY envía primero el bit más significativo.

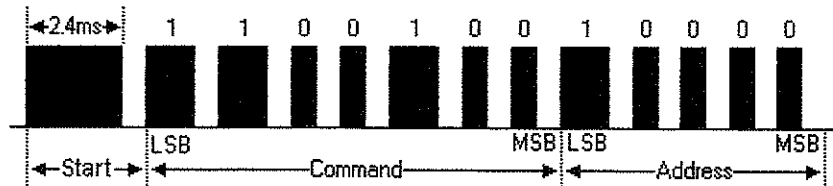


Figura 11. Organización del paquete de datos del protocolo de SONY.
Tomada de: <http://www.sbprojects.com/knowledge/ir/index.php>

5.2.2. COMUNICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA

5.2.2.1. EL ESPECTRO DE RADIOFRECUENCIA

El término radiofrecuencia, también denominado espectro de radiofrecuencia o RF, se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre unos 3 kHz y unos 300 GHz. El hercio es la unidad de medida de la frecuencia de las ondas, y corresponde a un ciclo por segundo⁶.

⁶L. Boylestad, Robert Análisis Introductorio de Circuitos 8ª Edición Editorial Trillas, México. 1998.

Tabla 3. Lista de los nombre y clasificación del espectro radioeléctrico.
 Tomada de: http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_electromagn%C3%A9tico.

Nombre	Frecuencias	Longitud de onda
	< 3 Hz	> 100.000 km
Frecuencia extremadamente baja	3-30 Hz	100.000–10.000 km
Super baja frecuencia	30-300 Hz	10.000–1.000 km
Ultra baja frecuencia Ultra	300–3.000 Hz	1.000–100 km
Muy baja frecuencia	3–30 kHz	100–10 km
Baja frecuencia	30–300 kHz	10–1 km
Media frecuencia	300–3.000 kHz	1 km – 100 m
Alta frecuencia	3–30 MHz	100–10 m
Muy alta frecuencia	30–300 MHz	10–1 m
Ultra alta frecuencia	300–3.000 MHz	1 m – 100 mm
Super alta frecuencia	3-30 GHz	100–10 mm
Frecuencia extremadamente alta	30-300 GHz	10–1 mm
	> 300 GHz	< 1 mm

Las bases teóricas de la propagación de ondas electromagnéticas fueron descritas por primera vez por James Clerk Maxwell. Entre los años 1886 y 1888 Heinrich Rudolf Hertz comprobó de manera práctica las teorías descritas por Maxwell. No fue sino hasta el año 1901 que Marconi consiguió la primera comunicación transatlántica basándose en las teorías y experimentos de Maxwell y Hertz.

5.2.2.2. ENVÍO Y RECEPCIÓN DE DATOS

Para realizar una comunicación por radio frecuencia se requiere un circuito que sea capaz de mezclar la señal portadora con la señal a transmitir, proceso que se conoce como modulación. La señal portadora define la frecuencia en la que se hará la transmisión. Después, la señal modulada, mezcla entre la portadora y la moduladora, se amplifica para luego ser irradiada al espacio libre por medio de una antena transmisora.

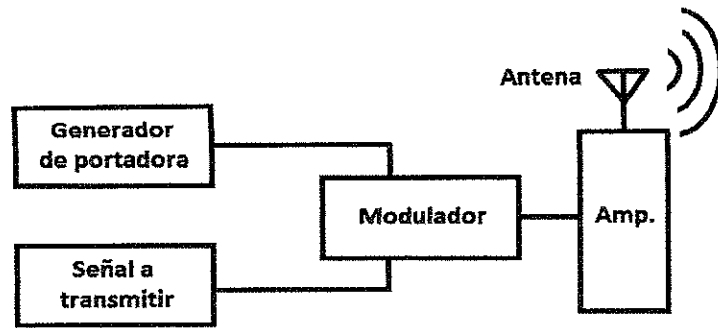


Figura 12. Diagrama de bloques de un transmisor RF.
Tomada de: Autor.

En la recepción de la señal de radio frecuencia se hace un proceso inverso al de transmisión. La antena recibe la señal y el bloque de sintonización evita que la antena sea receptiva para frecuencias portadoras diferentes a la que se espera recibir. El demodulador es un filtro que está diseñado para evitar el paso de la señal portadora únicamente. Por último la señal recibida se amplifica, obteniendo así una señal idéntica a la que pasó por el proceso de transmisión.

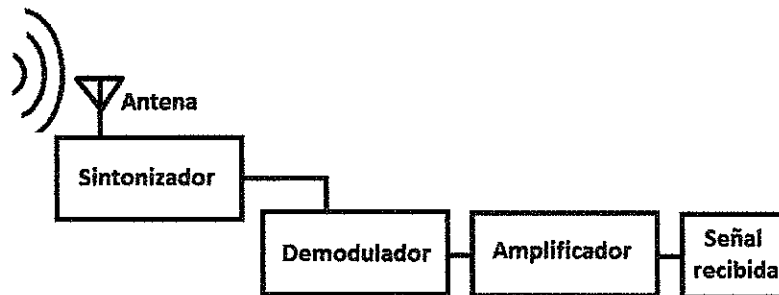


Figura 13. Diagrama de bloques de un receptor RF.
Tomada de: Autor.

5.2.2.3. EL BLUETOOTH

Bluetooth es una especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPANs) que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM de los 2,4 GHz. Los principales objetivos que se pretenden conseguir con esta norma son:

- Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos.

- Eliminar cables y conectores entre estos.
- Ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre equipos personales.

Los dispositivos que con mayor frecuencia utilizan esta tecnología pertenecen a sectores de las telecomunicaciones y la informática personal, como PDA, teléfonos móviles, computadores portátiles, impresoras y cámaras digitales.

El hardware que compone el dispositivo Bluetooth está compuesto por dos partes. Un dispositivo de radio, encargado de modular y transmitir la señal y un controlador digital, compuesto por una CPU, por un procesador de señales digitales o DSP llamado Link Controller o controlador de Enlace y de las interfaces con el dispositivo anfitrión.

El LC o controlador de enlace está encargado de hacer el procesamiento de la banda base y del manejo de los protocolos de capa física. Además, se encarga de las funciones de transferencia, codificación de audio y cifrado de datos.

La CPU del dispositivo se encarga de atender las instrucciones relacionadas con Bluetooth del dispositivo anfitrión, para así simplificar su operación. Para ello, sobre el CPU corre un software denominado gestión de enlace (Link Manager) que tiene la función de comunicarse con otros dispositivos.

Entre las tareas realizadas por el controlador de enlace y gestión de enlace, destacan: envío y recepción de datos, peticiones, determinación de conexiones, autenticación, negociación y determinación de tipos de enlace, determinación del tipo de cuerpo de cada paquete y ubicación del dispositivo en modo sniff o hold (ambos, sniff y hold son modos de ahorro de energía de una piconet).

5.2.2.4. ZIG BEE

ZigBee es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radiodifusión digital de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (WPAN). Su objetivo son las aplicaciones que requieren

comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías.

En principio, el ámbito donde se prevé que esta tecnología cobre más fuerza es en domótica, como puede verse en los documentos de la ZigBee Alliance⁷. El motivo es que ZigBee cuenta con características como, su bajo consumo de energía, su facilidad para crear topologías en malla o estrella y su simplicidad a la hora de montar un nodo, pues requieren de mínimos aditamentos electrónicos.

Además los protocolos ZigBee están definidos para su uso en aplicaciones con requerimientos muy bajos de transmisión de datos y consumo energético. Se pretende su uso también en aplicaciones de propósito general con bajo costo. Puede utilizarse para realizar control industrial, albergar sensores empotrados, recolectar datos médicos, ejercer labores de detección de humo o intrusos en domótica. La red en su conjunto utilizará una cantidad muy pequeña de energía de forma que cada dispositivo individual pueda tener una autonomía de hasta 5 años antes de necesitar que se le reemplacen las baterías.

Existen tres tipos distintos de dispositivo ZigBee según su papel en la red:

- **Coordinador ZigBee:** El tipo de dispositivo más completo. Debe existir uno por red. Sus funciones son las de encargarse de controlar la red y los caminos que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos.
- **Router ZigBee:** Interconecta dispositivos separados en la topología de la red, además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario.
- **Dispositivo final:** Posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un router), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos

⁷Ver toda la información sobre ZigBee en la página oficial de la alianza: <http://www.zigbee.org/>

5.2.3. SISTEMAS MICRO-CONTROLADOS

El micro-controlador es un circuito integrado que en su interior posee todas las unidades funcionales de un computador. Estas son: unidad de procesamiento, memoria y periféricos de entrada y de salida.

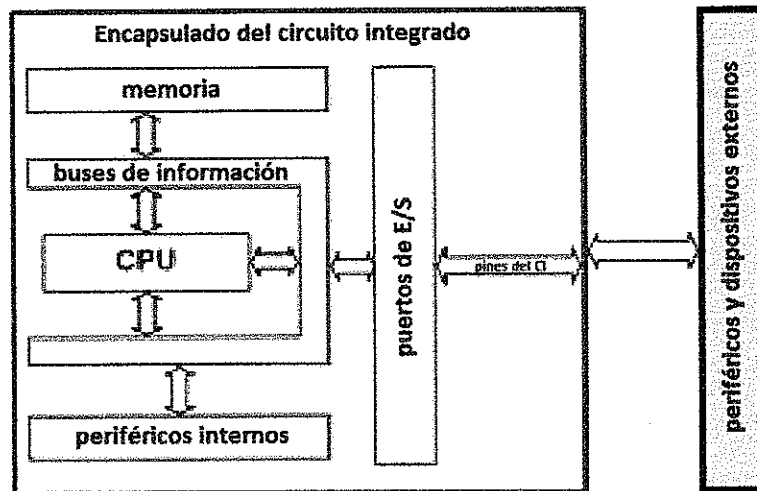


Figura 14. Diagrama de bloques de un micro-controlador.

Tomada de: http://www.ucontrol.com.ar/wiki/index.php?title=El_microcontrolador

La función del microcontrolador es efectuar el control de uno o varios procesos. Dentro de sus características principales se encuentran: el bajo consumo de energía, el bajo costo económico y su alta eficiencia además del alto nivel de integración. Usualmente los microcontroladores se utilizan para aplicaciones específicas en las que se hacen cargo del control de procesos. Por ejemplo, una impresora posee un micro-controlador cuya función es recibir la información de impresión, activar los actuadores de forma que el proceso se lleve a cabo y reportar de vuelta al PC el estado de la impresión.

5.2.3.1. MICROCONTROLADORES PIC

Los PIC son una familia de microcontroladores tipo RISC fabricados por Microchip Technology Inc. originalmente desarrollado por la división de microelectrónica de General Instrument.

El PIC original se diseñó para ser usado con la nueva CPU de 16 bits CP16000. Siendo en general una buena CPU, ésta tenía malas prestaciones de E/S, así que el PIC de 8 bits se desarrolló en 1975 para mejorar el rendimiento del sistema quitando peso de E/S a la CPU. El PIC utilizaba micro código simple almacenado en ROM para realizar estas tareas; y aunque el término no se usaba por aquel entonces, se trata de un diseño RISC que ejecuta una instrucción cada 4 ciclos del oscilador.

La arquitectura del PIC es sumamente reducida y simple. Está caracterizada por las siguientes prestaciones:

- Área de código y de datos separadas (Arquitectura Harvard).
- Un reducido número de instrucciones de largo fijo.
- La mayoría de las instrucciones se ejecutan en un solo ciclo de ejecución (4 ciclos de clock), con ciclos de único retraso en las bifurcaciones y saltos.
- Un solo acumulador (W), cuyo uso (como operador de origen) es implícito (no está especificado en la instrucción).
- Todas las posiciones de la RAM funcionan como registros de origen y/o de destino de operaciones matemáticas y otras funciones.
- Una pila de hardware para almacenar instrucciones de regreso de funciones.
- Una relativamente pequeña cantidad de espacio de datos que se puede direccionar, típicamente, 256 bytes.

Los microcontroladores PIC tienen una serie de registros que funcionan como una RAM de propósito general. Los registros de propósito específico para los recursos de hardware disponibles dentro del propio chip también están direccionados en la RAM. La capacidad de direccionar la memoria varía dependiendo de la línea de dispositivos.

El tamaño de palabra de los microcontroladores PIC es de 14 bits. Todos los PICs (excepto los dsPIC) manejan datos en trozos de 8 bits, con lo que se deberían llamar microcontroladores de 8 bits. Pero a diferencia de la mayoría de CPUs, el

PIC usa arquitectura Harvard, por lo que el tamaño de las instrucciones puede ser distinto al de la palabra de datos. De hecho, las diferentes familias de PICs usan tamaños de instrucción distintos, lo que hace difícil comparar el tamaño del código del PIC con el de otros microcontroladores. Por ejemplo, un microcontrolador tiene 6144 bytes de memoria de programa: para un PIC de 12 bits esto significa 4096 palabras y para uno de 16 bits, 3072 palabras.

5.2.3.2. EL PIC16F628A

Los microcontroladores PIC16F628A⁸ han sido construidos con características tales que se pueden configurar para funcionar en modos de operación que no necesitan componentes externos como el circuito de reloj o de reset. Esto implica que es necesario establecer su modo de operación a través de una palabra de configuración.

La palabra de configuración se encuentra mapeada en la dirección 2007h de la memoria de programa y solo puede ser accedida durante la programación del dispositivo. Los bits de configuración se muestran en la figura 15 y su función es la que se explica debajo.

13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
CP1	CP0	CP1	CP0	-	CPD	LVP	BODEN	MCLRRE	FOSC2	PWRTE	WDTRE	FOSC1	FOSCO

Figura 15. Palabra de configuración del PIC16F628A.
Tomada de: Hoja de datos PIC16F628A.

- **CP1:CP0:Bits de protección de código**
Los bits 13-10 están encargados de proteger la memoria de programa
- **CPD: Bit de protección para código de datos**
1 = Protección deshabilitada de la memoria de datos.
0 = Protección habilitada en la memoria de datos.
- **LVP: Habilitación de la programación por voltaje bajo**
1 = LVP habilitado, la terminal RB4/PGM tiene tal función.
0 = LCP: deshabilitado, RB4/PGM es una terminal I/O.
- **BODEN: Bit de reset por voltaje de alimentación bajo**

⁸Las características de este dispositivo que fueron relevantes al momento de seleccionarlo se pueden ver en la sección 7.3.1 de este libro.

- 1 = Reset por BOD habilitado
- 0 = Reset por BOD deshabilitado
- **MCLR: Habilitación del terminal de reset**
 - 1 = Terminal de reset en RA5.
 - 0 = MCLR conectado internamente a Vdd, RA5 es un pin I/O.
- **PWRTEN : Bit de habilitación de temporizador al energizar**
 - = PWRT habilitado.
 - 0 = PWRT deshabilitado.
- **WDTEN: Bits de habilitación de Watch-Dog**
 - 1 = WDT habilitado
 - 0 = WDT deshabilitado.
- **FOSC2:FOSC1:FOSC0: Bits de selección del tipo de oscilador**
 - 000 = LP, oscilador de bajo poder.
 - 001 = XT, oscilador con cristal de cuarzo.
 - 010 = HS, oscilador con cristal de alta velocidad
 - 011 = oscilador Externo.
 - 100 = oscilador Interno.
 - 101 = interno con salida de reloj.
 - 110 = oscilador por circuito RC.
 - 111 = oscilador RC con salida de reloj.

Además de los modos de operación que se derivan de la configuración de los fusibles del microcontrolador, este también cuenta con varios módulos que facilitan las tareas del programador.

5.2.3.3. MÓDULO UART

El módulo UART⁹ también se conoce como interface de comunicación serial o SCI por sus siglas en inglés. Ésta puede ser configurada para trabajar como interface asíncrona full dúplex o como síncrona semi-dúplex.

El bit SPEN, número 7 del registro RCSTA, y los bits TRIS se deben poner en uno "1" para configurar los pines de envío y recepción serial del microcontrolador. Hay dos registros ligados directamente a la configuración y control del módulo UART estos son:

⁹Ver el documento completo sobre funcionamiento del módulo UART en la sección de ANEXOS.

- El registro TXSTA (98h), mostrado en la figura 16.

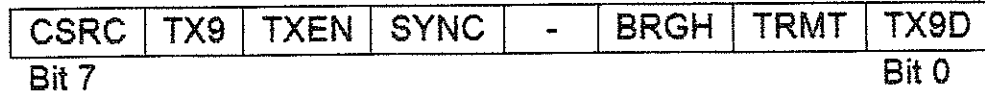


Figura 16. Registro de estado de transmisión del módulo UART de PIC.
Tomada de: Hoja de datos PIC16F628A.

El uso de cada uno de los bits del registro TXSTA o estado de transmisión son:

- Bit 6: TX9: Bit de habilitación de la transmisión de 9 bits.
 - o 0: Transmisión de 8 bits.
 - o 1: Transmisión de 9 bits.
 - Bit 5: TXEN: Bit de habilitación de la transmisión.
 - o 0: Transmisión deshabilitada.
 - o 1: Transmisión habilitada.
 - Bit 4: SYNC: Bit de selección del modo de funcionamiento.
 - o 0: Transmisión asíncrona.
 - o 1: Transmisión sincrónica.
 - Bit 2: BRGH: Bit de selección de alto valor de baudios.
 - o 0: Baja velocidad.
 - o 1: Alta velocidad.
 - o No se usa en transmisión sincrónica.
 - Bit 1: TMRT: Bit de estado del registro TSR.
 - o 0: TSR lleno.
 - o 1: TSR vacío.
 - Bit 0: TX9D: 9º bit del dato transmitido. Puede ser también el bit de paridad.
- Registro RCSTA (18h), mostrado en la figura 17.

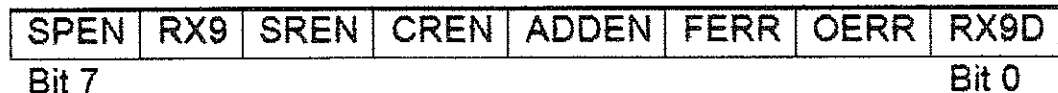


Figura 17. Registro de estado de recepción del módulo UART de PIC.
Tomada de: Hoja de datos PIC16F628A.

El uso de cada uno de los bits del registro RCSTA o estado de recepción son:

- Bit 7: SPEN: Bit de habilitación del puerto serie.
 - o 0: Deshabilitado.
 - o 1: Habilitado.
- Bit 6: RX9: Bit de habilitación de la recepción de 9 bits.
 - o 0: Recepción de 8 bits.
 - o 1: Recepción de 9 bits.
- Bit 4: CREN: Bit de habilitación de la transmisión.
 - o 0: Deshabilitada.
 - o 1: Habilitada.
 - o No se usa en transmisión sincrónica.
- Bit 4: SYNC: Bit de selección del modo de funcionamiento.
 - o 0: Transmisión asíncrona.
 - o 1: Transmisión sincrónica.
- Bit 3: ADDEN: Bit de habilitación de detección de dirección.
 - o 0: Deshabilitada.
 - o 1: Habilitada.
 - o Sólo si RX9 = 1.
- Bit 2: FERR: Bit de error de framing.
 - o 0: No hubo error.
 - o 1: Sí hubo error.
 - o Se actualiza al leer RCREG.
- Bit 1: OERR: Bit de overrun.
 - o 0: No hubo error.
 - o 1: Sí hubo error.
 - o Bit 0: RX9D: 9º bit del dato transmitido.

La velocidad de comunicación serie se controla mediante el valor cargado en el registro SPBRG (99h). La expresión matemática que determina los baudios de la comunicación serie asíncrona es la siguiente:

$$\text{Baudios} = \frac{f_{osc}}{64 \cdot (SFBRG + 1)} \rightarrow BRGH = 0$$

$$\frac{f_{osc}}{16 \cdot (SFBRG + 1)} \rightarrow BRGH = 1$$

Figura 18. Ecuación para encontrar el valor del registro BRGH.
Tomada de: Hoja de datos PIC16F628A.

Los procesos de transmisión y recepción de datos se explican a continuación.

TRANSMISIÓN: Una vez configurada la velocidad de comunicación el proceso de envío se lleva a cabo al cargar el registro TXREG con un dato. En cuanto se haya enviado el bit de STOP, el contenido de TXREG pasa a TSR para ser enviado. El paso del contenido de TXREG a TSR se realiza en un ciclo de instrucción.

Cuando TXREG queda vacío, la bandera TXIF se pone a uno "1" (si TXEN = 1). TXIF sólo se borra escribiendo en TXREG. Del mismo modo, cuando TSR queda vacío, TRMT se pone a uno. TRMT no está ligado a ninguna interrupción. La transmisión no empieza hasta que TXREG haya sido cargado con un dato y se genere un reloj de los baudios deseados. Además debe estar habilitada la transmisión (TXEN = 1).

RECEPCIÓN: La recepción de datos queda habilitada poniendo el bit CREN, número 4 del registro RCSTA, a uno "1". En cuanto RSR haya recibido un bit de STOP, su contenido pasa a RCREG (si está vacío). Cuando se haya completado esta transferencia, la bandera RCIF se pone a uno "1". RCIF sólo se borra cuando se ha leído RCREG y queda vacío. El registro RCREG es una cola FIFO de dos posiciones, por eso puede haber dos datos en RCREG y estar recibándose un tercero en RSR. Si RSR recibe el bit de STOP de un tercer byte, el bit OERR se pone a uno "1" indicando que se acaba de perder un dato. El bit OERR se borra reiniciando la lógica de recepción (CREN = 0 y CREN = 1).

5.2.4. COMUNICACIÓN CON EL COMPUTADOR Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Los computadores son en general dispositivos de procesamiento de datos, en consecuencia, poseen periféricos para la entrada de datos, un procesador interno donde se operan los mismos y periféricos de salida mediante los cuales se presenta o entrega la información obtenida después del proceso. El teclado es un ejemplo de entrada de datos al igual que el monitor es el de salida.

Además de estos periféricos, el computador cuenta con puertos que cumplen ambas funciones, entrada y salida. Estos puertos manejan señales eléctricas

unicamente, su funcionamiento está regido por protocolos de comunicación. Un protocolo de comunicación especifica los niveles de tensión que maneja el puerto y el formato (manera en la que se organizan los datos que entran y salen) de la trama.

Los puertos de entrada y salida más comunes en un computador son los seriales ya sean COM (comunicación) o USB (bus serial universal).

Una vez se tiene la entrada de datos al computador es necesario que exista un programa que procese dichos datos, el programa debe establecer comunicación con el puerto y estar en la capacidad de “entender” los datos que ingresan. Una vez terminado el procesamiento de los mismos se debe establecer comunicación con el puerto de salida y enviar los datos según lo indique el protocolo de comunicación.

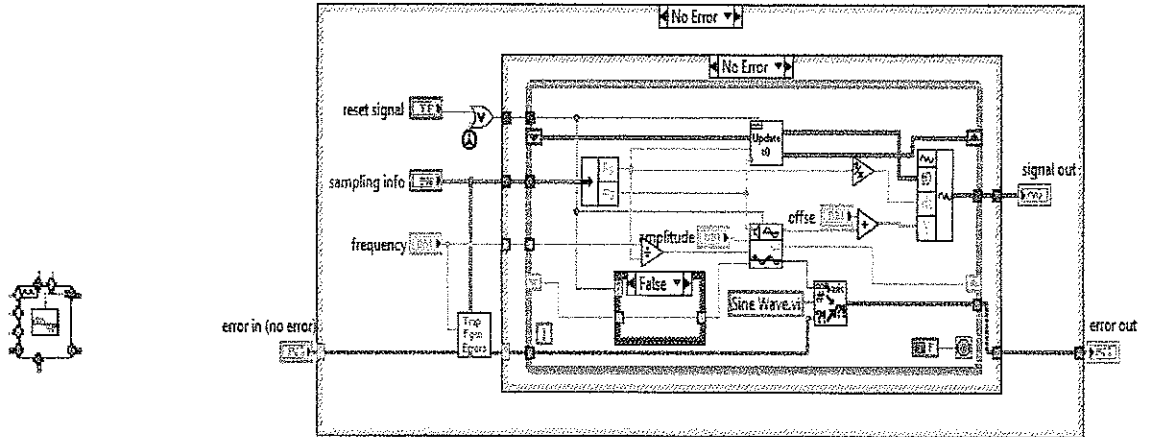
5.2.4.1. EL SOFTWARE LABVIEW®

LabVIEW® (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es un lenguaje de programación gráfica para el diseño de sistemas de adquisición de datos, instrumentación y control que permite diseñar interfaces de usuario usando íconos gráficos intuitivos y cables, de manera que se asemeja a diseñar un diagrama de flujo. LabVIEW® tiene la ventaja de que permite una fácil integración con hardware, específicamente con tarjetas de medición, adquisición y procesamiento de datos e incluso adquisición de imágenes.

LabVIEW® tiene gran poder de aplicación en sistemas de medición, monitoreo de procesos y control. Es también muy utilizado en procesamiento digital de señales, procesamiento en tiempo real de aplicaciones biomédicas, manipulación de imágenes y audio, automatización, diseño de filtros digitales, generación de señales, entre otras.

Otra de las ventajas de este software es su entorno gráfico, cuando se diseña con LabVIEW® se utilizan los denominados VI's o instrumentos virtuales. También es posible crear VI's a partir de especificaciones funcionales diseñadas por el usuario. Un VI puede utilizarse en cualquier otra aplicación como una sub-función dentro de un programa general. Los VI's se caracterizan por ser módulos cerrados con su respectivo ícono y su funcionalidad específica, además cuentan con una

interfaz de usuario. Cuentan también con entradas cuyo color identifica el tipo de dato que manejan.



instrumento virtual
generador de señal seno

sub-instrumentos del VI de generador de señal seno

Figura 19. Instrumento virtual de LabVIEW® y su esquema interno.
Tomada de: Panel de programación LabVIEW®.

En el entorno de trabajo de LabVIEW® existen dos paneles, el panel frontal y el panel de programación. En el panel frontal se diseña la interfaz de usuario y en el panel de programación se interconectan los elementos utilizados en panel frontal mediante operaciones matemáticas o lógicas y herramientas típicas de programación.

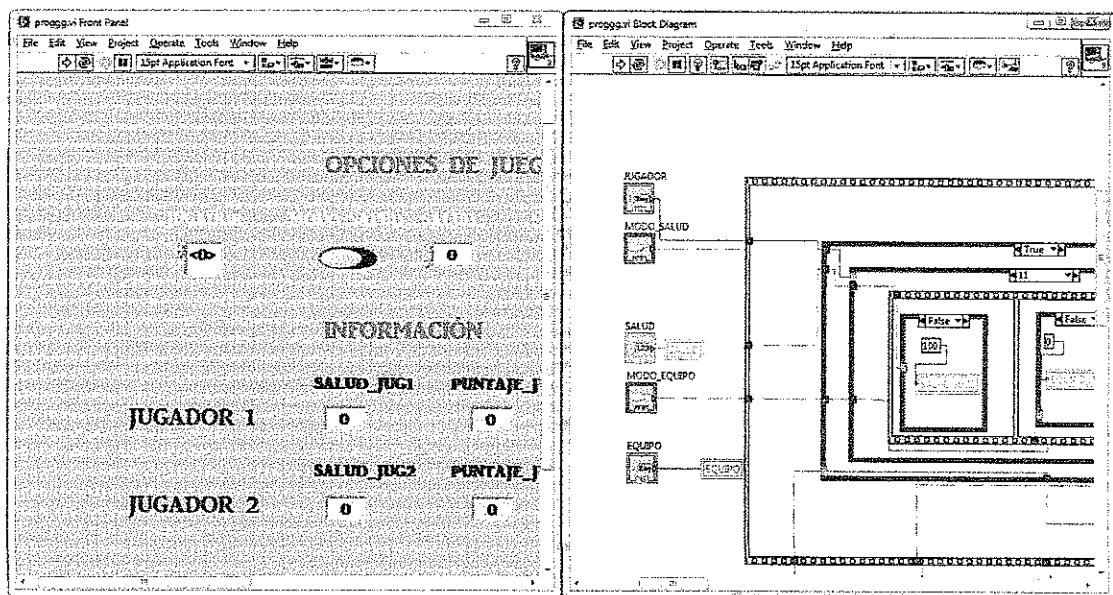


Figura 20. Vista del panel frontal y el panel de programación de LabVIEW®.
Tomada de: Autor utilizando LabVIEW®.

La programación gráfica se basa en la realización de operaciones mediante la asignación de iconos que representan los datos numéricos e iconos que representan los procedimientos que deben realizar los VI's. Al diseñar el programa de forma gráfica, se hace visible una programación orientada al flujo de datos, donde se tiene una interpretación de los datos también de forma gráfica.

El flujo de datos va de izquierda a derecha en el panel de programación y está determinado por las operaciones o funciones que procesan los datos. Es fácil observar en el panel de programación como se computan los datos en cada parte del programa cuando se realiza una ejecución del programa paso a paso.

En LabVIEW® las variables se representan mediante una figura tanto en el panel frontal como en el panel de programación, de esta forma se puede observar su respuesta en la interfaz de usuario y en el flujo de datos del código del programa. Otros objetos como gráficas y accesos directos a páginas web cumplen estas mismas condiciones.

Los controles pueden ser booleanos, numéricos, cadenas de caracteres (strings), un arreglo matricial de estos o una combinación de los anteriores. Los indicadores pueden ser como los controles y se pueden visualizar en tablas, gráficos en 2D o 3D, y otros.

6. METODOLOGÍA

Este proyecto se desarrolla siguiendo una metodología de tipo teórico-práctica. Esto permite que se utilicen los conocimientos obtenidos en el curso de la carrera, al igual que las bases teóricas encontradas en bibliografía especializada. El método utilizado es también de carácter propositivo debido a que con base a la teoría se formulan diseños que luego se llevan a la práctica para corregir y documentar su desempeño.

Dentro de las etapas del proyecto se pueden diferenciar 3 principales; estas son: la comunicación por infrarrojo entre dispositivos de juego, la comunicación inalámbrica por radiofrecuencia entre cada dispositivo de juego y el administrador, por último, la adquisición, procesamiento y visualización de los datos de juego en el computador administrador contando con una interfaz gráfica adecuada.

En cuanto a la comunicación mediante rayos infrarrojos, se revisó la bibliografía al respecto, se encontró que existen diferentes protocolos desarrollados por grandes empresas de electrodomésticos. Se encontró también que existen una amplia gama de dispositivos genéricos producidos para este fin. Se planteó el desarrollo de un protocolo diferente a los existentes para dar la mejor solución al problema de comunicación de los dispositivos de juego. Para ver el desarrollo completo y los criterios tenidos en cuenta.

Para lograr la comunicación inalámbrica entre cada dispositivo de juego y el computador administrador se hizo una breve consulta de los sistemas de radiofrecuencia. Estos debían cumplir con las condiciones adecuadas; entre ellas el costo económico, el bajo consumo de energía y la asequibilidad local. Una vez escogido el sistema de comunicación por radiofrecuencia, se hizo una investigación profunda de sus características y modo de funcionamiento, para finalmente incorporarlo al sistema.

De la misma manera se procedió con las partes restantes del proyecto que son: la comunicación y procesamiento de los datos en el computador administrador y el sistema micro-controlado que es el alma del sistema y al mismo tiempo acopla las partes mencionadas anteriormente.

7. PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS

El sistema de laser tag tiene dos tipos de dispositivo, el terminal de juego y el administrador de juego. En una sesión debe existir un único dispositivo administrador mientras que es posible que se encuentren interactuando dos o más terminales de juego.

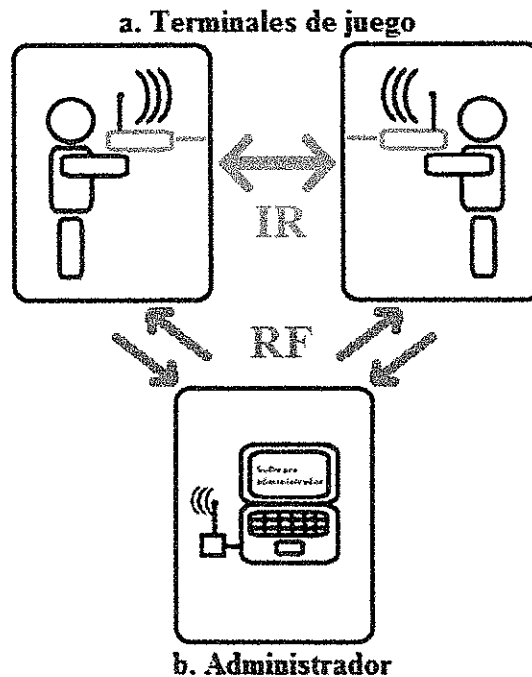


Figura 21. Visión general del sistema de laser tag.
Tomada de: Autor.

Los dispositivos de juego interactúan entre sí por medio de señales infrarrojas, el dispositivo terminal tiene forma de arma, al presionar el gatillo ésta emite una señal infrarroja (ver 7.1 COMUNICACIÓN INFRARROJA ENTRE DISPOSITIVOS DE JUEGO) el receptor infrarrojo se encuentra asociado directamente al arma mediante un cable de longitud tal que permite al usuario ubicarlo sobre una parte del cuerpo que puede ser el pecho, la cabeza u otra definida por los jugadores, sitio al que deberá apuntar y acertar el rival para sumar puntos.

El administrador de juego se comunica con los dispositivos terminales mediante radiofrecuencia. Y consta únicamente de un módulo de comunicación por radiofrecuencia (ver 7.2 COMUNICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA ENTRE DISPOSITIVOS DE JUEGO Y COMPUTADOR ADMINISTRADOR) y de un computador que corre el software administrador de juego (ver 7.4 DISEÑO DE LAS FUNCIONES DEL ADMINISTRADOR).

7.1. COMUNICACIÓN INFRARROJA ENTRE DISPOSITIVOS DE JUEGO

Como se vio en la sección 5.2.1.4 (CONTROL REMOTO INFRARROJO IRRC), existen diferentes protocolos para el envío de un dato mediante luz infrarroja. Incluso cabe la posibilidad de hacer el envío con tan solo un LED infrarrojo, un fotodiodo y el protocolo serial mediante el que se comunican los microcontroladores y los puertos COM de los computadores. Ésta fue la primera prueba que se hizo, el esquemático del circuito usado se puede ver en la figura 21.

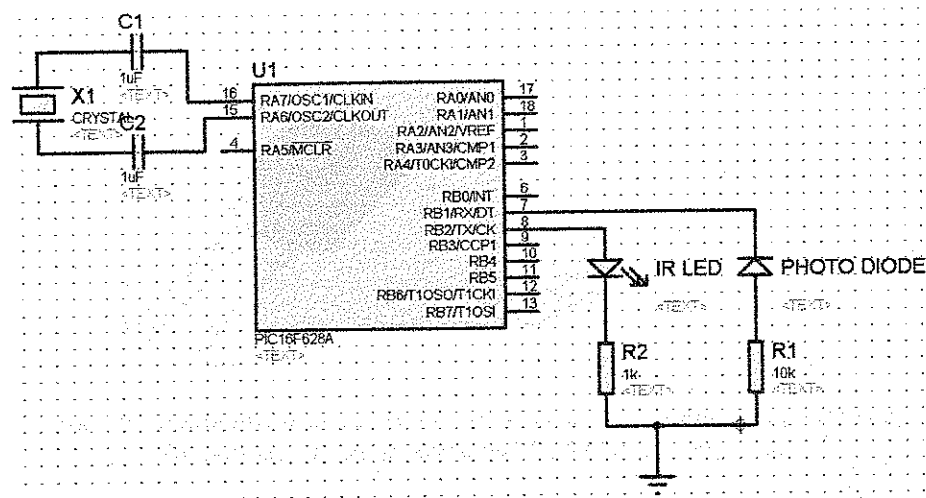


Figura 22. Esquema para envío y recepción IR con PIC.
Tomada de: Autor utilizando Módulo ISIS de PROTEUS®.

Este modelo se implementó en dos microcontroladores. Ambos se configuraron para transmisión y recepción asíncrona y con la misma tasa de transferencia (baudrate). El LED infrarrojo se conectó al terminal de transmisión serial del microcontrolador mientras el fotodiodo se conectó al terminal de recepción. Se realizó un programa de prueba en el que se envió un dato de manera serial desde el primer microcontrolador. El segundo micro, debía recibir el dato y permitir visualizarlo en un arreglo de LEDs conectados al puerto de salida del mismo.

La transmisión se realizó con éxito cuando los microcontroladores se encontraban a una distancia menor a 2 centímetros uno del otro, pero fallaba al aumentar la distancia. Por este motivo no se siguió adelante con el método recién explicado.

Al observar que el alcance del control remoto de un electrodoméstico común está entre 10m y 15m, bajo condiciones de luz de interior, se decidió consultar de forma

Un primer modelo del protocolo diseñado se basó en la codificación de los símbolos digitales (1 y 0) del protocolo Philips RC-5. Para ésta primera versión del protocolo un 1 "uno" lógico consiste en enviar un tren de pulsos a 40KHz durante 888 microsegundos y luego hacer un silencio (no se transmite) durante otros 888 microsegundos lo que da en total 1.776 milisegundos de duración para el envío del 1 lógico. El 0 "cero" lógico tiene la misma duración que el 1 lógico pero en éste se envía primero el silencio y después el tren de pulsos a 40KHz. Ver figura 23.

La trama para este protocolo se definió así: un bit para inicio de transmisión, conformado por un tren de pulsos a 40KHz con una duración de 1.2 milisegundos seguida por un silencio de 600 microsegundos. A continuación 2 bytes conformados por símbolos con las características mencionadas en el párrafo anterior, lo que en total resulta en una duración de la trama de 30.216 milisegundos. Se envía el bit más significativo primero y se continúa en este orden hasta llegar al menos significativo de cada byte. Ver figura 24.

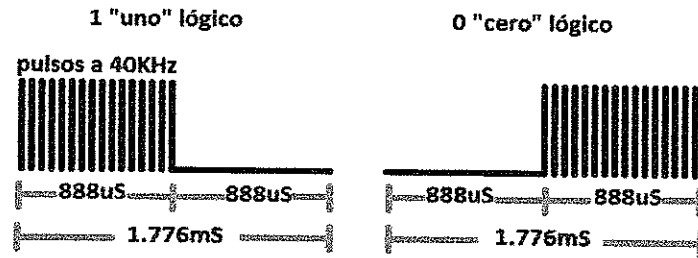


Figura 24. Símbolos del protocolo diseñado, primera versión.
Tomada de: Autor.

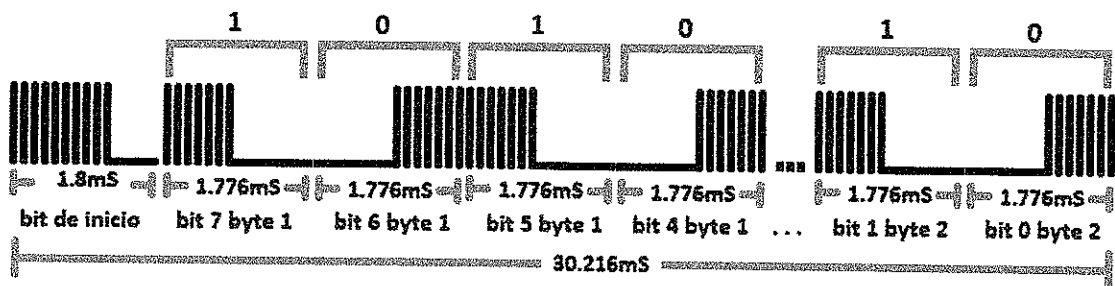


Figura 25. Organización de la trama de datos del protocolo diseñado, primera versión.
Tomada de: Autor.

Una vez concluido el diseño del protocolo, se implementó un programa para microcontrolador¹¹. Este programa podía codificar dos datos digitales de tamaño byte con las especificaciones del protocolo diseñado para ser enviado por el puerto de salida en donde se encontraba conectado el LED infrarrojo. En un segundo microcontrolador se implementó un programa para decodificar la trama enviada. La recepción del dato infrarrojo se hacía mediante el circuito integrado TSOP1740 cuya salida estaba conectada a un puerto de entrada del segundo microcontrolador.

Aunque la codificación del dato se hizo correctamente con este modelo de protocolo, la recepción del dato enviado no era correcta. El error se detectó al observar la señal entregada por el receptor TSOP1740 utilizando un osciloscopio. En la figura 25 se puede observar una señal de prueba que consiste en un tren de pulsos a 40KHz con una duración de 400 microsegundos seguidos por un silencio de 600 microsegundos. También se puede observar la respuesta del receptor a dicha señal.

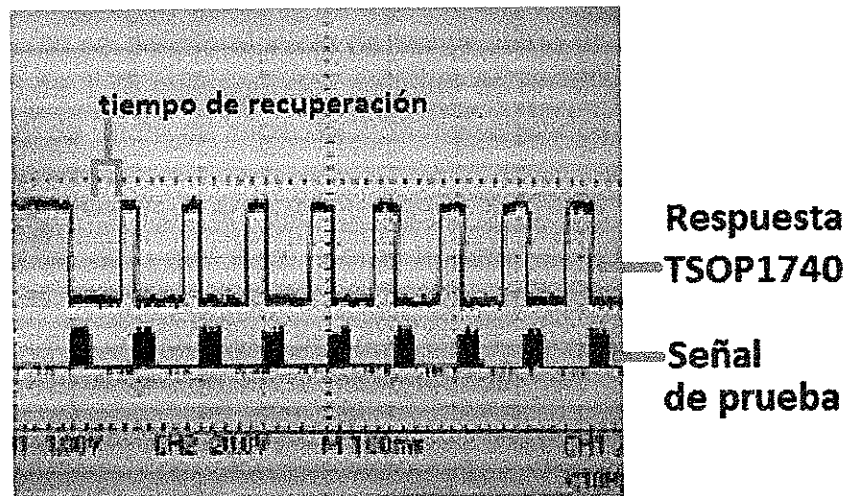


Figura 26. Señales de prueba y de respuesta del dispositivo TSOP1740.
Tomada de: Autor.

El error detectado fue causado por el tiempo de recuperación que se aprecia en la figura anterior. Ésta característica del dispositivo hizo que la utilización del

¹¹ Ver diagrama de flujo en la sección 7.3.2 o el código del programa en ensamblador en la sección de documentos anexos.

7.1.2. CONEXIÓN DE EMISOR Y RECEPTOR INFRARROJOS

El emisor es un LED infrarrojo TSAL6200 (Ver anexo H para conocer la hoja de datos de este elemento) cuya corriente de operación recomendada es de 100 miliamperios. Debido a que las salidas digitales del microcontrolador pueden proveer una corriente máxima de 25 miliamperios, se implementó un circuito de activación utilizando un opto-acoplador 4N35 (Ver anexo F para conocer la hoja de datos de este elemento) que puede ser activado para saturación con una corriente de 10 miliamperios y que soporta picos de corriente entre colector-emisor de hasta 3 amperios, si estos tienen una duración de 300 microsegundos o menos.

Los valores de los elementos del circuito se calcularon para que el opto-acoplador fuera puesto en saturación con una corriente de 15 miliamperios. Proporcionada por el microcontrolador, lo que provoca una corriente de 500 miliamperios de colector-emisor y que pasa a través del LED infrarrojo. Ésta cantidad de corriente destruiría el LED si fuese continua, pero esto no sucede por que circula a una frecuencia de 40 KHz. ver el circuito en la figura 27.

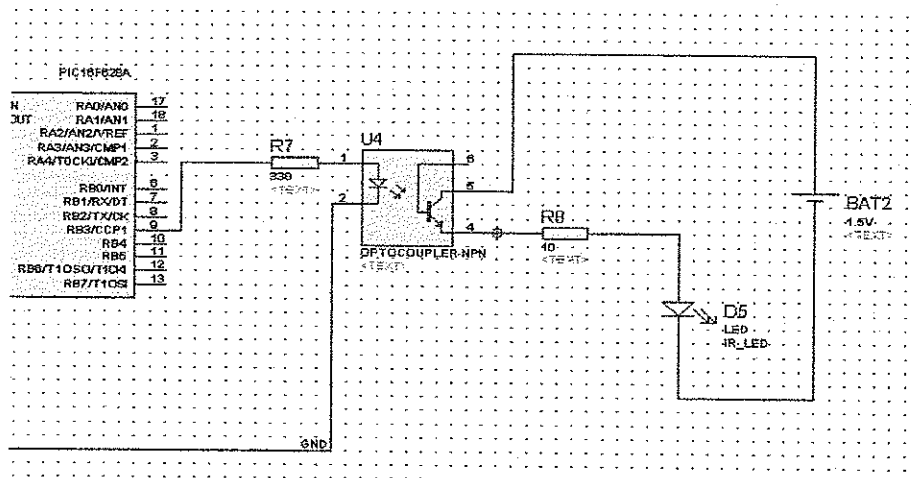


Figura 28. Diagrama de conexiones del emisor infrarrojo con el microcontrolador.
Tomada de: Autor.

El receptor infrarrojo es un circuito integrado TSOP1740 (Ver anexo E para conocer la hoja de datos de este elemento). Este receptor posee una salida de

estado activo bajo, es decir que cuando recibe una señal infrarroja en su salida se tiene un nivel lógico bajo y por el contrario cuando está inactivo su nivel lógico de salida es alto. El fabricante de este dispositivo recomienda su uso acompañado de un pequeño circuito de filtrado y una resistencia que ancle la salida de datos a una fuente positiva. Este circuito se ve en la figura 28.

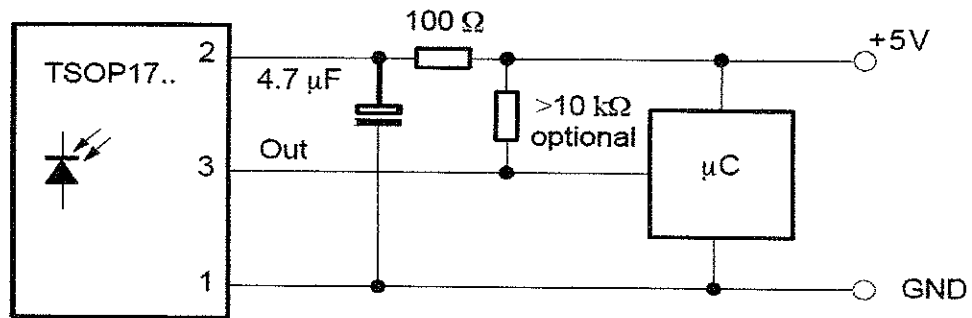


Figura 29. Diagrama de conexiones del receptor infrarrojo con el microcontrolador. Tomada de: Hoja de datos del TSOP1740.

7.2. COMUNICACIÓN POR RADIO FRECUENCIA ENTRE DISPOSITIVOS DE JUEGO Y COMPUTADOR ADMINISTRADOR

Como se vio en la sección 5.1.1 (PRIMEROS SISTEMAS DE LASER TAG) en la versión más avanzada de los sistemas de laser tag se hizo necesaria la comunicación entre cada dispositivo de juego y un administrador. Ésta característica permite al administrador tener control completo sobre la configuración de cada sesión de juego, además de almacenar puntajes y otras características de cada jugador.

Para dar una respuesta óptima a esta necesidad de los sistemas de laser tag se pensó en la comunicación por radio frecuencia. Una de las alternativas que se estudiaron en principio fue el uso de la tecnología Bluetooth (ver sección 5.2.2.3 BLUETOOTH).

Se pensó en esta tecnología debido al reducido tamaño de los adaptadores existentes en el mercado, por la facilidad para conseguir información al respecto y por ser una tecnología en creciente uso y continuo desarrollo. Pero pronto se descartó debido a que es una tecnología que trabaja con estándares de segundo

protocolo diseñado no fuera viable debido a que los símbolos enviados se traslapaban.

El motivo por el que se rediseño el protocolo fue porque esta opción resultaba mucho más rápida y económica que conseguir un receptor diferente.

La versión definitiva del protocolo es diseñada tomando como base el protocolo de comunicación infrarroja de Sony. En este protocolo el símbolo ya no depende del orden en el que se envían la señal y los silencios, como en el Philips, sino que depende de los tiempos de duración de los mismos.

El uno "1" lógico se conforma por un tren de pulsos a 40KHz con una duración de 1.2 milisegundos más un silencio de 600 microsegundos. El cero "0" lógico se conforma por un tren de pulsos a 40KHz con una duración de 600 microsegundos más un silencio de 600 microsegundos. En consecuencia la duración de los símbolos no es igual, como en la versión anterior, sino que el uno "1" lógico dura 1.8 milisegundos mientras que el cero "0" lógico dura 1.2 milisegundos.

Además de esto se definió el inicio de trama como un tren de pulsos a 40KHz con una duración de 1.75 milisegundos seguida de un silencio de 600 microsegundos, lo que en total da un bit de inicio de 2.35 milisegundos de duración.

Lo anterior significa que en este protocolo la trama tiene duraciones diferentes dependiendo del dato que lleve. Como mínimo, si el dato está conformado por 2 bytes de ceros "0's", la trama durará 21.55 milisegundos. En caso contrario, si se trata de un dato conformado por dos bytes de unos "1's", la mayor duración posible de la trama será de 31.12 milisegundos.

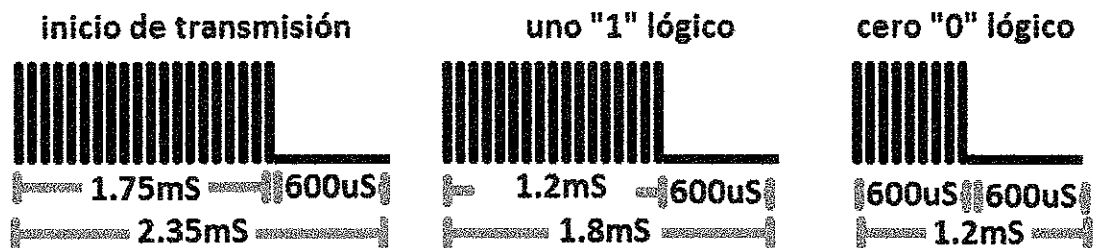


Figura 27. Símbolos del protocolo en su versión definitiva.

Tomada de: Autor.

nivel OSI¹² y su manejo requiere de un procesamiento más robusto que del que se disponía.

También se estudió la tecnología ZigBee se encontró que satisfacía ampliamente las necesidades del sistema que se estaba diseñando.

Las tecnologías ZigBee y Bluetooth son muy similares en cuanto a su funcionamiento e incluso en cuanto a la banda de frecuencia en la que trabajan (2.4GHz). Sin embargo cada tecnología tiene características particulares que hacen que cada una sea más adecuada que la otra dependiendo de la aplicación.

Los principales criterios de selección fueron:

- El número de posibles dispositivos dentro de la red. Una red ZigBee puede constar de un máximo de 65535 nodos distribuidos en subredes de 255 nodos, frente a los 8 máximos de una subred Bluetooth.
- Menor consumo eléctrico. En términos exactos, ZigBee tiene un consumo de 30 miliamperios transmitiendo y de 3 microamperios en reposo, frente a los 40 miliamperios transmitiendo y 0,2 miliamperios en reposo que tiene el Bluetooth. Este menor consumo se debe a que el sistema ZigBee se queda la mayor parte del tiempo dormido, mientras que en una comunicación Bluetooth esto no se puede dar, y siempre se está transmitiendo o recibiendo.
- Tasa de transferencia de datos. ZigBee tiene una velocidad de hasta 250 kbps, lo que es más que suficiente para cubrir las necesidades del juego. Mientras que en Bluetooth es de hasta 3 Mbps, lo que representaría un sobredimensionamiento si se aplicara al mismo caso.

7.2.1. MÓDULOS XBEE® ADQUIRIDOS

Después de haber elegido la tecnología ZigBee para la comunicación inalámbrica entre cada dispositivo de juego y el administrador, se procedió a escoger los módulos para este fin.

¹²STALLINGS, W. Comunicaciones y Redes de Computadores. Prentice Hall.

Los módulos escogidos fueron los XBee® 802.15.4 serie 1 (Ver en anexo D la hoja de datos) de Maxtream; Empresa que en Colombia se encuentra representada por la firma Digi y que presta los servicios de venta y soporte técnico de los mismos.

Estos dispositivos fueron adquiridos en la ciudad de Bogotá por un costo menor a los 50 dólares por dispositivo. Para realizar un prototipo funcional del sistema fue necesario adquirir tres módulos, los dos primeros para ser usados como dos dispositivos de juego, y el tercero, usado para la unidad (computador) de administración de juego.

7.2.2. PUESTA EN FUNCIONAMIENTO DE LOS MÓDULOS XBEE®

Debido a que los módulos XBee® son sumamente fáciles de usar, su puesta en funcionamiento se reduce a seguir unos pasos muy simples.

- **Instalación del X-CTU:** el X-CTU es un software de gestión con el que cuentan estos dispositivos. Con él es posible: configurar los módulos, probar la intensidad de la señal, comprobar la tasa de error en la transferencia y enviar datos.

Este software puede ser descargado sin costo desde la página de la empresa Maxtream, o puede ser solicitado al soporte técnico de la firma Digi mediante un correo electrónico en su página de internet.

Debido a que este software está diseñado para comunicarse mediante el puerto serial del PC y no cuenta con los controladores del puerto USB, fue necesario instalar un puerto COM virtual que se asociara a un puerto USB del computador.

- **Prueba de potencia de señal y tasa de errores:** este paso no es obligatorio pero se recomienda realizarlo si se desea conocer el alcance real de los módulos en las condiciones de funcionamiento a las que van a estar sometidos.

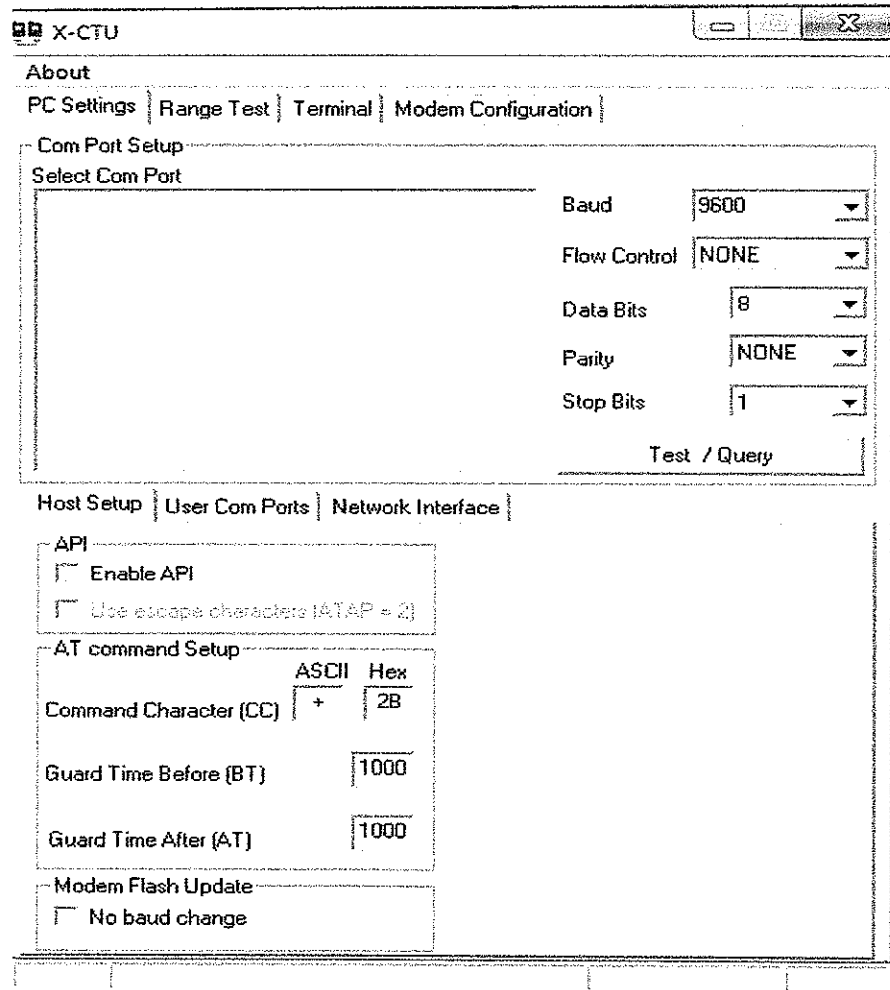


Figura 30. Panel del software X-CTU para configuración de los módulos XBee®.
Tomada de: Software X-CTU.

Para realizar esta prueba se debe contar con mínimo dos módulos y un computador con el X-CTU instalado. Uno de los módulos debe conectarse al computador mediante el XBee explorer (ver anexo I) y el otro se conecta a una fuente de poder adecuada y se configura en modo de loop back como se muestra en la figura 30.

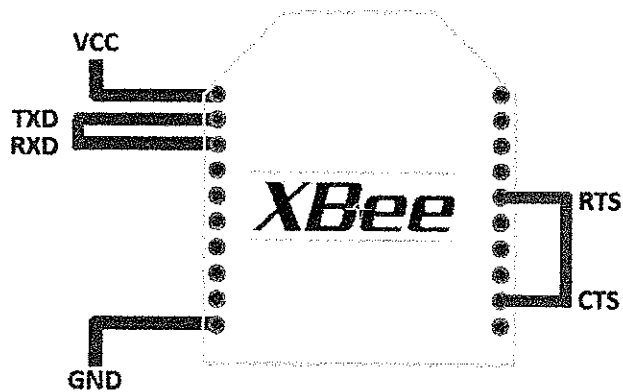


Figura 31. Diagrama de conexión para prueba con *loopback*. Tomada de hoja de datos del XBee®802.15.4 serie 1.

Una vez realizadas las conexiones sugeridas anteriormente se selecciona la pestaña range test (prueba de rango) en la pantalla del software X-CTU y se da clic en start (iniciar).

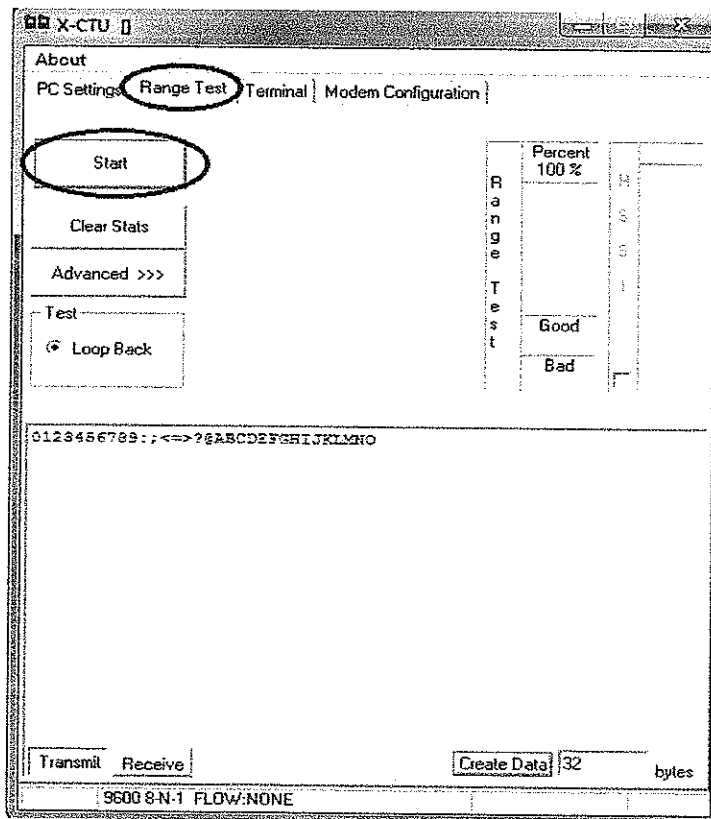


Figura 32. Pestaña *Range Test* del X-CTU. Tomada de: Software X-CTU.

Durante la prueba, el software X-CTU envía paquetes de datos generados al azar, desde el módulo conectado al computador por medio de la base XBee® Explorer. El paquete es recibido por el módulo que se encuentra configurado como loopback y retornado inmediatamente al primer módulo. De ésta forma el software tiene la capacidad de determinar la RSSI (intensidad de la señal recibida) y la tasa de errores que se produce en el proceso.

- Configuración de los módulos: los módulos XBee® pueden ser configurados mediante comandos AT o desde el software X-CTU. Se cuenta con dos opciones de direccionamiento que son la de 16bit y la de 64bits. También existen 4 tipos de conexión; la conexión transparente, la NonBeacon peer-to-peer, la NonBeacon c/Coordinador y la conexión API. En este caso se utilizaron el direccionamiento de 16bits y el modo de conexión transparente y fueron configurados mediante el X-CTU.

Sí se completan estos pasos básicos con éxito, quiere decir que los módulos se XBee® encuentran funcionando correctamente y listos para la implementación de la red y el desarrollo de la aplicación.

7.2.3. CONEXIÓN Y COMUNICACIÓN ENTRE LOS MÓDULOS XBEE® Y EL MICROCONTROLADOR

Los módulos XBee® se comunican con computadores o microcontroladores por medio de una interface de comunicación serial. Para este fin cuentan con dos pines para envío y recepción (TXD y RXD) y con otros dos pines para realizar control de flujo de datos por software (CTS y RTS).

Debido a que el módulo XBee® maneja niveles de tensión de entre 2.8v y 3.4v en sus pines, es necesario utilizar circuitos que adecúen los niveles tanto para el envío como para la recepción de datos. Para el caso particular de la comunicación con el computador, existe en el mercado una tarjeta que realiza el trabajo de adecuación de dichos niveles. En cuanto a la comunicación con el microcontrolador, los niveles se adecuan utilizando transistores que trabajan en sus zonas de corte y saturación.

El diseño que se implementó para este fin, después de algunas pruebas, es el mostrado en la figura 32. Las líneas en color rojo muestran las conexiones que

llevan el dato desde y hacia el microcontrolador, mientras las azules son las correspondientes al módulo XBee®.

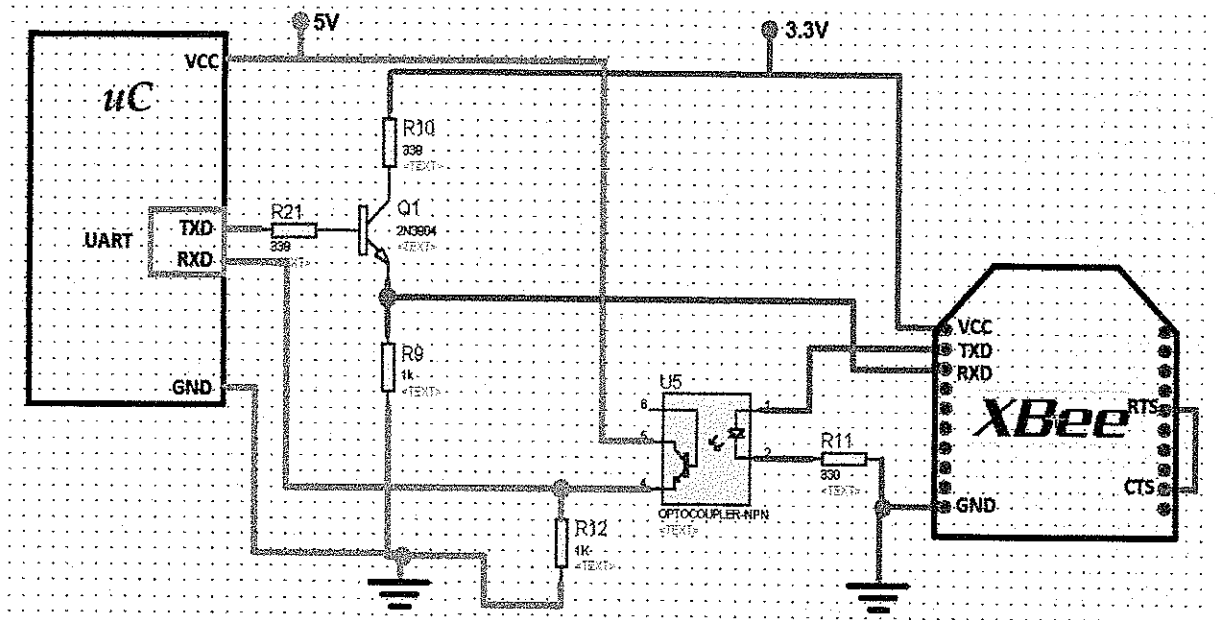


Figura 33. Diagrama de conexión entre las interfaces seriales del módulo XBee® y el microcontrolador.
Tomada de: Autor.

7.2.4. DISEÑO DEL PAQUETE DE DATOS

Dentro del diseño de la comunicación por radiofrecuencia se establece que el módulo XBee® conectado al computador administrador de juego sea configurado como coordinador. Aunque la configuración elegida para los módulos en este proyecto se asemeja al cable virtual en cuanto a que se realiza envío de datos solo de punto a punto por lo que no se requiere enrutamiento. Esto debido a que en ningún momento los dispositivos finales necesitan comunicarse entre sí mediante radiofrecuencia.

Por este motivo se diseñó una trama de datos que cuenta con comandos entendibles por el cerebro del dispositivo final (un microcontrolador que se encuentra asociado al módulo XBee®).

Cada vez que el administrador debe comunicarse con uno de los dispositivos finales éste genera dos bytes, en el primer byte se especifica el propósito del envío y se confirma la dirección del destinatario, de forma que un dispositivo nunca recibe un dato que no le corresponde. En el segundo byte se genera el

7.3. SISTEMA MICROCONTROLADO

El microcontrolador es sumamente importante dentro del sistema de laser tag, no solo porque lleva a cabo los procesos de codificación y decodificación de datos sino también porque cumple la función de integrar las diferentes etapas del sistema.

7.3.1. CRITERIOS PARA ESCOGER EL MICROCONTROLADOR

El micro controlador escogido fue el PIC16F628A de microchip. Las características principales de este dispositivo se pueden apreciar en la tabla 4.

Tabla 4. Características principales del microcontrolador PIC16F628A. Tomada de: Autor

Referencia del dispositivo	PIC 16F628A
Velocidad de operación	Soporta hasta 20MHz, cristal externo
Memoria de programa	2K
Memoria de datos	SRAM: 224 bytes EEPROM: 128 bytes
Entradas/salidas digitales	16
Modulo (CCP)	2
USART	Si
Comparadores	2
Temporizadores	Uno de 16 bits o 2 de 8 bits

Dentro de las características anteriores las más importantes a la hora de escoger este dispositivo fueron: número de entradas/salidas digitales, disponibilidad de módulo USART, cantidad de memoria de programa, temporizadores.

- Número de entradas/salidas digitales: en el diseño original del sistema se dispuso de cuatro salidas para visualización de opciones de usuario por medio de LEDs, una salida más para el envío del código infrarrojo y por último una para la transmisión de la USART. Esto da en total 6 pines utilizados como salidas.

Como entradas se contemplaron los receptores respectivos del código infrarrojo y de la USART y tres interruptores. Hasta este punto se contaba con una demanda de 11 pines libres de entrada y salida. Al tener en cuenta que la configuración del oscilador externo utiliza dos pines más, el total asciende a 13.

De ésta forma se escoge el microcontrolador que cuenta con un puerto lógico de 16 entradas/salidas, dejando así 3 pines libres en caso que se requiera hacer una ampliación del modelo.

- Disponibilidad de USART: se consideró de alta importancia como criterio de selección que el dispositivo contara con la unidad USART integrada debido a la necesidad de comunicar el microcontrolador con el módulo XBee®. Aunque ésta comunicación se puede lograr realizando una rutina para el microcontrolador, indudablemente contar con la USART integrada ahorra gran cantidad de trabajo y de recursos en el dispositivo.
- Cantidad de memoria de programa: el dispositivo seleccionado cuenta con 2048 espacios de tamaño Word como memoria de programa, teniendo en cuenta que la mayor parte de las instrucciones del microcontrolador ocupan solo un espacio tamaño Word se puede decir que la capacidad de este microcontrolador en cuanto al código que se ejecuta en él es de aproximadamente dos mil líneas. Ésta característica se tuvo en cuenta con un sobredimensionamiento pensado en futuras mejoras o la inclusión de módulos al diseño.
- Temporizador: debido a la gran facilidad que aporta a la hora de realizar ciertas tareas, el módulo de temporización se convirtió en un fuerte criterio de selección. El dispositivo elegido cuenta con un temporizador de 16 bits y con diversas formas de configuración.

7.3.2. DESARROLLO DE PROGRAMACIÓN POR ETAPAS

Para poder abordar este numeral de manera ordenada y fácil de entender, la figura 35 muestra cómo se relaciona el microcontrolador con cada uno de los subsistemas que constituyen un dispositivo de juego de laser tag.

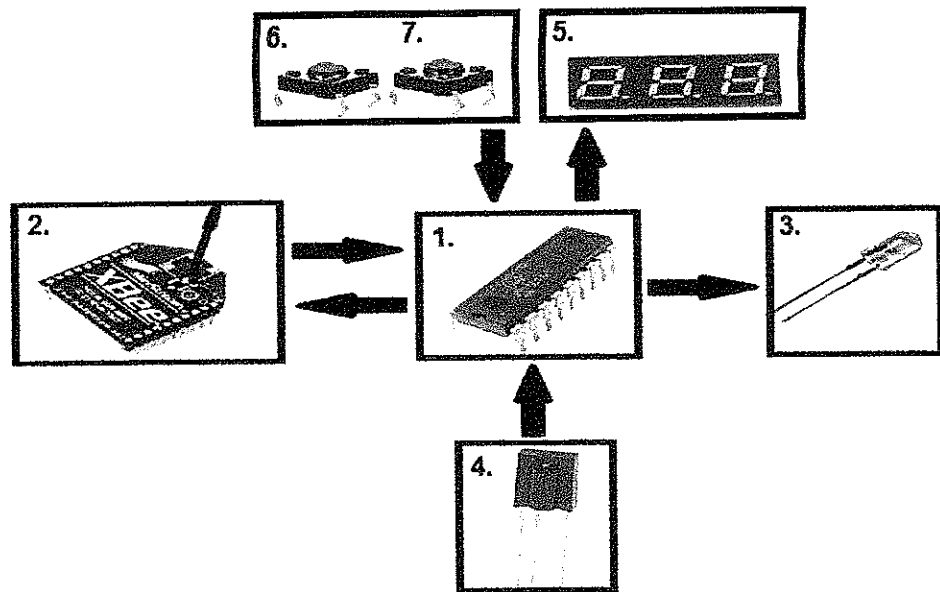


Figura 36. Esquema de las partes que constituyen el dispositivo de juego del sistema laser tag.
Elaborada por el autor con imágenes de la hoja de datos de cada elemento.

Los elementos del sistema mostrados en la figura anterior son: el microcontrolador con el número uno, el módulo XBee® para envío y recepción de datos por radiofrecuencia con el número dos, el transmisor infrarrojo con el tres, el receptor infrarrojo con el cuatro, la visualización de opciones de juego con el cinco y los botones de disparo y cambio de opciones de juego con los números seis y el siete respectivamente.

7.3.2.1. EL MICROCONTROLADOR

Las primeras líneas de código elaboradas corresponden a la configuración del microcontrolador¹³. El microcontrolador PIC16F628A cuenta con 8 opciones también llamadas fusibles de configuración (Ver sección 5.2.3.2 EL PIC16F628A).

Lo siguiente que se hace es establecer y programar las características que se van a utilizar del microcontrolador tales como: cuales pines se van a usar como entradas y cuales como salidas, definir el uso de interrupciones, habilitar el módulo UART, definir su tasa de transferencia entre otras. Todo lo anterior se representa en el diagrama de flujo mostrado en la figura 36.

¹³ Ver anexo B para conocer la configuración del PIC en código ensamblador.

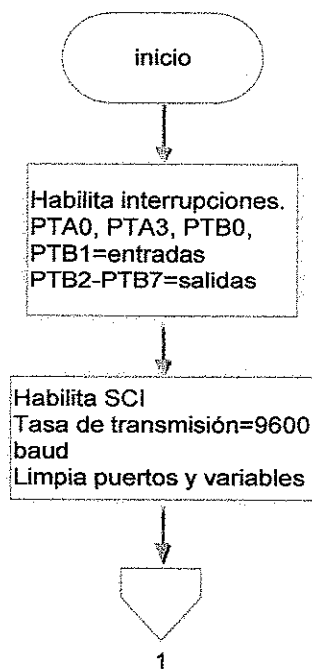


Figura 37. Configuración inicial del microcontrolador.
Tomada de: Autor.

Después de la configuración mostrada en la figura anterior se programó un bucle de pre-inicio. En este bucle se busca que el dispositivo de juego, después de ser encendido, no pueda ser utilizado sin antes haber recibido la activación y configuración respectiva desde el computador administrador. Por lo tanto mientras el administrador no haya dado activación al dispositivo de juego, éste no responderá a los botones de disparo y cambio de opciones de juego ni recibirá datos infrarrojos. Además en la parte de visualización de opciones de juego se verá una señal que indicará que el dispositivo sigue inactivo. El diagrama de flujo correspondiente a la parte de pre-inicio es el que se ve en la figura 37.

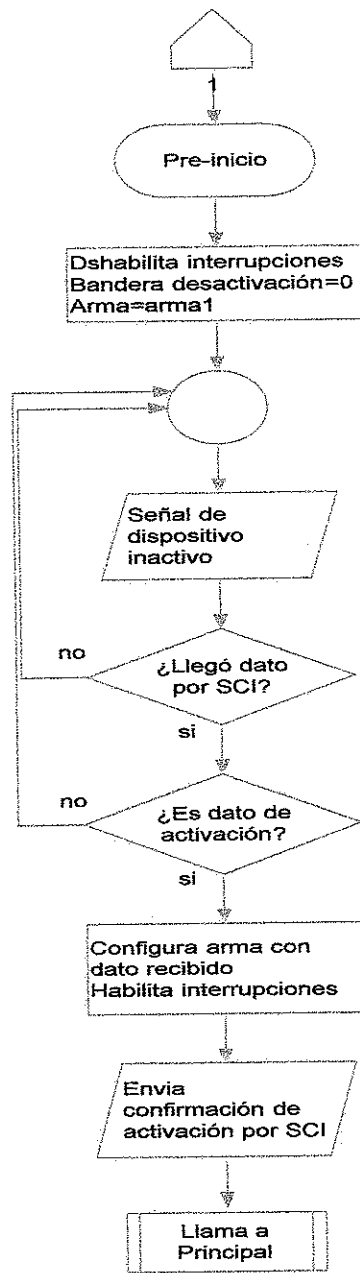


Figura 38. Rutina de pre-inicio.
Tomada de: Autor.

Una vez el administrador envía el dato de activación al dispositivo de juego y se verifica su validez el microcontrolador pasa a ejecutar el bucle principal. Desde el bucle principal el jugador puede hacer disparos (envíos infrarrojos), modificar opciones de juego básicas, y recibir impactos de otros jugadores (recepciones

infrarrojas) y recibir nuevas configuraciones o la desactivación por parte del administrador de juego. El diagrama de flujo del bucle principal se puede ver en la figura 38.

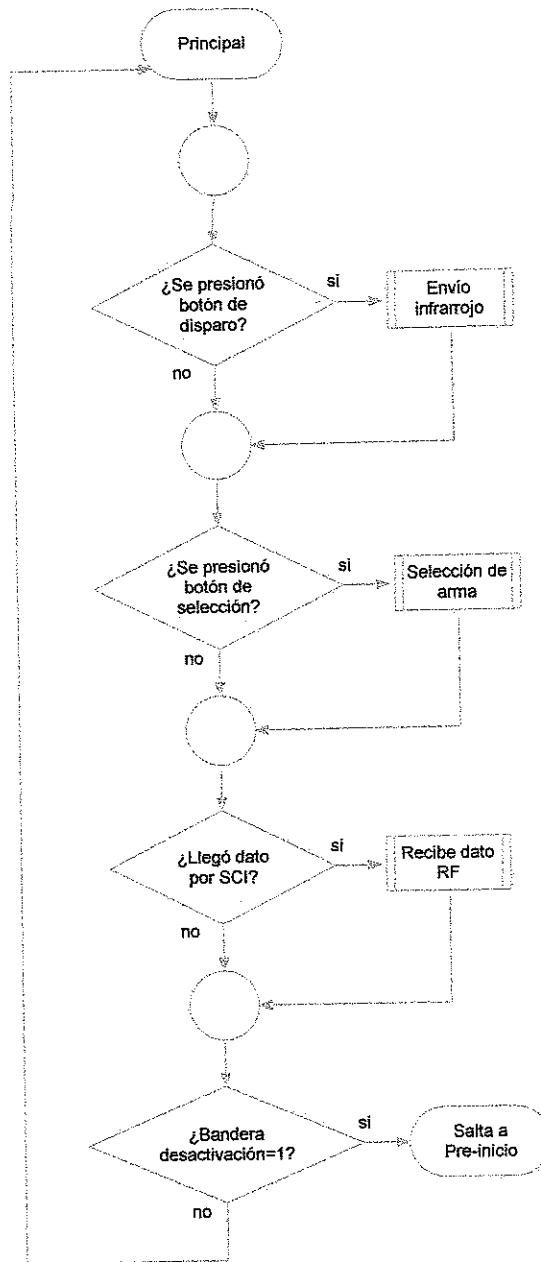


Figura 39. Diagrama de flujo del bucle Principal.
Tomada de: Autor.

7.3.2.2. ENVIO Y RECEPCION POR RADIOFRECUENCIA

El dispositivo de juego hace envío de datos por radiofrecuencia hacia el administrador en dos ocasiones: cuando es activado por el administrador y lo hace para confirmar que la activación tuvo efecto. Y cuando es impactado por otro jugador (recepción infrarroja), comunica el evento al administrador para que éste realice las acciones pertinentes (Ver sección 7.2.4 DISEÑO DEL PAQUETE DE DATOS).

Por este motivo no existe un segmento de programa dedicado especialmente a realizar el envío de datos por radiofrecuencia. Además la acción de enviar dicho dato al administrador se traduce en generar el dato como se vio en la sección 7.2.4 y almacenarlo en el registro de transmisión asíncrona del microcontrolador, una vez en el registro de transmisión, el dato es enviado de forma serial al módulo XBee® que a su vez lo remite inalámbricamente al administrador.

La recepción del dato enviado por radiofrecuencia desde el administrador puede ser detectada tanto en el segmento de programa de pre-inicio como en el bucle principal. Una vez se detecta que un dato ha llegado por medio del módulo UART del microcontrolador (que se encuentra directamente conectado al módulo XBee®), éste ejecuta una rutina de recepción e interpretación del dato recibido. El diagrama de flujo del segmento de recepción y decodificación del dato recibido desde el administrador se puede ver en la figura 39.

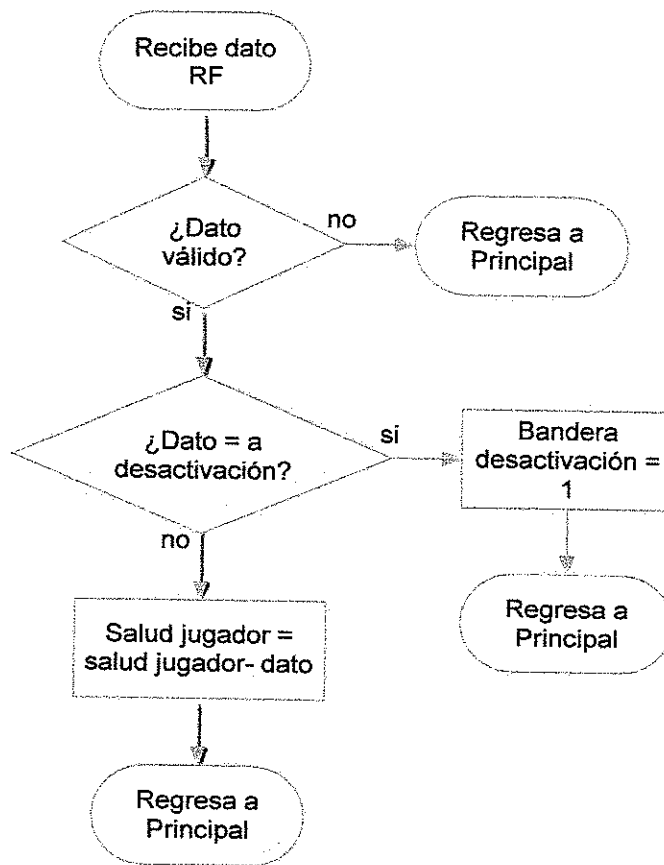


Figura 40. Subrutina para recepción de datos que ingresan por SCI.
Tomada de: Autor.

7.3.2.3. ENVIO POR INFRARROJO (DISPARO)

La acción del envío infrarrojo inicia cuando el usuario presiona el botón de disparo en el dispositivo de juego (Ver figura 35-6.) Cuando esto sucede el microcontrolador ejecuta el segmento de programa correspondiente. El diagrama de flujo de este segmento se puede ver en la figura 40.

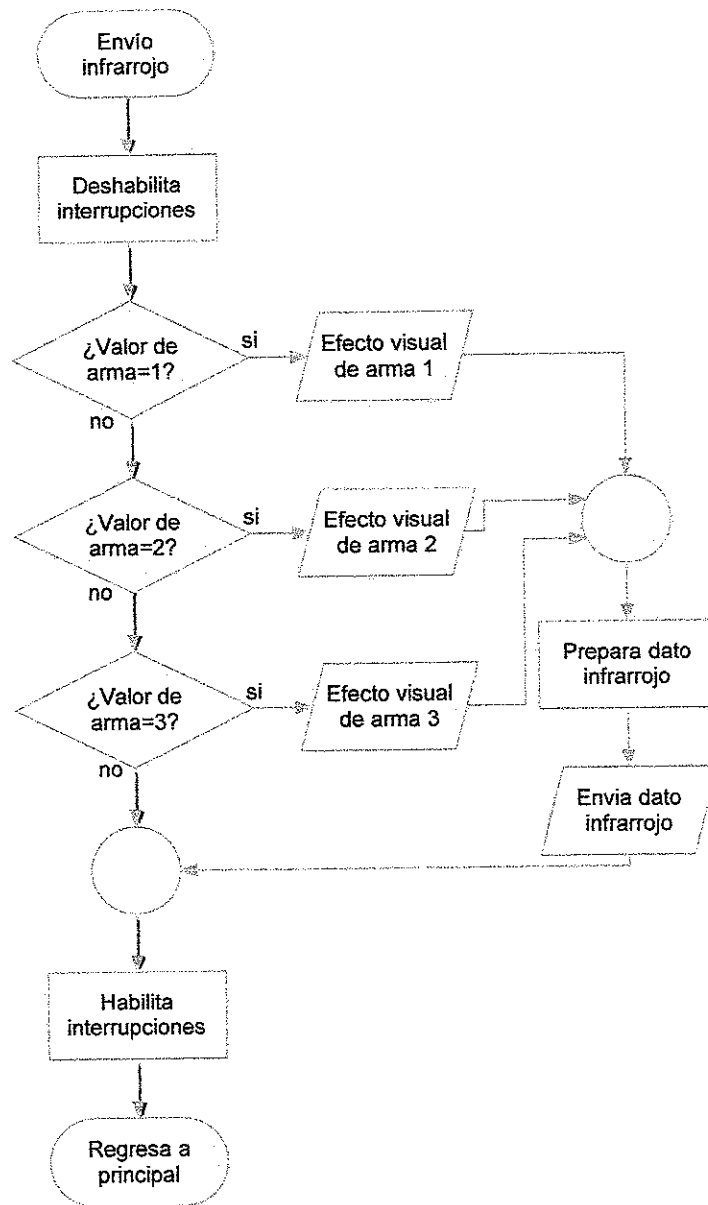


Figura 41. Diagrama de flujo de la subrutina de envío infrarrojo.
Tomada de: Autor.

La primer parte de la rutina de disparo vista en la figura anterior consiste en identificar el tipo de arma que el jugador ha elegido para hacer el disparo. Después genera un efecto de temporización que corresponde al arma seleccionada. Después crea el dato a enviar utilizando el número de identificación propio y el dato del arma que está usando. Para finalizar, codifica el dato creado de la forma en que se mostró en la sección 7.1.1 (DISEÑO DEL PROTOCOLO) para que éste pueda ser apropiadamente enviado por un medio infrarrojo.

7.3.2.4. RECEPCIÓN INFRARROJA

La recepción infrarroja está directamente relacionada con una interrupción externa del microcontrolador. Por este motivo el impacto de un dispositivo de juego a otro tiene prelación sobre el envío infrarrojo; es decir, si un dispositivo de juego se encuentra en medio de un envío y este es impactado (recibe un dato infrarrojo), el envío es abortado y se entra en modo de recepción.

El diagrama de flujo de la rutina de recepción infrarroja que corresponde a la de interrupción externa del microcontrolador se puede ver en la figura 41.

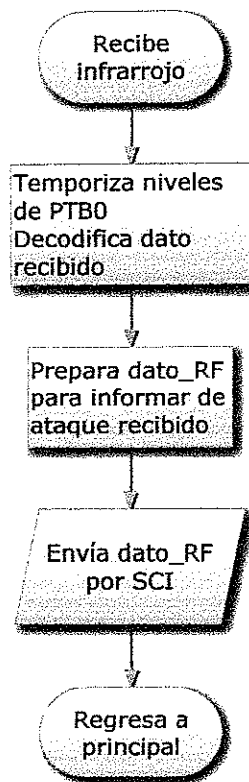


Figura 42. Diagrama de flujo de la rutina de recepción de dato infrarrojo.
Tomada de: Autor.

Este proceso se puede dividir en dos partes, decodificación del dato recibido y conformación del nuevo dato para informar al administrador sobre la recepción del dato infrarrojo.

A grandes rasgos la decodificación del dato se realiza midiendo el tiempo de duración de los niveles lógicos recibidos por el pin de recepción de dato infrarrojo y verificando que éste se encuentre entre los rangos definidos para cada símbolo como se vio en sección 7.1.1.

La segunda parte del segmento de programa de recepción genera el dato que se envía por radiofrecuencia al administrador de juego y su formato es el que se mostró en la sección 7.2.4.

7.3.2.5. SELECCIÓN Y VISUALIZACIÓN DE OPCIONES DE JUEGO

El usuario tiene la posibilidad de escoger entre 3 diferentes tipos de disparo, cada uno de ellos con características diferentes, el primero puede ser utilizado en repetidas ocasiones sin necesidad de esperar pero solo descuenta un punto a la salud del oponente. La segunda opción descuenta 5 puntos de la salud del oponente pero el disparo solo puede ser usado cada 5 segundos. La tercera opción es el disparo más poderoso, pues descuenta 10 puntos de la salud del enemigo, pero éste puede ser usado solo cada 10 segundos.

Las opciones se escogen manteniendo presionado por un segundo el botón de selección de opciones de juego que se encuentra en el dispositivo de juego. La opción seleccionada se conocerá mediante el módulo de visualización mostrando encendido el LED que corresponde al número de la opción seleccionada. El diagrama de flujo correspondiente al segmento de programa que hace posible la selección de arma se ve en la figura 42. Y el efecto generado por la opción de juego elegida se encuentra dentro del segmento de programa correspondiente al envío infrarrojo.

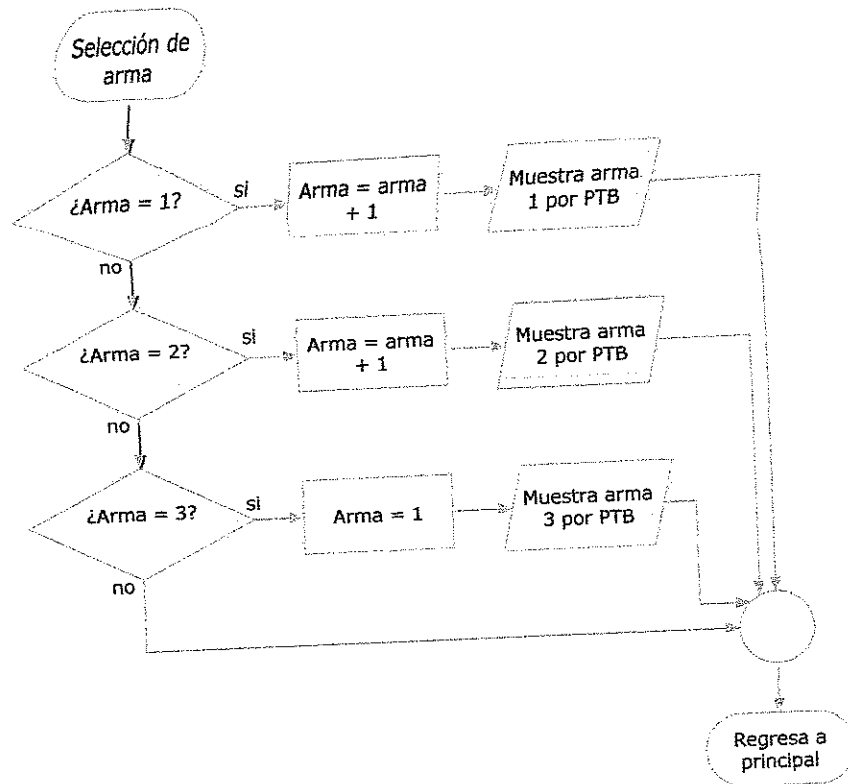


Figura 43. Diagrama de flujo del segmento de programa que permite seleccionar tipo de arma.
Tomada de: Autor.

7.4. DISEÑO DE LAS FUNCIONES DEL ADMINISTRADOR DE JUEGO

El administrador es un software por medio del cual se obtiene información sobre el desarrollo del juego y se tiene control sobre la configuración de las opciones del mismo. El software administrador de juego cumple con las siguientes funciones:

- Permite la activación y desactivación de un jugador en cualquier momento del juego.
- Permite reiniciar, o ajustar la cantidad de salud de un jugador según los criterios de la persona que administre el juego.
- Permite establecer equipos entre los jugadores y activar o desactivar la opción de impactar jugadores del mismo equipo.

- Lleva el historial de salud y puntaje de cada jugador para determinar el desempeño de los mismos.
- Muestra al administrador si un jugador, tras ser impactado por el rival, pierde el último de sus puntos de salud y por lo tanto es desactivado.

Después de definir las funciones del administrador de juego se diseñó el diagrama de flujo

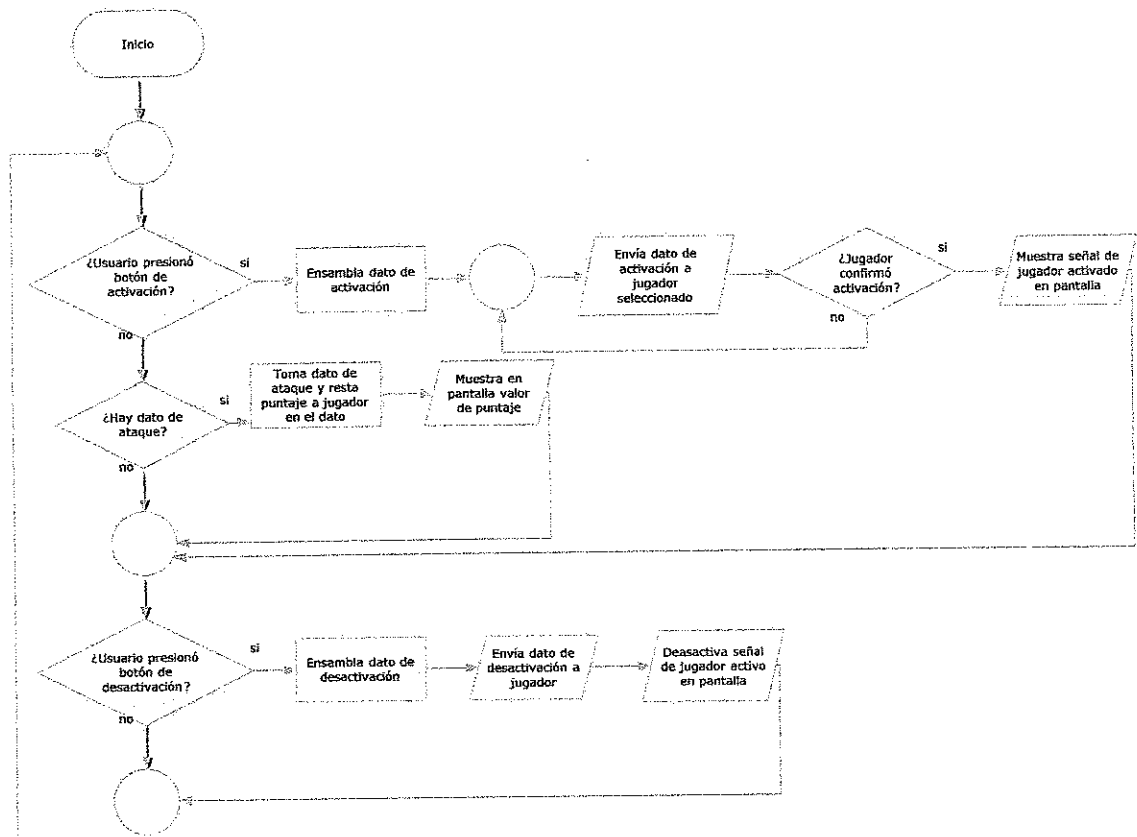


Figura 44. Diagrama de flujo para el software administrador.
Tomada de: Autor.

Para la implementación del programa (ver en anexo J el programa completo) anterior en LabVIEW® fue necesario utilizar funciones booleanas, herramientas de programación clásica y un instrumento virtual para sacar datos por el puerto USB del computador (ver sección 5.2.4.1 EL SOFTWARE LabVIEW).

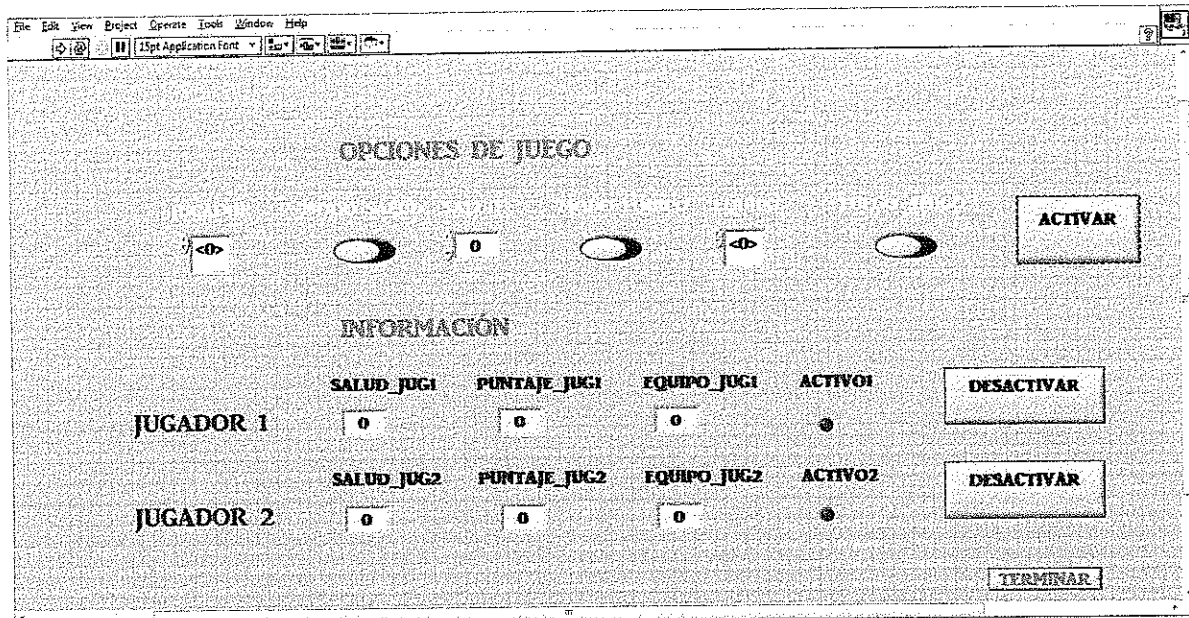


Figura 45. Panel frontal de la aplicación de usuario diseñada en LabVIEW®.
Tomada de: Autor utilizando LabVIEW®.

En la figura 44 se puede ver el panel frontal de la aplicación diseñada en LabVIEW® para la administración de juego. Como se observa en la parte superior está la sección de OPCIONES DE JUEGO y en la parte inferior la sección de INFORMACIÓN.

En las opciones de juego el administrador configura las características de la partida de juego que va a iniciar. Del menú jugador, debe seleccionar el número del arma que va a activar.

En salud, si los jugadores deciden iniciar con la cantidad de salud por defecto (100 puntos) el botón MODO_SALUD se deja en la posición de apagado, si por el contrario los jugadores deciden personalizar esta opción, el administrador debe pasar el botón MODO_SALUD a la posición de encendido y definir la cifra acordada entre los jugadores en el cuadro de texto SALUD.

Para definir un a que equipo va a pertenecer el jugador, el administrador debe pasar el botón MODO_EQUIPO a la posición de encendido y en seguida escoger el equipo en el menú EQUIPO. Si el botón MODO_EQUIPO se deja en la posición de apagado, el jugador quedará ubicado en el quipo 1 por defecto.

Si el grupo de jugadores lo decide, la opción de fuego amigo puede activarse pasando el botón FUEGO_AMIGO a la posición de encendido.

Una vez configuradas las características de la sesión de juego, el administrador debe oprimir el botón ACTIVAR. Si el arma a la que se hace la configuración se

encuentra encendida, el indicador verde en la parte de INFORMACIÓN se encenderá indicando que el jugador fue activado con éxito.

En la parte de INFORMACIÓN deben mostrarse las características que acabaron de ser seleccionadas y una vez iniciado el juego, la interacción entre los jugadores deberá mostrar cómo cambian las cantidades en la salud y el puntaje de los jugadores. Una vez un jugador pierde todos sus punto de salud el software lo desactiva automáticamente.

El administrador también tiene la opción de desactivar a un jugador manualmente si éste infringe alguna norma del juego, o si el parámetro para el límite del juego es el tiempo.

7.5. DISEÑO DE CIRCUITOS IMPRESOS

Una vez concluidos los diseños, y probado el funcionamiento del sistema completo en circuitos armados provisionalmente, se pasó a diseñar los circuitos impresos en PROTEUS®.

El primer paso para obtener asistencia en el diseño del circuito impreso con el software mencionado es realizar el diagrama del circuito en el módulo ISIS. Como es de esperarse este simulador no posee todos los elementos requeridos en su base de datos, por lo que es necesario reemplazar aquellos que no están allí por conectores que posean las dimensiones apropiadas. En la siguiente figura se puede ver el montaje elaborado en el módulo ISIS de PROTEUS®.

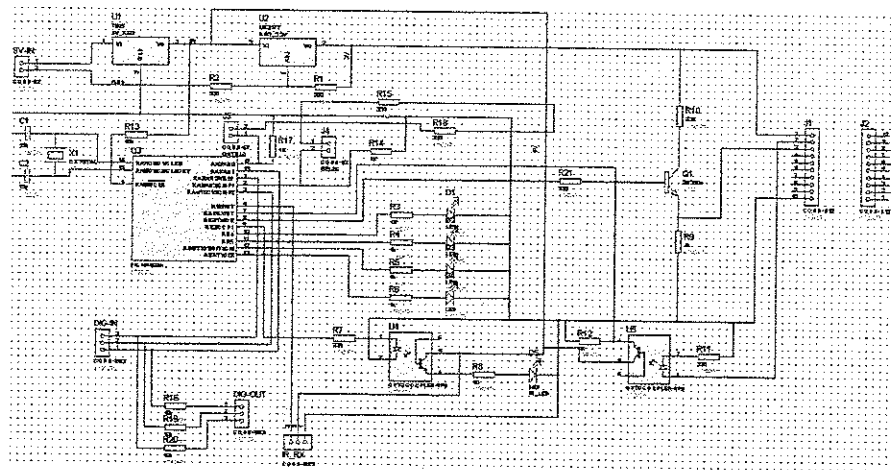


Figura 46. Diagrama del circuito eléctrico del dispositivo de juego.
Tomada de: Autor utilizando Módulo ISIS de PROTEUS®.

Una vez finalizado el montaje del diagrama circuital en ISIS, se emigra al módulo ARES que es el módulo especializado para el diseño de circuitos impresos.

Debido a que elementos como los módulos XBee® y el receptor infrarrojo no se encuentran en la base de datos de PROTEUS® éstos fueron reemplazados por conectores. Aunque el módulo ARES asiste en el diseño de los circuitos impresos, en realidad el usuario debe solucionar los caminos a los que el software no encuentra solución dadas las limitantes espaciales que se aplican.

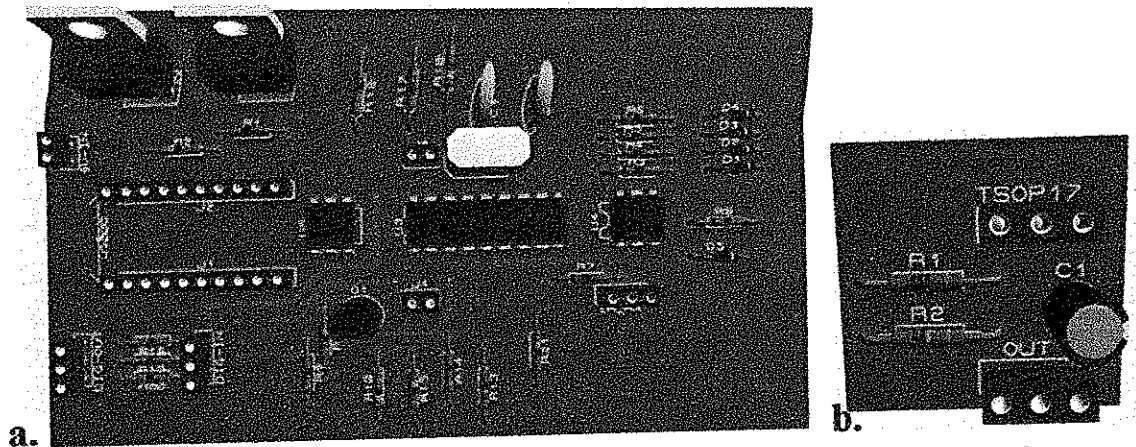


Figura 47. Vista superior del circuito diseñado en el módulo ARES de PROTEUS®.
Tomada de: Autor utilizando Módulo ARES de PROTEUS®

En la figura 47 se encuentra la vista superior del circuito impreso diseñado en PROTEUS® para el circuito del terminal de juego. La figura 47-a es la parte principal del terminal de juego, la 47-b muestra el elemento receptor infrarrojo con su circuito de polarización. Estas dos partes se encuentran unidas en el prototipo por un cable flexible.

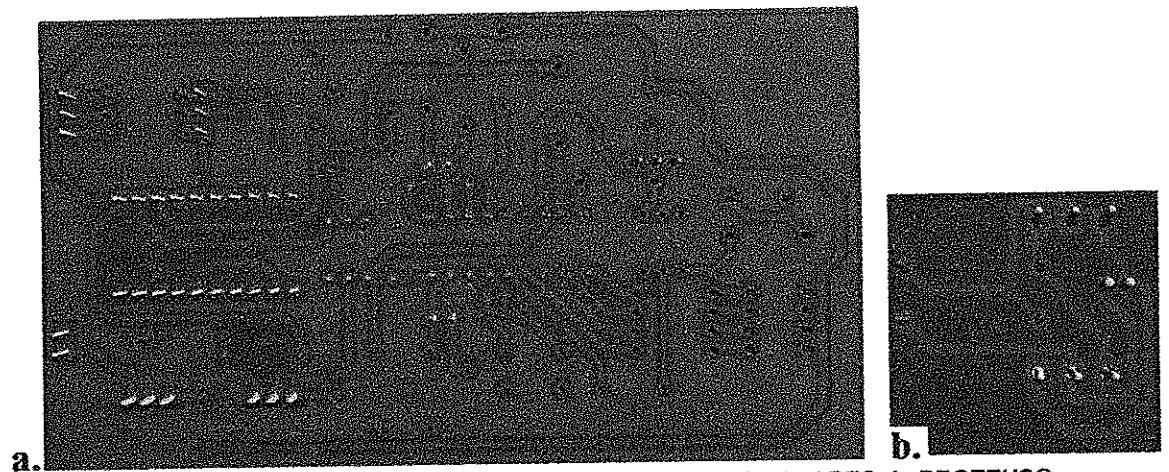


Figura 48. Diseño del circuito impreso asistido por el módulo ARES de PROTEUS®.
Tomada de: Autor utilizando Módulo ARES de PROTEUS®.

En la figura 48 se muestra el diseño terminado del circuito impreso, todo asistido por el módulo ARES de PROTEUS®.

Después del proceso de quemado de la baquela el tamaño resultante del circuito principal fue de 6 centímetros de ancho por 10 centímetros de largo y el del receptor infrarrojo fue de 2 centímetros por 2 centímetros. Tamaño que es muy conveniente para adaptar a la carcasa de un arma que emule características reales.

7.6. ELABORACIÓN DEL PROTOTIPO

Una vez ensamblados los circuitos tal como se diseñaron en la sección anterior, se procedió a montarlos sobre la carcasa de un arma plástica diseñada originalmente para consolas de juegos de video. Se decidió montar el prototipo de esta manera debido a que la posibilidad de elaborar moldes de plástico inyectado diseñados a medida, sobrepasaba los objetivos de éste proyecto, y en realidad no aportaba al funcionamiento del sistema.



Figura 49. Carcasa del arma elegida para montar el sistema.
Tomada de: Autor.

El circuito se montó en el arma utilizando una carcasa plástica de dimensiones 4cm de alta por 11cm de larga y 8cm de ancha. La carcasa del circuito se atornilló al arma y se realizó el cableado con la ayuda de conectores

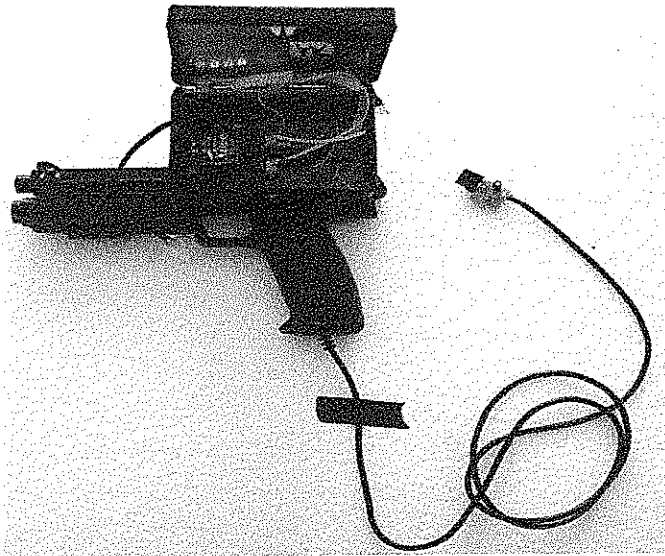


Figura 50. Circuito del terminal de juego montado en su carcasa y receptor infrarrojo.
Tomada de: Autor.

En la figura anterior se ve el circuito montado en su carcasa al costado del arma, el receptor infrarrojo es el dispositivo unido al arma por medio del cable que sale del mango de la misma. Los jugadores deben ubicar el receptor sobre su pecho o cabeza utilizando un pequeño prendedor incluido en el mismo.

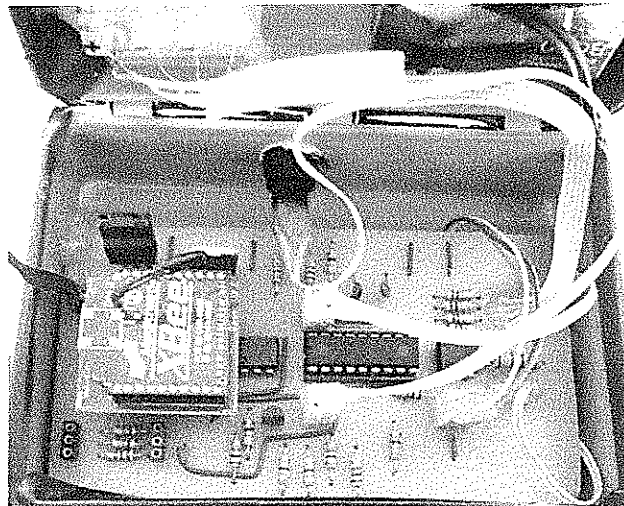


Figura 51. Circuito del terminal de juego.
Tomada de: Autor

En la figura anterior se muestra el circuito del terminal de juego, como se ve en ésta, ya se ubicaron los elementos en los conectores, entre los que se encuentra el módulo XBee®, y los conectores de: el botón de selección de arma, el gatillo el receptor infrarrojo y el conector de batería.

CONCLUSIONES

La evolución de los sistemas de laser tag siempre ha estado ligada al desarrollo de la electrónica digital, motivo por el que es muy probable que dichos sistemas continúen su perfeccionamiento a medida que sigan apareciendo innovaciones en este campo.

Las empresas que se encuentran liderando en el desarrollo de sistemas de laser tag, buscan continuamente agregar a sus diseños características que los hagan cada vez más atractivos al público. La tendencia concreta es que la competencia apunta a convertir los sistemas de laser tag en juegos de interacción humana que comparta las ventajas de control que posee un juego de video.

Fue importante haber estudiado las características de las tecnologías ZigBee y Bluetooth, debido a que así se pudo concluir que ninguna es mejor que la otra, sino que más bien existen diferentes características que las hacen más o menos viables para algunas aplicaciones. Así ZigBee demostró ser más adecuada en éste caso.

Se cambió el tipo de codificación del dato infrarrojo del Manchester al PWM por que el segundo permitía que se utilizara el receptor infrarrojo que se había adquirido y solo se hicieron cambios en programación que resultan más flexibles que el cambio de los elementos físicos.

En Colombia existe una limitación importante en cuanto a la variedad de dispositivos a los que se puede tener acceso al momento de desarrollar un sistema, sin embargo vale la pena decir que el motivo principal de la falta de oferta de dispositivos tecnológicos, para desarrollo en Colombia, se debe a la falta de demanda, pues las empresas extranjeras fabricantes de dichos productos no tienen inconveniente alguno en realizar ventas y envíos a este país.

El diseño de las opciones de juego y de administración hace que el sistema sea atractivo para los usuarios y que fácilmente se convierta en una actividad recreativa que compita con los existentes juegos de paint-ball y con los juegos de video.

LabVIEW® es un software especializado para diseño que reduce enormemente el tiempo de desarrollo. Haber utilizado sus herramientas de adquisición de datos, programación gráfica y su panel frontal para diseño de la interfaz de usuario, hizo que el proceso de diseño fuera intuitivo y rápido.

El diseño de sistemas complejos se hace mucho más simple cuando se divide en etapas más pequeñas y se establecen parámetros específicos de funcionamiento para cada una de ellas. La detección y corrección de fallas también se hace

mucho más sencilla cuando se puede aislar una etapa del sistema para probar su comportamiento individualmente.

BIBLIOGRAFÍA

- A. Administer, Joseph Circuitos Eléctricos 2ª Edición Editorial McGraw-Hill, México. 1994.
- ALIANZA ZIGBEE. *The zigbee specification*.
- CREUS SOLE, Antonio. Instrumentación industrial. 7a edición. Marcombo S.A. 2005.
- ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto. El ABC de la instrumentación en el control de Procesos Industriales.
- FOROUZAN, Behrouzan A. Transmisión de datos y redes de comunicaciones. 2a edición. Mc Graw Hill 2001.
- Grob, Bernard Circuitos Electrónicos y Sus Aplicaciones Editorial MacGraw-Hill, México. 1983.
- Irwin J. , David Análisis Básico De Circuitos en Ingeniería 5ta Edición Editorial Prentice Hall, México. 1997.
- L. Boylestad, Robert Análisis Introductorio de Circuitos 8ª Edición Editorial Trillas, México. 1998.
- Matthew N. O. Sadiku, Charles K. Alexander Fundamentos de circuitos eléctricos - 3 Edición
- Microcontroladores PIC, Diseño Práctico de Aplicaciones Segunda Parte. Ed. Mc Graw H.
- STALLINGS, W. Comunicaciones y Redes de Computadores. Prentice Hall.
- STANLEY, Wolf Y Otros Guía Para Prácticas de Laboratorio Editorial Prentice Hall, México. 1992.

INFOGRAFÍA

- <http://ezinearticles.com/?History-of-Outdoor-Laser-Tag&id=741069>
- <http://www.bluetooth.com/Pages/Bluetooth-Home.aspx>
- <http://www.irda.org/>
- <http://www.lasertag.com.au/history.htm>
- <http://www.ni.com/labview/esa/>
- <http://www.sbprojects.com/knowledge/ir/index.php>
- <http://www.trutnee.com/index.php?page=381>
- <http://www.zigbee.org/>

LISTA DE ANEXOS

Los documentos anexos a este libro se pueden encontrar en el CD-ROM en la tapa del final. Solo el anexo A se encuentra impreso a continuación.

- A. Artículo en formato IEEE titulado "Prototipo de un sistema de LASER TAG"
- B. Código en ensamblador del programa desarrollado para el microcontrolador.
- C. Documento sobre el módulo UASRT de los microcontroladores PIC.
- D. Hoja de datos de los módulos XBee 802.15.4 serie 1.
- E. Hoja de datos de TSOP1740.
- F. Hoja de datos del 4N35.
- G. Hoja de datos del PIC16F628A.
- H. Hoja de datos del TSAL6200.
- I. Hoja de datos del XBee Explorer.
- J. Programa de administrador de juego diseñado en LabVIEW®.

ANEXO A

Prototipo de un Sistema de LASER TAG

Giraldo Gallo, Jhon Alejandro.
 jhon.giraldo@santoto.ustatunja.edu.co; jaefungi@hotmail.com
 Universidad Santo Tomás Tunja

Abstract— a typical laser tag system has two kinds of devices. One is the game terminal; there are always two or more devices of this kind interacting on the playground. The other one is the game administrator. It is a computer that runs administrator software that has all the game setting on it. This software should always be supervised by administrator personnel.

Índice de Términos—comunicación infrarroja, comunicación por radiofrecuencia, microcontrolador, software administrador.

I. INTRODUCCIÓN

Este artículo describe que es un sistema de laser tag y muestra los procesos más importantes que se llevaron a cabo a la hora de elaborar un prototipo del sistema que cumple con la condición de ser elaborado con materiales de fácil consecución en el mercado nacional.

II. LOS SISTEMAS DE LASER TAG

A. Descripción

El laser tag es una actividad recreativa en la que los participantes deben sumar puntaje impactando a sus rivales, usualmente con un arma que emite una señal infrarroja. Cada jugador debe llevar además del arma, un dispositivo receptor de infrarrojos. Los jugadores pueden enfrentarse entre ellos individualmente o formar equipos de acuerdo a sus preferencias. El objetivo del juego es impactar los receptores del enemigo la mayor cantidad de veces evitando ser impactado. También se utilizan juegos de estrategia militar como captura la bandera enemiga, con el fin de sumar emoción al juego.

III. EL SISTEMA LASER TAG

El sistema de laser tag tiene dos tipos de dispositivo, el terminal de juego y el administrador de juego. En una sesión debe existir un único dispositivo administrador mientras que es posible, e incluso necesario, que se encuentren interactuando dos o más terminales de juego.

Este artículo se presenta como documento anexo al trabajo de grado titulado Diseño e Implementación de un Prototipo de Sistema de Laser Tag para Juego. Entregado y revisado en el mes de octubre de 2011.

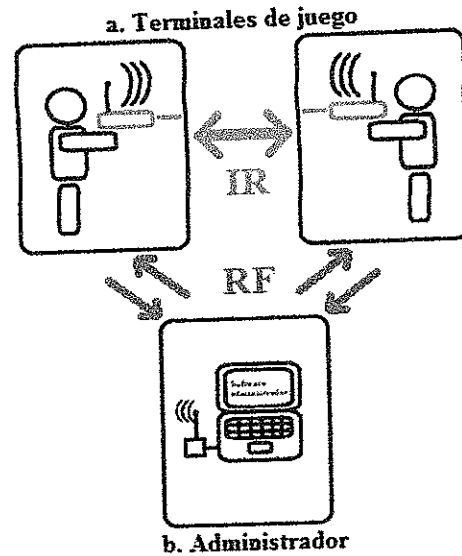


Figura 1. Partes que componen el sistema de Laser Tag.

A. Terminal de juego

Los terminales de juego interactúan entre ellos por medio de comunicación infrarroja. Al mismo tiempo se comunican con el administrador por medio de radiofrecuencia. Cuando un jugador dispara su arma, esta emite un haz infrarrojo en el que va codificada la información de quién dispara. El objetivo es alcanzar con este haz el receptor infrarrojo del rival. Cuando esto sucede, el dispositivo impactado, receptor del dato infrarrojo, obtiene la información de su atacante. El diagrama de bloques del terminal de juego puede apreciarse en la siguiente figura.

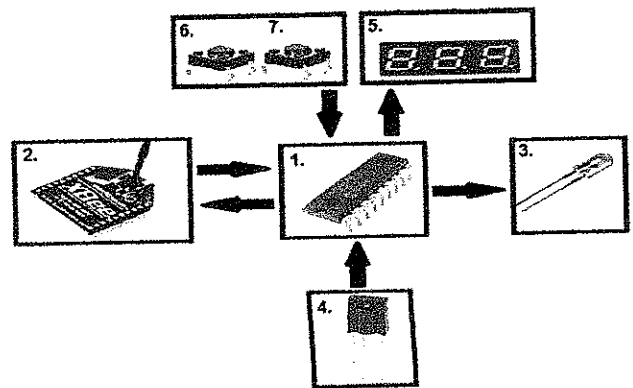


Figura 2. Diagrama de bloques del terminal de juego.

Los elementos del sistema mostrados en la figura anterior son: el microcontrolador con el número uno, el módulo XBee para envío y recepción de datos por radiofrecuencia con el número dos, el transmisor infrarrojo con el tres, el receptor infrarrojo con el cuatro, la visualización de opciones de juego con el cinco y los botones de disparo y cambio de opciones de juego con los números seis y el siete respectivamente.

B. Administrador de juego

El administrador de juego cumple dos funciones: configurar las sesiones de juego y procesar la información recibida de los dispositivos terminales que informan lo ocurrido en el juego para presentarlos en pantalla.

Un diagrama de bloques del dispositivo administrador se puede ver en la siguiente figura.

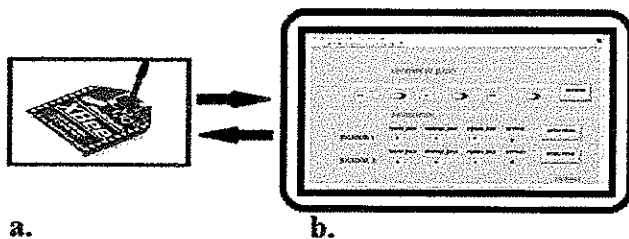


Figura 3. Diagrama de bloques del dispositivo administrador.

En la figura 3-a, se ve el módulo de comunicación inalámbrica que se comunica directamente con el computador, figura 3-b. el computador muestra la aplicación con la que se puede configurar y visualizar las opciones de juego.

El computador administrador de juego debe estar siempre supervisado por una persona que es quién realiza la configuración de las sesiones de juego e interpreta los datos arrojados por el software.

IV. ELABORACIÓN DEL PROTOTIPO

La elaboración del prototipo se llevó a cabo en 4 etapas, que se desarrollaron y probaron de forma independiente para luego ser integradas logrando así el sistema completo.

Las etapas principales fueron: comunicación infrarroja entre terminales de juego, comunicación por radiofrecuencia entre administrador y terminales de juego, sistema microcontrolado, software administrador.

A. Comunicación infrarroja entre terminales de juego

El emisor infrarrojo es un LED TSAL6200 y el receptor es un TSOP1740. Estos elementos hacen posible el envío de la señal infrarroja hasta 25 metros de distancia.

La codificación del dato infrarrojo enviado se realizó de la siguiente manera:

El uno lógico se envía como un tren de pulsos a una frecuencia de 40KHz con una duración de 1.2 milisegundos seguido por un silencio de 600 microsegundos. El envío del cero lógico se hace de la misma forma, solo que esta vez el tren de pulsos tiene una duración de 600 microsegundos.

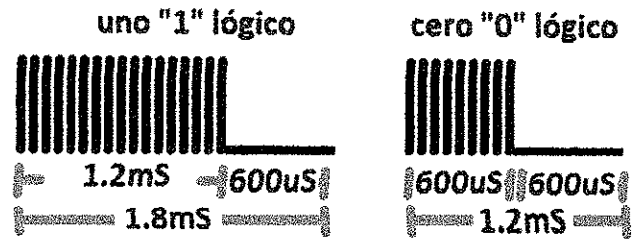


Figura 4. Codificación de "1" y "0" en el envío infrarrojo

El dato infrarrojo que envía cada arma se compone por el número de identificación del jugador y el tipo de arma que usó al atacar a su rival. De esa manera cuando un dispositivo terminal recibe un dato infrarrojo, dicho dato tiene la estructura que se muestra en la siguiente figura.



Figura 5. Byte de ataque que recibe un terminal de juego.

B. Comunicación por radiofrecuencia entre administrador y terminales de juego

La comunicación por radiofrecuencia se logró utilizando módulos de comunicación inalámbrica ZIG BEE. Estos módulos son adecuados para transmisiones a una tasa baja de datos, para aplicaciones con bajo consumo de energía y tienen bajos requerimientos electrónicos para su uso.

Los módulos ZIG BEE escogidos fueron los XBee 802.15.4 serie 1 de Maxstream. La conexión entre el módulo XBee y el microcontrolador se ve en la siguiente figura.

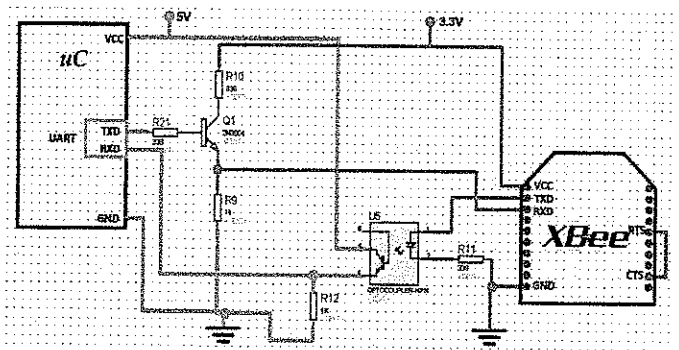


Figura 6. Conexión entre el módulo XBee y el microcontrolador.

Para lograr una transmisión se debe configurar los módulos en transmisión transparente con la ayuda del software de gestión X-CTU y enviar por medio de la UART del microcontrolador los datos al módulo, los otros módulos en la red reciben los datos y los entregan por medio de una interfaz serial en el formato y la velocidad configurados.

C. El microcontrolador

El microcontrolador es el cerebro del dispositivo terminal de juego, tiene la función importante de recibir procesar y enviar los datos que llegan por medio infrarrojo. También se encarga

de gestionar la comunicación con el administrador de juego que se hace por medio de los módulos XBee.
 Otra de las funciones del microcontrolador es permitir que el usuario seleccione entre tres modos de disparo cada uno con características diferentes.
 Las características principales por las que se seleccionó el microcontrolador se ilustran en la siguiente tabla.

Referencia del dispositivo	PIC 16F628A
Velocidad de operación	Soporta hasta 20MHz, cristal externo
Memoria de programa	2K
Memoria de datos	SRAM: 224 bytes EEPROM: 128 bytes
Entradas/salidas digitales	16
Modulo (CCP)	2
USART	Si
Comparadores	2
Temporizadores	Uno de 16 bits o 2 de 8 bits

Tabla 1. Características del microcontrolador usado.

D. Administrador de juego

El desarrollo de la aplicación de administración de juego se hizo en LabVIEW. Este software se eligió por las herramientas de programación que ofrece, pues reducen enormemente el tiempo de desarrollo.
 El proceso de configuración de una sesión de juego consiste en elegir la cantidad de puntos de vida con los que contará cada jugador, asignar equipos y activar o desactivar la opción de fuego amigo, esto de acuerdo a las preferencias de los participantes. Este proceso finaliza con la activación del jugador.

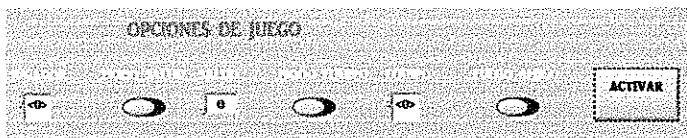


Figura 7. Panel de configuración de juego.

La configuración se realiza siguiendo los paso que se explican a continuación.

- En salud, si los jugadores deciden iniciar con la cantidad de salud por defecto (100 puntos) el botón MODO_SALUD se deja en la posición de apagado, si por el contrario los jugadores deciden personalizar esta opción, el administrador debe pasar el botón MODO_SALUD a la posición de encendido y definir la cifra acordada entre los jugadores en el cuadro de texto SALUD.
- Para definir un a que equipo va a pertenecer el jugador, el administrador debe pasar el botón MODO_EQUIPO a la posición de encendido y en seguida escoger el equipo en el menú EQUIPO. Si el botón MODO_EQUIPO se deja en la posición de

apagado, el jugador quedará ubicado en el quipo 1 por defecto.

- Si el grupo de jugadores lo decide, la opción de fuego amigo puede activarse pasando el botón FUEGO_AMIGO a la posición de encendido.
- Una vez configuradas las características de la sesión de juego, el administrador debe oprimir el botón ACTIVAR. Si el arma a la que se hace la configuración se encuentra encendida, el indicador verde en la parte de INFORMACIÓN se encenderá indicando que el jugador fue activado con éxito.

Para poder llevar a cabo sus funciones, el administrador de juego se comunica con los terminales de juego por medio de radiofrecuencia.

Para activar a los jugadores con las opciones seleccionadas, el software administrador envía un dato de configuración a cada terminal de juego, mientras que una vez iniciada la sesión, son los dispositivos terminales los que envían información, sobre los ataques que reciben, hacia el administrador. Así el administrador cuenta con la información de lo ocurrido en el campo de juego y presenta la información del desarrollo del mismo en pantalla.

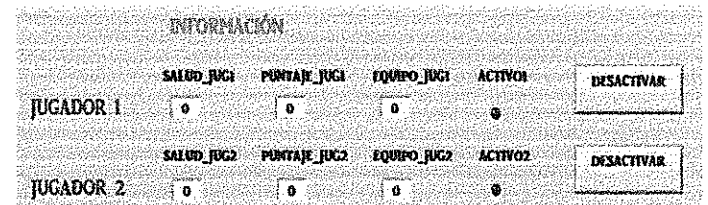


Figura 8. Panel de información de juego.

El panel de información muestra a que equipo pertenece cada jugador, cuál es su puntaje por impactar a los rivales y cuál el puntaje de salud que le resta. Cuando un jugador pierde todos los puntos de salud el software automáticamente desactiva al jugador. También es posible que la persona encargada de la administración del juego desactive manualmente a un jugador a manera de amonestación.

V. CIRCUITO IMPRESO

Una vez finalizado el diseño de las etapas anteriores, fueron probadas y simuladas en el software PROTEUS con el fin de tener un esquema completo del circuito para el terminal de juego. El diseño del circuito impreso se realizó en el mismo software de simulación ya que ofrece la opción de hacerlo nada más efectuando pequeños ajustes.

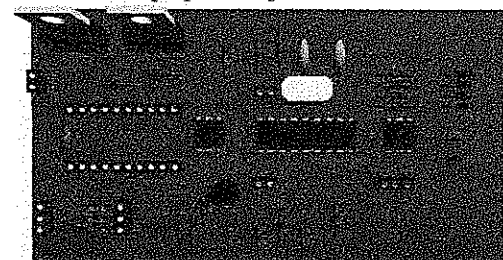


Figura 9. Vista superior del circuito diseñado para el terminal de juego.

En la figura anterior se ve el diseño del circuito impreso, vista superior, logrado en el módulo ARES del software PROTEUS. En ésta figura se muestra como se sustituyeron varios elementos por conectores que corresponden a las medidas de dichos elementos.

La vista inferior que muestra el ruteo del circuito se puede ver en la siguiente figura.



Figura 10. Diseño del circuito impreso asistido por Proteus.

Después del proceso de quemado de la baquela el tamaño resultante del circuito fue de 6 centímetros de ancho por 10 centímetros de largo. Tamaño que es muy conveniente para adaptar a la carcasa de un arma que emule características reales.

VI. REFERENCIAS

- [1] ALIANZA ZIGBEE. The zigbee specification.
- [2] CREUS SOLE, Antonio. Instrumentación industrial. 7a edición. Marcombo S.A. 2005.
- [3] ENRÍQUEZ HARPER, Gilberto. El ABC de la instrumentación en el control de Procesos Industriales.
- [4] FOROUZAN, Behrouzan A. Transmisión de datos y redes de comunicaciones. 2a edición. Mc Graw Hill 2001.
- [5] Microcontroladores PIC, Diseño Práctico de Aplicaciones Segunda Parte. Ed. Mc Graw H.
- [6] STALLINGS, W. Comunicaciones y Redes de Computadores. Prentice Hall.
- [7] Diseño e implementación de un prototipo de sistema de laser tag para juego. Jhon Alejandro Giraldo, proyecto de grado. Presentado en la universidad Santo Tomás, Tunja - 2011.
- [8] Proyectos utilizando señales infrarrojas. Consultado en la web. <http://www.sbprojects.com/knowledge/ir/index.php>
- [9] Página oficial de National Instruments. Desarrolladores del software LabVIEW. • <http://www.ni.com/labview/esa/>

Autor

Realizó la carrera de Ingeniería electrónica en la universidad Santo Tomás seccional Tunja entre los años 2005 y 2010. Actualmente opta por el título de ingeniero electrónico en la misma institución.