UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

DESARROLLO DE UN BANCO DE PRUEBA QUE PERMITA DESCRIBIR LOS PROTOCOLOS DE ACCESO AL MEDIO DEL ESTÁNDAR IEEE 802.11

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

REALIZADO POR **Garranchan Claudia**
González Yralix

PROFESOR GUÍA **Ing. Barrios José Javier.**

FECHA Caracas, Octubre 2011

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES

DESARROLLO DE UN BANCO DE PRUEBA QUE PERMITA DESCRIBIR LOS PROTOCOLOS DE ACCESO AL MEDIO DEL ESTÁNDAR IEEE 802.11

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

REALIZADO POR — Garranchan Claudia.
González Yralix.

PROFESOR GUÍA — Ing. Barrios José Javier.

FECHA — Caracas, Octubre 2011

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones

Trabajo Especial de Grado

DESARROLLO DE UN BANCO DE PRUEBA QUE PERMITA DESCRIBIR LOS PROTOCOLOS DE ACCESO AL MEDIO DE ESTANDAR IEEE 802.11.

Octubre 2011

Resumen

DESARROLLO DE UN BANCO DE PRUEBA QUE PERMITA DESCRIBIR LOS PROTOCOLOS DE ACCESO AL MEDIO DE ESTANDAR IEEE 802.11

Garranchan, Claudia
cgarranchan@gmail.com
González, Yralix
yralix@gmail.com

En el presente trabajo especial de grado se desarrolló un banco de prueba que reúne todas las características de la arquitectura lógica que presenta las redes de área local inalámbricas mediante el estándar IEEE 802.11b, basado en el modelo OSI (Interconexión de Sistemas Abiertos, *Open System Interconnection*) a nivel de capa física y capa de enlace.

Se empleó el software de simulación LABVIEW "8.5" para representar la gestión de las capas físicas y de enlace. Conjuntamente, estas rutinas simuladas se ejecutan con la plataforma PXI de NATIONAL INSTRUMENT, lo que permitió obtener un sistema de comunicación real con ayuda de las tarjetas modulares con las cuales se encuentra provisto dicho equipo.

La capa física fue implementada, haciendo uso de la modulación QPSK (Modulación de fase y cuadratura, *Quadrature Phase Shift Keying*).

Los procesos relacionados con el control de acceso al medio, se basaron en una arquitectura en función de coordinación. Para determinar la disponibilidad del medio se utilizó la detección de la portadora en forma virtual, a través del vector de ocupación de red o NAV (*Network Allocation Vector*), a nivel de capa de enlace.

La coordinación del acceso al medio fue realizada mediante tiempos establecidos entre las diversas tramas de control para gestionar la transmisión y recepción de los datos. Los campos de tipos y subtipos de estas tramas fueron mostradas en una interfaz de usuario, con la finalidad de ser analizadas y comprendidas según sea el mecanismo de acceso implementado.

Palabras Clave: Control, modelo OSI, Labview, transmisión y recepción.

Dedicatoria

A Betzaida, Luis, Fabiana y a Todo aquel que considera la perseverancia, sus alas para alcanzar la meta.

A Omaira y Félix, a quienes les debo este sueño.

A todos Ustedes con cariño…

Claudia Garranchan García

Yralix González Gómez

Agradecimientos

A Dios, en primer lugar, por permitir este logro.

Gracias mami, por estar ahí siempre incondicional, por haber tenido al inicio de esta etapa, la fortaleza en no dejarme renunciar, y porque siempre tuviste la palabra correcta para darme ánimos en esos momentos duros. Por ser mi luz cuando despierto cada día. Porque te debo la persona que soy ahora. Lo logramos!!!.Te amo.

Papi, tus palabras, consejos y sabiduría me guiaron hasta aquí. Gracias por confiar en mí, por la oportunidad, por tu apoyo incondicional. Porque te debo la persona que soy ahora. Te amo!!!

Fabiana, por tener kilogramos de paciencia, por compartir conmigo todos los momentos, por ayudarme cuando lo he necesitado, por estar conmigo cuando me he enfermado y rumbeado. Y, lo más importante por ser fiel amiga y compañera. Te amo hermana!!!.

A mi familia, por ser ejemplo de constancia, de que con trabajo duro se logran las metas, por el cariño que siempre he recibido. Gracias por todo!

A mi Roommate, por escucharme siempre cuando lo necesité.

A mi compañerita de tesis estrella!, por todas las horas de estudio y de rumbitas, por hacer este maratón (carrera) más divertida (anion jaseiooouu, pali pali). Gracias por todo!!

A la Señora Omaira y al Señor Félix, porque desde el principio me hicieron sentir como una hija mas. Gracias!

Agradezco a mi tutor, el Ing. Javier Barrios, por guiarme en la elaboración de este trabajo especial de grado. Gracias por este reto! , por la paciencia y el llamado a la calma cuando era nervios y desespero.

A mis amigos, Ing. Alberto Rodríguez ,Ing. Carolina Rodríguez, Ing. Carlos Butrón, Ing. Juan Carlos Herrera, por el apoyo en la elaboración de este proyecto y durante toda la carrera, por las recomendaciones y disposición en todo momento.

A mis panitas promo XI que siempre dijeron, si se pude!

A mi kotu, i luv ya!

Finalmente, y no menos importante, a la Universidad Católica Andrés Bello, por ser mi alma mater, por haber sido ahí, donde pase muchas horas de mis días, por darme todo lo necesario que seguramente aplicare el día de mañana en el ámbito laboral.

Claudia Garranchan García

Quiero agradecer a Dios y la virgen por brindarme salud y acompañarme cada día de mi vida.

A mis papás, Félix y Omaira, por su apoyo incondicional y por enseñarme cada día a ser mejor persona y profesional, por ser capaces de encontrar soluciones a cada una de las dificultades. Por enseñarme que imposible significa no haber encontrado la solución; por su amor infinito, su confianza absoluta, sus sabios consejos … Papi, Mami los amo!!!.

A mis tíos, Yasmín y Edgar, por endulzarme la vida, brindarme su sonrisa y alegría día a día.

A Claudia, mi paciente compañera estrella, por abrirme las puertas de su hogar y de su familia, por el cariño y la constancia, por esas interminables horas de estudio, por sus ocurrencias y sus palabras.

A mi prima Fabi por brindarme su amistad, su cariño, por cuidarme y quererme, entre sorpresas, tristezas, lágrimas y alegrías enmarcadas en el tan famoso “11B”.

A mi tutor, el Ing. Javier Barrios, quien entre risas y peleas, con su apoyo y guía hizo posible la elaboración de este proyecto y nunca dejo de creer en sus tesistas estrellas.

Al Ing. Miguel Díaz, quien a pesar de tener tantos tesistas, nos regaló minutos valiosos de su tiempo en múltiples ocasiones para colaborar con nuestro trabajo especial de grado…

Al Ing. Alberto Rodríguez, conocido en los bajos fondos como "Beto…" por su ayuda constante y desinteresada…Tqm Be!

A ud. Ing. Parada A.K.A Christian (= por cumplir con su palabra, y tener toda esa paciencia para colaborar con las tesistas estrella.

A la Ing. Maritza Morillo, por crear la mejor imagen de una presentación de tesis nunca antes vista…con tanto cariño y esmero! Gracias Dee dee.

A mis amigos del cole: Adri, Maria V, Rebe, Danito, Joha… y ahora sí ♪♫ esta noche amanecemos, amanecemos parrandeando ♪♫… Los quiero!!!

A mi querida "Promo XI" que con sus sonrisas me iluminaron el camino y lo hicieron, no más corto, pero si mucho más divertido, hoy y siempre Gracias!

A todos aquellos que insistentemente repitieron una y otra vez: SI SE PUEDE!!!!

Yralix González Gómez

Índice General

RESUMEN I

DEDICATORIA II

AGRADECIMIENTOS III

ÍNDICE GENERAL VI

ÍNDICE DE FIGURAS IX

ÍNDICE DE TABLAS XI

LISTA DE ACRÓNIMOS XII

INTRODUCCIÓN XIII

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO 1

I.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 1
I.2. OBJETIVOS 2
I.2.1. Objetivo General *2*
I.2.2. Objetivos Específicos *2*
I.3. JUSTIFICACIÓN 3
I.4. ALCANCES Y LIMITACIONES 3
I.4.1. Alcances *3*
I.4.2. Limitaciones *4*

CAPÍTULO II. MARCO REFERENCIAL 5

II.1. REDES INALÁMBRICAS 5
II.2. ESTÁNDAR IEEE 802.11 6
II.2.1. Arquitectura IEEE 802.11 ..... *8*
II.3. CAPA FÍSICA (NIVEL FÍSICO) 10
II.4. CAPA MAC (NIVEL DE ENLACE) 11
- *DCF (Distributed Coordination Function):* *12*
- *PCF (Point Coordination Function):* *14*

II.4.1. Espaciamiento Intertrama *14*
- ✓ SIFS 14
- ✓ PIFS 15
- ✓ DIFS 15

II.4.2. Acceso Basado en Contención *15*

II.4.3. Recuperación de Errores con DCF *16*
II.4.4. Backoff en DCF *16*
II.4.5. Formato de Tramas *17*
- Tramas de Control: 22

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA **25**

III.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN 25
III.2. PROCESO DE INVESTIGACIÓN Y DOCUMENTACIÓN. 26
III.3. JUICIO DE EXPERTOS. 26
III.4. DELIMITACIÓN DEL ESTÁNDAR. 27
III.5. ESTUDIO LA PLATAFORMA PXI DE *NATIONAL INSTRUMENTS* (HARDWARE). 27
III.6. ESTUDIO LA PLATAFORMA PXI DE *NATIONAL INSTRUMENTS* (SOFTWARE). 27
III.7. DESARROLLO DE LAS RUTINAS DE LA CAPA FÍSICA DEL ESTÁNDAR 802.11 28
III.8. DESARROLLO DE LAS RUTINAS DE LA CAPA MAC DEL ESTÁNDAR 802.11 28
III.9. PRUEBAS CON EQUIPOS REALES, AJUSTES Y VALIDACIÓN DEL DISEÑO 28

CAPÍTULO IV. DESARROLLO Y RESULTADOS **29**

IV.1. PROCESO DE INVESTIGACIÓN Y DOCUMENTACIÓN 29
IV.2. JUICIO DE EXPERTOS 29
IV.3. DELIMITACIÓN DEL ESTÁNDAR 32
IV.4. ESTUDIO LA PLATAFORMA PXI DE *NATIONAL INSTRUMENTS* (HARDWARE Y SOFTWARE) 33
IV.5. DESARROLLO DE LA CAPA FÍSICA (PHY) 36
- *Rutinas de la Capa PHY* *37*
  1. Generación de Bits Aleatorios 38
  2. Preámbulo 39
  3. Transmisor 39
  4. Receptor 42

IV.6. DESARROLLO DE LA CAPA DE ENLACE (MAC) 45
- *Rutinas de la Capa MAC* *45*
  1. Operación Atómica: Confirmación Positiva ACK 45
  2. CSMA/CA 47
  3. MACAW: RTS/CTS con NAV 51
  4. Colisiones 52
  5. Formato de Tramas 54

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES **57**

V.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 57

BIBLIOGRAFÍA **61**

APÉNDICE A **63**

TABLA DESCRIPTIVA DE LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA LA RUTINA DE MODULACIÓN 63

APÉNDICE B **67**

TABLA DESCRIPTIVA DE LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA LA RUTINA DE TRANSMISIÓN 67

APÉNDICE C **73**

TABLA DESCRIPTIVA DE LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA LA RUTINA DE RECEPCIÓN 73

APÉNDICE D **77**

TABLA DESCRIPTIVA DE LAS HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA LA RUTINA DE DEMODULACIÓN 77

APÉNDICE E **81**

DATOS DE ENTRADA TX - PROCESO DE MODULACIÓN 81

APÉNDICE F **83**

DIAGRAMA DE FLUJO DEL ALGORITMO DE *BACKOFF* 83

APÉNDICE G **85**

MANUAL DE USUARIO 85

Índice de Figuras

FIGURA 1. CLASIFICACIÓN DE LAS REDES INALÁMBRICAS [2] 6
FIGURA 2. NIVELES DE REFERENCIA DEL MODELO OSI [**3**] 7
FIGURA 3. LOGOTIPO DE WI-FI [4] 7
FIGURA 4. COMPARACIÓN ENTRE BSS DE INFRAESTRUCTURA Y BSS INDEPENDIENTE. [3] 8
FIGURA 5. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN (DISTRIBUTION SYSTEM). [3] 9
FIGURA 6. ARQUITECTURA 802.11 [6] 10
FIGURA 7. SUBNIVELES DE LA CAPA MAC [6] 11
FIGURA 8. OPERACIÓN ATÓMICA. [10] 13
FIGURA 9. USO DEL NAV. [10] 13
FIGURA 10. ESPACIAMIENTO INTERTRAMA [6] 14
FIGURA 11. VENTANA DE CONTENCIÓN [6] 16
FIGURA 12. FORMATO DE LA TRAMA MAC. [6] 17
FIGURA 13. CAMPOS DE LA TRAMA DE CONTROL. [6] 18
FIGURA 14. TRAMA RTS. [**6**] 23
FIGURA 15. TRAMA CTS. [**6**] 23
FIGURA 16. TRAMA ACK. [**6**] 24
FIGURA 17. ARQUITECTURA BÁSICA DEL PXI. [**16**] 33
FIGURA 18. CHASIS DEL PXI. [**16**] 34
FIGURA 19. CONTROLADOR NI PXI-8106. [**16**] 34
FIGURA 20 . MÓDULO NI PXI 5142. [**16**] 36
FIGURA 21. ELEMENTOS BÁSICOS DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN. [**17**] 37
FIGURA 22. PROCESOS DE LA CAPA FÍSICA (PHY). 37
FIGURA 23. CÓDIGO FUENTE: GENERACIÓN DE BITS ALEATORIOS. 38
FIGURA 24. INTERFAZ DE USUARIO: BITS ALEATORIOS GENERADOS EN EL TIEMPO. 38
FIGURA 25. CÓDIGO FUENTE: PREÁMBULO, CABECERA Y DATOS 39
FIGURA 26. CÓDIGO FUENTE: MODULACIÓN QPSK. 40
FIGURA 27. INTERFAZ DE USUARIO: TRANSMISIÓN. 40
FIGURA 28. SEÑAL TRASMITIDA. 41
FIGURA 29. CÓDIGO FUENTE: RECEPTOR. 42
FIGURA 30. CÓDIGO FUENTE: CONFIGURACIÓN DE LA TARJETA PXI-5600 [**16**] 42
FIGURA 31. CÓDIGO FUENTE: DATA COMPLEJA ADQUIRIDA. [**16**] 43
FIGURA 32. CÓDIGO FUENTE: DEMODULACIÓN. 43

FIGURA 33. INTERFAZ DE USUARIO: RECEPCIÓN VS TRANSMISIÓN. 44
FIGURA 34. PROCESOS DE LA CAPA DE ENLACE (MAC)..... 45
FIGURA 35. CÓDIGO FUENTE: OPERACIÓN ATÓMICA 46
FIGURA 36. INTERFAZ DE USUARIO: OPERACIÓN ATÓMICA 46
FIGURA 37. CÓDIGO FUENTE: CONTADOR DIFS. 47
FIGURA 38. CÓDIGO FUENTE: CONTADOR SIFS. 48
FIGURA 39. CÓDIGO FUENTE: CONFIRMACIÓN ACK. 48
FIGURA 40. CÓDIGO FUENTE: VENTANA DE CONTENCIÓN. 48
FIGURA 41. INTERFAZ DE USUARIO: TRANSMISIÓN DE DATOS DE LA ESTACIÓN 1 A LA ESTACIÓN 2 EN CSMA/CA. 49
FIGURA 42. TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN DE DATOS EN CSMA/CA. 49
FIGURA 43. INTERFAZ DE USUARIO: ALGORITMO DE *BACKOFF*..... 50
FIGURA 44. INTERFAZ DE USUARIO: CSMA/CA CON RTS/CTS 51
FIGURA 45. INTERFAZ DE USUARIO: TRAMA CTS Y ESTABLECIMIENTO DEL NAV-CTS 52
FIGURA 46.INTERFAZ DE USUARIO: COLISIÓN ENTRE LA ESTACIÓN 1 Y LA ESTACIÓN 2..... 53
FIGURA 47.FUNCIONAMIENTO DE LA TARJETA DE TRANSMISIÓN EN EL MODULO DE COLISIONES. 53
FIGURA 48.INTERFAZ DE USUARIO: CAMPOS DEL FORMATO GENERAL DE LA TRAMA. 54
FIGURA 49. INTERFAZ DE USUARIO: FORMATO DE TRAMAS DE CONTROL. 55
FIGURA 50.INTERFAZ DE USUARIO: INICIO DEL PROGRAMA. 55

Índice de Tablas

TABLA 1. COMBINACIONES VALIDAS DE TIPO Y SUBTIPO 19
TABLA 2. COMBINACIONES DE *TO/FROM DS* 20
TABLA 3. CARACTERÍSTICAS DEL 802.11B 32

Lista de Acrónimos

- **AP:** Punto de Acceso (*Access Point).*
- **BSA:** Área Básica de Servicio (*Basic Service Area).*
- **BSS*:*** Conjunto de Servicios Básicos *(Basic Service Set).*
- **DSSS:** Espectro Extendido por Secuencia Directa. (*Direct Secuence Spread Spectrum).*
- **FHSS:** Espectro Extendido por Salto de Frecuencia. (*The Frequency Hopping Spread Spectrum).*
- **HR:** Alta tasa *(High Rate).*
- **IBS**S: Área de Servicio Básico Independiente (*Independent BSS*).
- **IEEE:** Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (I*nstitute of Electrical and Electronics Engineers).*
- **ETSI:** Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones(*European Telecommunications Standards Institute*)
- **IP:** Protocolo de Internet (*Internet Protocol).*
- **LAN:** Red de Área Local (*Local Area Network).*
- **MAN*:*** Red de Área Metropolitana *(Metroplitan Network).*
- **MAC:** Control de Acceso al Medio (*Medium Access Control).*
- **OSI:** Interconexión de Sistemas Abiertos (*Open Systems Interconection).*
- **PAN:** Red de Área Personal (*Personal Area Network).*
- **PDC:** Controlador Primario de Dominio (*Primary Domain Controller).*
- **PHY:** Capa Física (*Physical layer).*
- **WAN:** Red de Área Amplia (*Wide Area Network).*
- **WPAN:** Red inalámbrica de Área Personal (*Wireless Personal Area Networks).*
- **WIPAS:** Sistema de Acceso Inalámbrico IP (*Wireless IP Access System).*

Introducción

Las redes de área local inalámbricas (*Wireless LANs*) ofrecen diversas ventajas dentro de las cuales se destaca el aumento en la capacidad de comunicación, lo cual se refleja en niveles de movilidad y adaptabilidad, hechos que han permitido dar la importancia desde el punto de vista tecnológico y estratégico, a la utilización de dichas redes.

La transmisión de datos entre equipos dentro de una misma área de cobertura, situados en un entorno inalámbrico, requiere de un reparto dinámico del canal de comunicación, es por ello, que los métodos de el acceso al medio, el análisis, los procesos, y la gestión, conllevan a la realización del Desarrollo de un Banco de Prueba que permita describir los protocolos que tienen dicha función, específicamente, los protocolos a nivel de capa de enlace.

El Estándar IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) 802.11, define las normas de funcionamiento que se deben que tomar en cuenta en el establecimiento de una comunicación, haciendo uso de tecnología Inalámbrica.

La presente investigación se encuentra estructurada en cinco capítulos, los cuales abarcan el desarrollo y resultados obtenidos.

En el Capítulo I se desarrolla el planteamiento del problema, el por qué y para qué del proyecto, así como los objetivos necesarios para su realización (generales y específicos), la justificación de la investigación, sus alcances y limitaciones. El Capítulo II contiene el conocimiento, los conceptos y las bases teóricas necesarias para el desarrollo del proyecto. El Capítulo III describe la metodología utilizada, es decir, las actividades que se realizaron durante el trabajo de grado para alcanzar los resultados y cumplir con los objetivos propuestos; presenta y describe los procedimientos aplicados en cada una de las fases de la investigación: revisión documental, diseño, programación, pruebas realizadas, entre otros. En el Capítulo IV se presentan y explican cada uno de los resultados obtenidos; y por último el Capítulo V muestra las conclusiones y recomendaciones.

Para finalizar el trabajo de investigación se encuentran el glosario de términos que ayudara a los lectores para aclarar duda con respecto algunas palabras, la bibliografía consultada que sirvió de apoyo para los aspectos conceptuales, los anexos y apéndices que contienen información complementaria utilizada en este proyecto durante su desarrollo, y que también puede ser de utilidad a la hora de llevar a la práctica esta investigación.

CAPÍTULO I. Planteamiento Del Proyecto

En este capítulo se presenta la descripción del problema planteado en el presente Trabajo Especial de Grado, los objetivos necesarios para revolver dicho problema, su justificación, así como también el alcance y las limitaciones del proyecto.

I.1. Planteamiento del Problema

El protocolo IEEE 802.11 es un estándar de comunicaciones que define el uso de los dos niveles inferiores de la arquitectura OSI (Interconexión de Sistemas Abiertos, *Open System Interconnection*) capa física y capa de enlace de datos, especificando las normas de funcionamiento para la comunicación de datos entre equipos situados dentro de una misma área de cobertura.

Dentro de las distintas revisiones de la norma 802.11 varían ciertas características como: Métodos de capa física, gestión de la transmisión y recepción de datos, frecuencia de los canales, acceso al medio, entre otros.

La tecnología que hay detrás del estándar IEEE WLAN 802.11b es sofisticada y la gran cantidad de aplicaciones y entornos en los que se desarrolla dentro del mundo de las telecomunicaciones, hacen que W-iFi sea una red de compleja, tanto de diseñar y dimensionar, como de implantar, y posteriormente optimizar y operar, para obtener el máximo rendimiento.

Es por ello que el recurso humano debe interactuar con una herramienta que modele un sistema inalámbrico de área local basado en el estándar IEEE WLAN 802.11b, ya que esto contribuye a obtener un mejor análisis y la fácil comprensión de una serie de conceptos y procesos de gran complejidad de los sistemas de telecomunicaciones actuales y futuros, lo cual impulsa a usar métodos diferentes a la implementación para el estudio de los mismos.

Actualmente, en el laboratorio de Telemática I de la Universidad Católica Andrés Bello, no se dispone de una herramienta que represente un modelo descriptivo y práctico, donde se puedan apreciar en tiempo real los procesos relacionados con la

capa física y la capa de enlace (según el modelo de referencia OSI) para protocolos a nivel de enlace, también conocidos como protocolos de capa 2.

Es por todo lo señalado anteriormente que en la presente investigación se buscara subsanar toda esta problemática.

Del planteamiento descrito se deriva la siguiente interrogante: ¿Cómo diseñar un banco de prueba que permita describir los protocolos de acceso al medio del estándar IEEE 802.11?

I.2. Objetivos

I.2.1. Objetivo General

❑ Desarrollar un banco de prueba que permita describir los protocolos de acceso al medio del estándar IEEE 802.11.

I.2.2. Objetivos Específicos

❑ Analizar las características de las distintas revisiones del estándar IEEE 802.11 a nivel de capa física y capa MAC (Control de Acceso al Medio, *Medium Access Control*) del modelo OSI.

❑ Diseñar las rutinas que permitan describir los procesos asociados a la capa física y la capa MAC a través de los protocolos de acceso al medio CSMA/CA (Acceso Múltiple con Prevención de Colisiones, *Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance*) y MACAW (Acceso Múltiple con Prevención de Colisiones para Redes Inalámbricas, *Carrier Sense Multiple Access for Wireless*) sobre el estándar escogido, en el lenguaje de programación LABVIEW.

❑ Estudiar las características de la Plataforma PXI (*PCI eXtension for Instrumentation*) de NATIONAL INSTRUMENT.

❑ Acoplar las rutinas obtenidas de capa física y capa de enlace a la plataforma PXI.

❑ Realizar las pruebas pertinentes del prototipo con las condiciones necesarias para mostrar los procesos anteriormente descritos.

I.3. Justificación

Este proyecto proveerá un instrumento de pedagogía, investigación y de fundamentación a estudiantes e ingenieros de la Universidad Católica Andrés Bello; proporcionando criterios de juicio a la hora de planificar y gestiona una red WIFI de manera adecuada, debido a las características didácticas, prácticas, funcionales y de fácil entendimiento que posee esta herramienta con utilidad metodológica.

I.4. Alcances y Limitaciones

I.4.1. Alcances

En el presente Trabajo Especial de Grado se describirán únicamente los procesos asociados a los protocolos de capa 1 y capa 2 (capa física y capa de enlace) del modelo de referencia OSI, para lo cual se implementaran diversas rutinas utilizando la herramienta *LabView en* la plataforma PXI de NATIONAL INSTRUMENTS y así poder desarrollar el Banco de Prueba. Se implementarán únicamente las rutinas de uno de los subniveles de la capa MAC y será aquel que defina la función de coordinación distribuida (DCF), a fin de ofrecer los servicios con contienda que permitirán realizar las pruebas del prototipo. No se utilizará un AP, ya que, el tipo de red configurada será de tipo "*ad-hoc"* (IBSS) para emular el proceso de asociación de una estación con la red.

El prototipo incluirá la presentación de los datos en una interfaz gráfica, utilizando la técnica de simulación como un método de investigación, a fin de obtener un modelo de sistema inalámbrico de área local basado en el estándar 802.11b, que permitirá al usuario cambiar ciertos parámetros susceptibles a ser modificados en la operación real (nivel de ruido, cantidad de datos transmitidos, entre otros). Se generaran las mínimas condiciones críticas para evaluar el desempeño de la herramienta al ejecutarlo en un sistema computarizado de alto rendimiento. Asimismo no se incluirán rutinas de enrutamiento, tampoco habrá fragmentación de datos y ningún tipo de establecimiento de sesión. No se implementaran aspectos de

seguridad, tales como: la protección de la información en el tráfico (encriptación), ni la autenticación en el control de acceso por nombre/clave.

I.4.2. Limitaciones

La obtención de divisas por parte de la Universidad Católica Andrés Bello para comprar nuevas tarjetas de adquisición de datos y el software de simulación *LabView* 10 a fin de superar las limitaciones (tiempo e implementación de datos reales) propias del equipamiento disponible actualmente.

El estudio se realizó bajo las condiciones de ruido, temperatura e influencia del ambiente únicas del laboratorio en el que se encuentra el equipo utilizado y no se hicieron pruebas variando éstas condiciones.

CAPÍTULO II. Marco Referencial

En este Capítulo se enmarca la investigación en un sistema coordinado y coherente de conceptos y proposiciones que permitan abordar el problema planteado.

II.1. Redes Inalámbricas

Una red de área local inalámbrica "WLAN" (*Wireless Local Area Network*) puede definirse como un conjunto de estaciones interconectadas entre sí, que utilizan como medio de transmisión el aire, a través de emisiones de radiofrecuencia por donde se difunde la información. Estas redes por lo general, presentan un área de cobertura de unos escasos cien metros y la mayoría de las veces se utilizan en edificaciones como oficinas [**1**]

Las redes WLAN se presentan como una extensión de las redes alambicas tradicionales, incorporando el factor movilidad, y los usuarios puedan conectarse a otras redes existentes, siempre y cuando se encuentren dentro del área de cobertura. Así mismo, la ausencia del cable como medio físico, puede hacer que el usuario realice frecuentes desplazamientos en el lugar donde se encuentre.

El despliegue que facilita la instalación de estas redes, en contraposición con las redes cableadas, proporcionan la ventaja de ser flexible ante conexiones que se pueden realizar en zonas donde existan limitaciones para el establecimiento de dichas redes. Sin embargo, existen diversos tipos de redes las cuales se clasifican, como se mencionó anteriormente, según su área de cobertura:

1. Redes de área personal **PAN (*Personal Area Network*).**
2. Redes de área local **LAN *(Local Area Network*).**
3. Redes de área extensa o metropolitana **MAN *(Metroplitan Network*) [**2**]**

Adicionalmente, las redes se pueden clasificar según otras características. En la **Figura 1** se muestra el esquema de los tipos de redes existentes según su alcance, así como los servicios que prestan cada una de ellas:

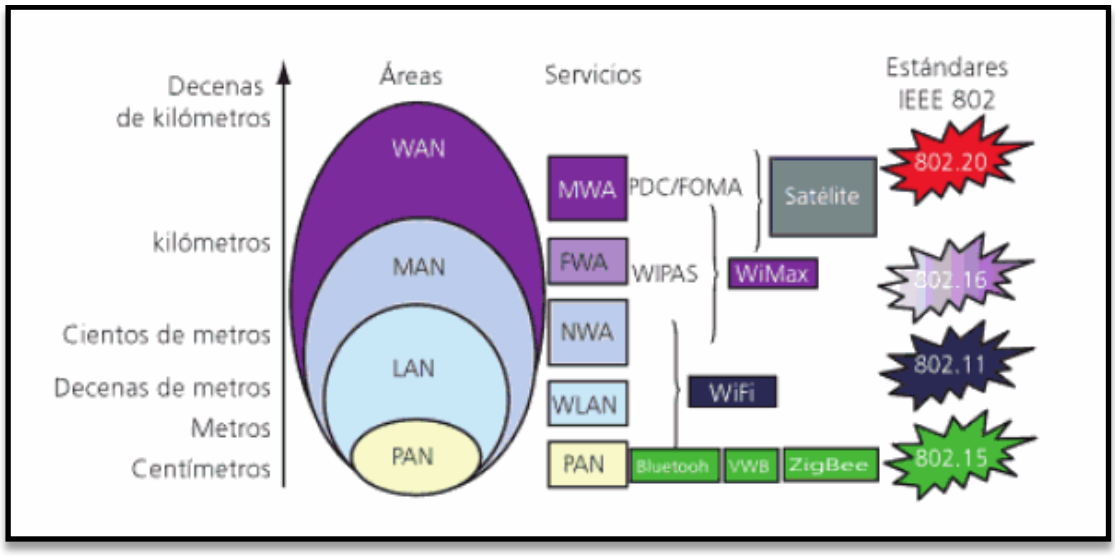


Figura 1. Clasificación de las Redes Inalámbricas [2]

Como tecnología específica se presenta la inalámbrica, que se incorpora a las redes de computadoras tradicionales, para dar paso al cumplimiento de las exigencias requeridas por parte de la evolución de los sistemas de comunicaciones de hoy en día. La tecnología inalámbrica de la redes de área local, está basada en el estándar IEEE 802.11 y es conocida comúnmente como Wi-Fi (Fidelidad Inalámbrica, *Wireless Fidelity*) nombre de la certificación otorgada por la Wi-Fi Alliance.

II.2. Estándar IEEE 802.11

Los estándares son desarrollados por organismos reconocidos internacionalmente, tal es el caso de la IEEE y la ETSI. Una vez desarrollados se convierten en la base de los fabricantes para desarrollar sus productos.

802.11 se refiere a una familia de especificaciones desarrolladas por la IEEE en 1997, para la tecnología de LANs Inalámbricas (WLAN) y especifica una interfaz sobre el aire entre el cliente y una estación base o entre dos clientes inalámbricos.

El estándar de IEEE 802.11 especifica la capa física (PHY) y la capa de control de acceso al medio (MAC) como dos capas que permiten hacer una separación funcional del estándar y, lo que es más importante, hace posible que un único protocolo de datos pueda usarse con distintos métodos de transmisión en

radiofrecuencia (RF) [**3**]. La estructura de capas con la que cuenta el estándar 802.11 se puede apreciar en la **Figura 2**.

Figura 2. Niveles De Referencia Del Modelo OSI [**3**]

La capa PHY selecciona el esquema de modulación más apropiado, dadas las condiciones del canal, y provee el ancho de banda necesario, mientras que la capa MAC decide en forma distribuida como el ancho de banda es compartido; además dicha capa también opera en diversas especificaciones de la capa física (PHY) basándose en el modelo de referencia ISO con la finalidad de que se logre la comunicación inalámbrica y establecer la compatibilidad entre equipos que pueden implementarse dentro de la WLAN.

Una red Wi-Fi es una red que cumple con el estándar 802.11 y a los dispositivos certificados por la Wi-Fi Alliance se les permite usar el siguiente logotipo(figura 3):

Figura 3. Logotipo de Wi-Fi [4]

II.2.1. Arquitectura IEEE 802.11

Una LAN 802.11 está basada en una arquitectura celular, es decir, el sistema está dividido en celdas, donde cada celda denominada BSS (Conjunto de Servicios Basicos -*Basic Service Set*) es controlada por una Estación Base llamada Punto de Acceso (AP), aunque también puede funcionar sin la misma, en el caso que las máquinas se comuniquen entre ellas.

Estas configuraciones como se mencionó anteriormente utilizan el concepto de celda, lugar donde la señal radioeléctrica es efectiva. En el caso de las redes inalámbricas esta celda suele tener un tamaño reducido y para aumentar el número de celdas, y por lo tanto el área cubierta por la red, se utilizan los puntos de acceso. Los AP de las distintas celdas están conectados a través de algún tipo de red troncal llamado Sistema de Distribución. [**4**]

La WLAN completamente interconectada, incluyendo las distintas celdas, los Puntos de Acceso respectivos y el Sistema de Distribución es denominada en el estándar como un Conjunto de Servicio Extendido (*Extended Service Set* - ESS).

En cuanto a la arquitectura lógica del estándar se puede decir que la BSS es simplemente un grupo de estaciones que se comunican entre sí, y pueden ser de dos tipos diferentes, que son los independientes y los de tipo infraestructura (ver **Figura 4**) que constituyen el tipo de red o conjunto básico de servicios.

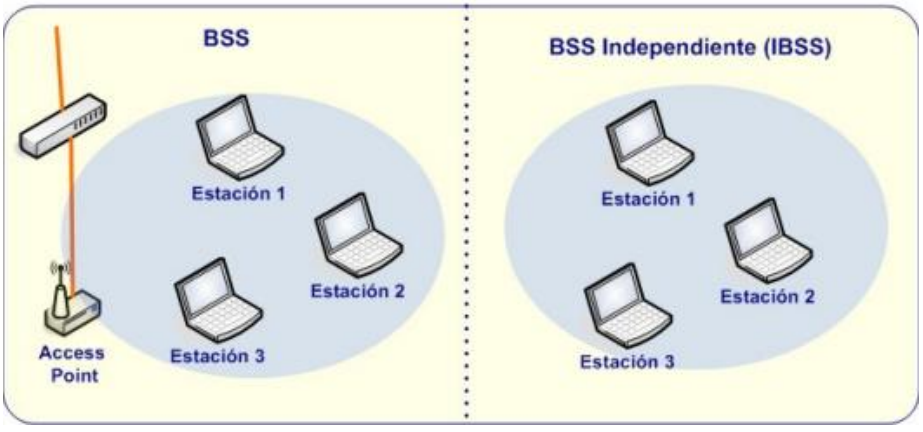


Figura 4. Comparación entre BSS de Infraestructura y BSS independiente. [3]

IBSS: Representa una topología en modo "*Ad-Hoc"* conocido también como "*Peer to Peer"*, que consiste en un grupo de computadores que se comunican cada uno directamente con los otros a través de las señales de radio sin usar un punto de acceso. Los computadores de la red inalámbrica que quieren comunicarse entre ellos necesitan usar el mismo canal radio y configurar un identificador específico de Wi-Fi, denominado SSID (Indentificador de Servicios, *Service Set Indentifier*), en "Modo *Ad Hoc"*. [**5**]

BSS: También llamadas "Redes de Infraestructura" se distinguen por el uso de un AP para realizar todas las comunicaciones dentro del área de cobertura. El punto de acceso es el elemento que tiene la capacidad de gestionar todo el tráfico de las estaciones y que puede comunicarse con otras redes. Un sistema puede constar de una o varias células; en el caso de varias celdas, los diferentes AP se conectan entre sí mediante un "*backbone"* llamado DS (Sistema de distribución, *Distribution System*), típicamente Ethernet, aunque en algunos casos también puede ser inalámbrico como lo muestra la **Figura 5.** [**5**]

Figura 5. Sistema de Distribución (Distribution System). [3]

La capa física define las especificaciones eléctricas y el tipo de señal para la transmisión de datos, mientras que la capa de enlace de datos define la interfaz entre el bus de la máquina y la capa física, especialmente un método de acceso similar al

utilizado en el estándar Ethernet y las reglas de comunicación entre diferentes estaciones. En la figura 6 se muestran los distintos componentes del estándar (capas).

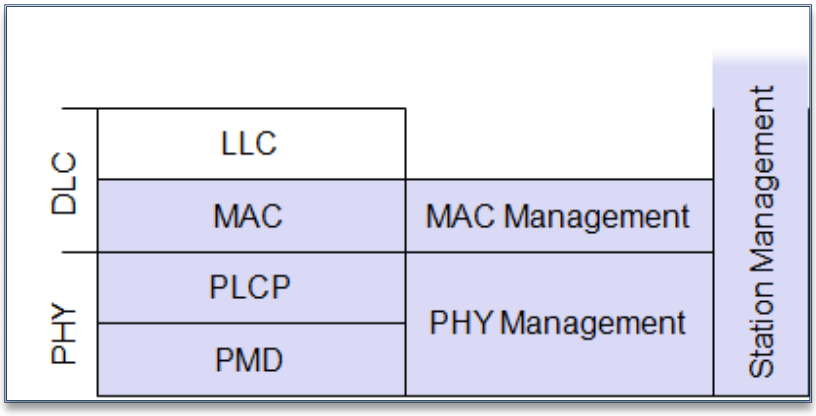


Figura 6. Arquitectura 802.11 [6]

II.3. Capa Física (Nivel Físico)

La capa física representa una de las partes del sistema donde se define el tipo de modulación a emplear y la gestión tanto de la transmisión como de la recepción de los datos. El uso de ondas radio en la capa física requiere una capa PHY separada en dos componentes genéricas que son:

✓ **PLCP** (*Physical Layer Convergence Procedure*): Adapta las capacidades del sistema físico dependiente del medio; permite la comunicación de la capa física con la capa MAC. Aquí se minimiza la dependencia de la capa MAC de la sub-capa PMD, gracias al mapeo de los datos en un formato de trama que puede ser transmitido por la PMD. Además entrega tramas que llegan del medio (espacio libre) a la capa MAC. Añade los preámbulos para lograr sincronismo.

✓ **PMD** (*Physical Medium Dependent*): Define las características y un medio de transmitir y recibir a través de un medio sin cables (modulación y demodulación de las tramas de transmisión.). Se encuentra bajo la dirección de la PLCP; proporciona la transmisión y recepción de las unidades de datos de la capa física entre estaciones vía el medio. [7] [8]

El estándar IEEE 802.11 define tres posibles opciones para la elección de la capa física, es decir, diferentes técnicas de transmisión como lo son:

- **DSSS** (Espectro expandido por secuencia directa, *Direct Sequence Spread Spectrum*).
- **FHSS** (Espectro expandido por salto de frecuencias, *Frecuency Hopping Spread Spectrum*)
- Luz infrarroja en banda base (sin modular).

La tecnología de espectro expandido consiste en difundir la señal de información a lo largo del ancho de banda disponible, es decir, en vez de concentrar la energía de las señales alrededor de una portadora concreta lo que se hace es repartirla por toda la banda disponible. [**1**]

II.4. Capa MAC (Nivel de Enlace)

Los diferentes métodos de acceso del IEEE 802.11 están diseñados según el modelo OSI; se encuentran ubicados y en la parte inferior del nivel de enlace o subnivel MAC. La capa de gestión MAC controlará aspectos como sincronización y los algoritmos del sistema de distribución, que se define como el conjunto de servicios que precisa o propone el modo infraestructura. El IEEE 802.11 define una única capa MAC divida en dos subcapas o subniveles para todas las redes físicas. [**6**]

Como se puede apreciar en la figura 7 los protocolos de Control de Acceso al Medio (MAC) pueden ser clasificados de acuerdo a la arquitectura de red para las cuales están diseñados: Protocolos MAC distribuidos (DCF) y Protocolos MAC centralizados (PCF).

Figura 7. Subniveles de la capa MAC [6]

La capa MAC, además de la funcionalidad típica de estas capas, realiza funciones que normalmente se implementan en capas superiores: fragmentación, retransmisión de paquetes, y reconocimientos "ACKs" (*Acknowledgement).* El método de acceso es CSMA/CA (Acceso Múltiple con Prevención de colisiones, *Carrier Sense Múltiple Access with Collision Avoidance*), similar al popular CSMA/CD (Acceso Múltiple con Detección de colisiones, *Carrier Sense Múltiple Access with Collision Detection*) pero que no detecta colisiones. [**9**]

El acceso al medio inalámbrico es contralado entonces por las siguientes funciones de coordinación:

- **DCF (Funcion de Coordinación Distribuida, *Distributed Coordination Function):*** No utiliza ningún tipo de control central, similar al acceso Ethernet. Es la base del estándar CSMA/CA, que antes de transmitir verifica que el medio no esté ocupado.

Para evitar colisiones, utiliza "*backoff"* aleatorio después de cada trama; también en algunas circunstancias puede utilizar CTS/RTS (Libre para enviar –*Clear to send*/ Petición de envío – *Request to Send*) para reducir aún más la probabilidad de colisión. Proporciona un servicio de acceso al medio basado en contención que permite a las estaciones interactuar sin necesidad de un control central. Adicionalmente ofrece un proceso de recuperación de errores. [**10**] [**9**]

Para determinar la disponibilidad del medio, este mecanismo emplea dos tipos de detección de portadora: la detección física y la detección virtual. A continuación se describen cada uno de estos mecanismos:

1. **Detección Física:** Es provista por la capa PHY, depende del medio y del tipo de modulación. Cuando una estación desea transmitir, escucha el canal y transmite si éste se encuentra inactivo; no escucha el canal mientras transmite, pero emite toda su trama la cual podría ser destruida debido a interferencia en el receptor. En caso de que encuentre que el canal está ocupado, el transmisor espera hasta que esté libre para comenzar a transmitir. Si ocurre una colisión, las estaciones involucradas esperan un tiempo aleatorio y vuelven a intentar. [5]

2. **Detección Virtual:** El método se basa en el protocolo MACAW (Acceso Múltiple con Prevención de Colisiones para Redes Inalámbricas, Multiple Access with Collision Avoidance for Wireless) la detección es provista por el NAV (Vector de Ocupación de Red - Network Allocation Vector) que representa un campo de la trama que corresponde a un contador que indica el tiempo de reserva del canal; al llegar a cero, quiere decir que el medio está disponible. Este vector asegura que las operaciones atómicas (Figura 8) no sean interrumpidas; cuando la barra de NAV está presente las estaciones deben diferir el acceso al medio como se muestra en la Figura 9.

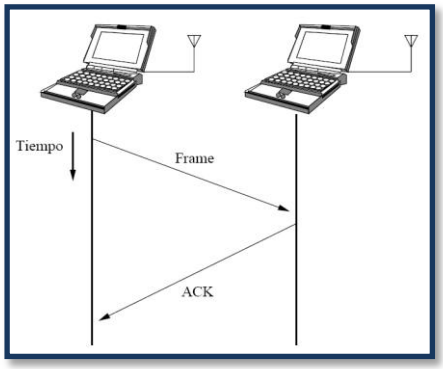


Figura 8. Operación Atómica. [10]

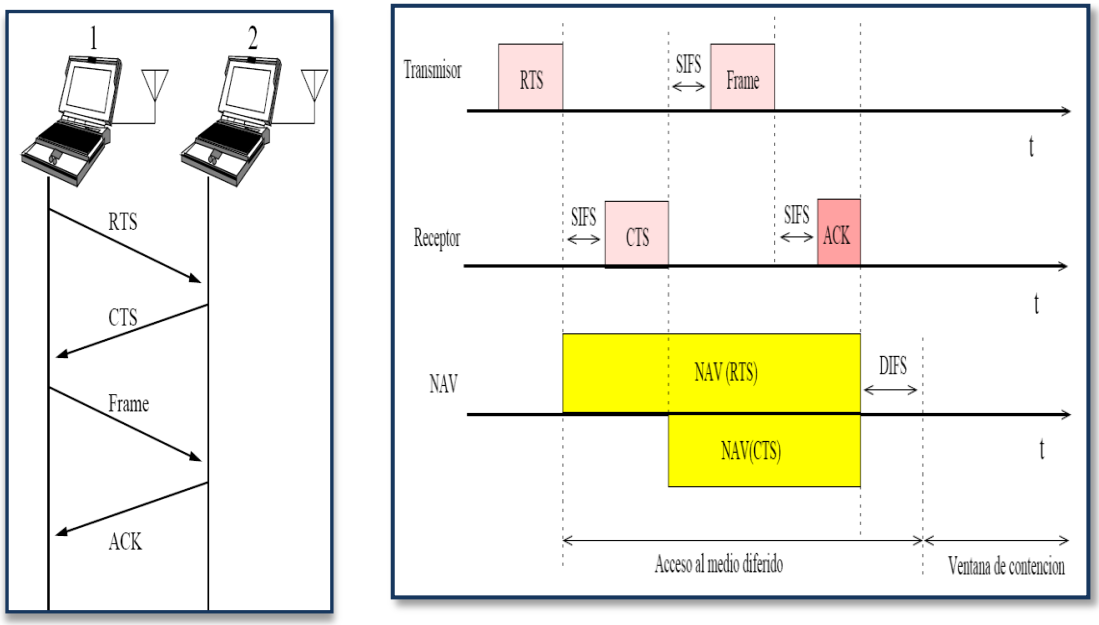


Figura 9. Uso del NAV. [10]

➢ **PCF (Función de Coordinación Puntual, *Point Coordination Function):*** Utiliza el AP para controlar toda la actividad en su celda; la estación base sondea a las demás estaciones, preguntándoles si tienen algo para enviar. El mecanismo básico es que la estación base difunda su trama de sondeo de manera periódica (10 a 100 veces/seg). Esta trama tiene parámetros del sistema, como secuencias de salto y tiempos de permanencia, sincronización de reloj, entre otras.

PCF y DCF pueden coexistir, si se define cuidadosamente el tiempo entre tramas. [**9**]

II.4.1. Espaciamiento Intertrama

El espaciamiento intertrama juega un rol fundamental en la coordinación del acceso al medio de transmisión. En la **Figura 10** se muestra la relación entre el SIFS (Espacio Corto entre Tramas, *Short InterFrame Space*), PIFS (Espaciado entre Tramas Coordinadas, *PCF InterFrame Spacing*) y DIFS (Espaciado entre Tramas Distribuidas, *DCF InterFrame Spacing*), los cuales representan tiempos fijos para que las distintas estaciones puedan interoperar.

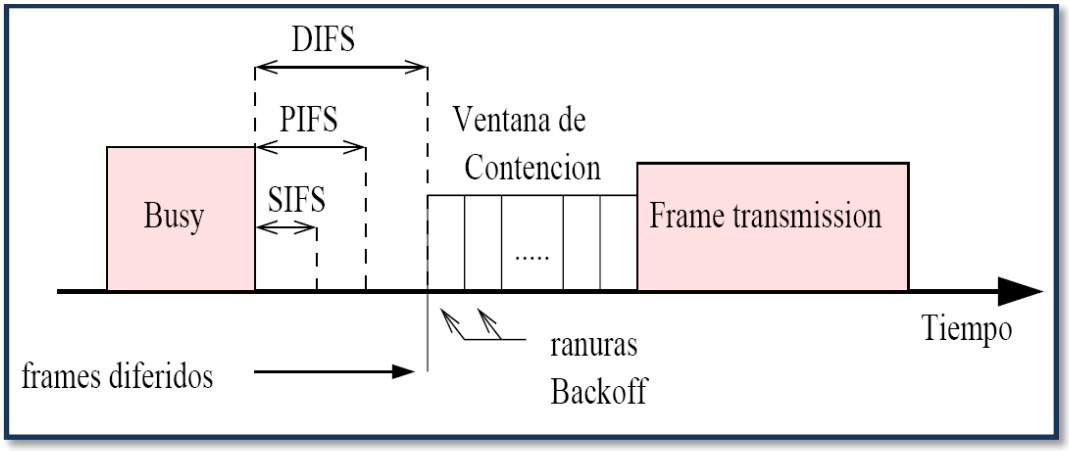


Figura 10. Espaciamiento intertrama [6]

✓ **SIFS**: Permite a las distintas partes de un diálogo simple la posibilidad de transmitir sin la intervención de la estación base. Se usa para transmisiones de alta prioridad como RTS/CTS y ACK.

✓ **PIFS**: Siempre hay una sola estación que puede responder dentro de un SIFS, si no lo hace, transcurre un tiempo PIFS y la estación base puede enviar una trama de sondeo.

✓ **DIFS**: Es el tiempo mínimo que el medio debe estar desocupado; pasado este tiempo, las estaciones pueden ocupar el medio. Si la estación base no tiene nada que decir, pasa un tiempo DIFS, aquí cualquier estación podría intentar adquirir el canal para enviar una nueva trama.

Las operaciones atómicas (de reconocimiento positivo) comienzan igual que las transmisiones regulares, es decir, deben esperar que termine el DIFS antes de comenzar, pero el resto de las operaciones que lo constituyen utilizan el SIFS, a fin de lograr que las estaciones puedan retener el medio sin ser interrumpidas. [11]

En general, cuando se utiliza SIFS y NAV las estaciones pueden apropiarse del medio por el tiempo que estimen necesario.

II.4.2. Acceso Basado en Contención

La mayor parte del trafico 802.11 utiliza la función DCF que proporciona un servicio de acceso al medio basado en contención que permite a las estaciones interactuar sin necesidad de control central, por lo cual puede ser utilizado por redes IBSS o por redes de Infraestructura.

Antes de transmitir la estación verifica si el medio está desocupado; en caso de estar ocupado se aplica el algoritmo de "*Backoff"* a fin de evitar las colisiones. Pero si el medio está desocupado por un tiempo mayor que el DIFS, entonces la transmisión puede comenzar de forma inmediata. Recordemos que la detección de portadora se puede hacer en forma física o virtual. Al recibir la trama sin errores, el medio se encuentra libre al menos durante el DIFS.

Si el medio se encuentra ocupado, la estación debe esperar que el canal de desocupe (acceso diferido) por el tiempo DIFS y se prepara para el procedimiento de "*backoff"*. [12]

II.4.3. Recuperación de Errores con DCF

La estación que inicia un intercambio atómico de tramas es responsable de la detección y corrección de errores en las tramas. Al tener que retransmitir una trama, es incrementado el contador de reintentos que se encuentra asociado a cada una de las tramas o fragmentos, los cuales también tienen asociado un tiempo de vida por la MAC. Al iniciar la transmisión del primer segmento, comienza a correr este tiempo de vida, que al expirar hace que se descarte la trama y no se efectúa un nuevo intento por retransmitir los fragmentos restantes. [7]

II.4.4. *Backoff* en DCF

Luego que la transmisión de una trama se completa y ha transcurrido el DIFS, las estaciones pueden intentar transmitir datos; el tiempo que sigue luego del DIFS se conoce como "ventana de contención" que se encuentra dividida en ranuras. El largo de una ranura dependerá de la velocidad de transmisión. La estación selecciona al azar una de las ranuras y espera antes de intentar acceder al medio, debido a que al existir competencia entre varias estaciones, ganará quien tenga el número menor. [**10**] [**9**] [**4**]

Como se observa en la **Figura 11** la ventana de contención vuelve a su tamaño mínimo cuando las tramas se transmiten exitosamente o cuando el contador de reintento llega a su máximo y se descarta la transmisión de la trama. [**6**]

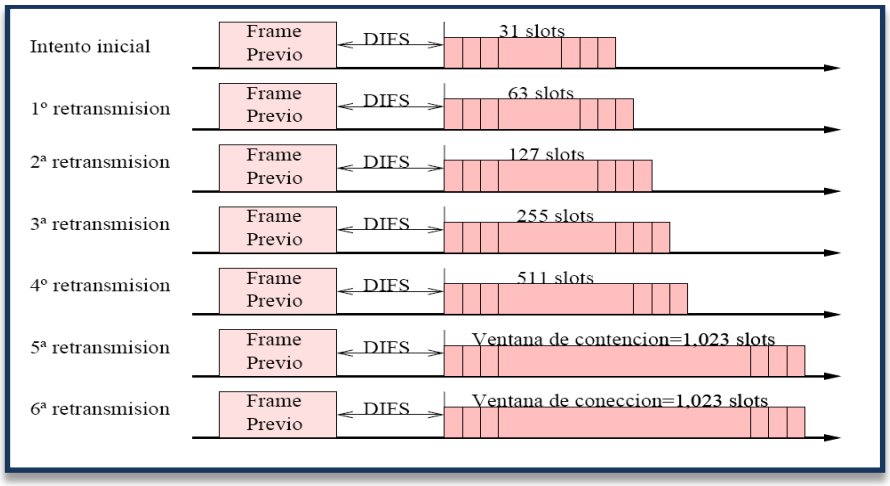


Figura 11. Ventana de Contención [6]

II.4.5. Formato de Tramas

El PDU (Unidad de datos de Protocolo- *Protocol Data Unit*) de la capa MAC es la trama, describiéndose como una secuencia de campos en orden especifico. De izquierda a derecha será el orden en cómo los campos pasaran a la capa física y el bit más significativo de cada campo aparece al final. Esta trama se encuentra constituida por:

- **Cabecera Mac:** Se encuentra conformada por los campos de control, duración, dirección y el de control de secuencia de información.
- **Cuerpo de longitud variable**: contiene información sobre el tipo y el subtipo de trama.
- **FCS (Secuencia de Revisión de Trama - *Frame Check Sequence*):** Se encarga de manejar todo lo referente al IEEE 32-bit CRC.

La trama MAC tiene un formato compuesto por un conjunto de campos dispuestos en un orden específico. Los campos de Control de trama (*Frame Control*) , duración (*Duration/ID*)y Dirección 1 (*Address 1*), y el ultimo campo, FCS, como se muestra en la figura, son los campos que aparecen necesariamente en todos los tipos de tramas, incluyendo el tipo y subtipo. El resto como direccion 2 (*Address 2*), direcccio3 (*Address 3*), Secuencia de Control (*Sequence Control*), Dirección 4 (*Address 4*), calidad de Servicio (*QoS control*), y Cuerpo (*Frame Body*), estarán presentes en cierto tipo o subtipo de tramas. [**13**] [**9**] [**7**]

Como se muestra en la **Figura 12** todos los campos están numerados por octetos, que representa la longitud del campo, en este caso, la cantidad de bits se obtendrá al multiplicar por ocho, y en están colocados en forma incremental por orden de significancia, desde el bit más bajo hasta el más alto.

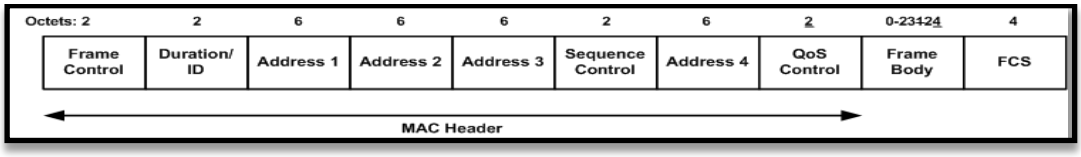


Figura 12. Formato de la Trama MAC. [6]

El cuerpo de la trama es de tamaño variable, y el máximo valor que puede tomar son 2304 octetos, más un sobre encabezado para asegurar la encapsulación de los datos. Los campos de trama se muestran a continuación:

- **Control de Trama**: Este campo contiene los siguientes subcampos: Versión del Protocolo (*protocol versión*), Tipo (*type*), Sub Tipo (*subtype*), Directo a la Estación (*To DS*) ,Desde la Estación (*From DS*), Mas Fragmentos (*More Fragments*), Retransmisión (Retry), Administración de Energía (Power Managment), Mas Datos(*More Data*), Seguridad (*Protected Frame, y Orden (Order*).

El formato con los campos descritos anteriormente se pueden apreciar en la **Figura 13**.

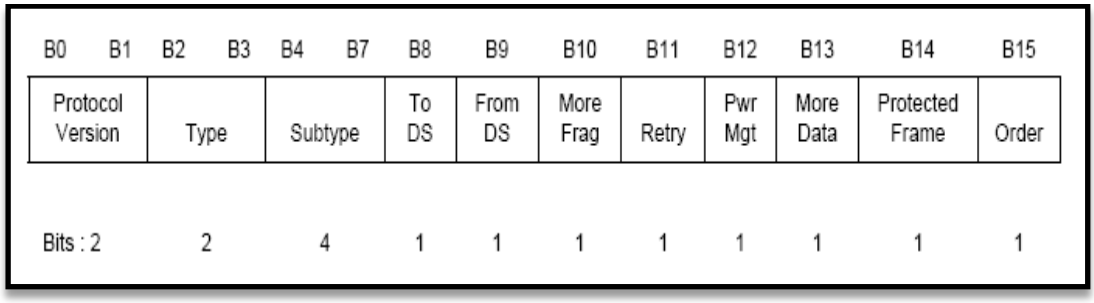


Figura 13. Campos de la Trama de Control. [6]

Versión del protocolo: Este campo tiene dos bits de longitud, y tendrá el valor de 0 para el 802.11. Los otros valores están reservados.

Tipo y subtipo: El campo tipo tiene una longitud de 2 bits y el subcampo de 4 bits. Estos campos en conjunto, identifican la función de la trama. Existen tres tipos de tramas: control, de datos y, administración, donde cada tipo de trama tiene varios subtipos de tramas, de acuerdo al servicio que se este gestionando.

En la tabla 1 se muestran las combinaciones de los tipos y subtipos:

Tabla 1. Combinaciones Validas de Tipo y Subtipo

Tipo		**Subtipo**	
Valores de B3 B2	**Descripción**	**Valores de B7 B6 B5 B4**	**Descripción**
00	Administración	0000	Petición de Asociación
00	Administración	0001	Respuesta de Asociación
00	Administración	0010	Petición de Reasociación
00	Administración	0011	Respuesta de Reasociación
00	Administración	0100	Petición de Prueba
00	Administración	0101	Respuesta de prueba
00	Administración	0110-0111	Reservado
00	Administración	1000	*"Beacon"*
00	Administración	1001	ATIM
00	Administración	1010	Disociación
00	Administración	1011	Autenticación
00	Administración	1100	Desautenticación
00	Administración	1101	Acción
00	Administración	1110-1111	Reservado
01	Control	0000-0111	Reservado
01	Control	1000	Bloqueo de Petición Ack
01	Control	1001	Bloqueo Ack
01	Control	1010	Ps-Poll
01	Control	1011	RTS
01	Control	1100	CTS
01	Control	1101	ACK
01	Control	1110	CF-End
01	Control	1111	CF-End+ CF-Ack
10	Data	0000	Data
10	Data	0001	Data+ CF-Ack
10	Data	0010	Data +CF-poll
10	Data	0011	Data+ CF-Ack+CF-poll
10	Data	0100	Nulo (Sin Datos)

Tipo		Subtipo	
Valores de B3 B2	**Descripción**	**Valores de B7 B6 B5 B4**	**Descripción**
10	Data	0101	CF-Ack (sin datos)
10	Data	0110	CF-poll (sin datos)
10	Data	0111	CF-Ack+ CF-poll (sin datos)
10	Data	1000	QoS Data
10	Data	1001	QoS Data+ CF-Ack
10	Data	1010	QoS Data+CF-poll
10	Data	1011	QoS Data+ CF-Ack+CF-poll
10	Data	1100	QoS nulo (sin Datos)
10	Data	1101	Reservado
10	Data	1110	QoS CF-poll (No data)
10	Data	1111	QoS CF-Ack+CF-poll (Sin datos)
11	Reservado	0000-1111	Reservado

Directo a la Estación (*To Ds*) y Directo desde la Estación (*From DS*): Los distintos valores que pueden tomar estos campos de la trama se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Combinaciones de *To/From Ds*

Valores de "*To Ds y From Ds*"	Significado
To Ds=0 From Ds=0	Trama de datos directo de una estación a otra con el mismo IBSS, o una trama de datos de una estación a otra, ambas sin AP con el mismo BSS. De igual forma para la tramas de control y datos
To Ds=1 From Ds=0	Trama de datos recibida por una estación móvil en una red infraestructura
To Ds=0 From Ds=1	Trama de datos transmitida desde una estación móvil en una red infraestructura
To Ds=1 From Ds=1	Trama de Datos usa el formato con las cuatros direcciones.

Más Fragmentos: Este campo ocupa un bit, y se configura con el valor de 1 si las tramas de datos o de administración tienen más datos que transmitir cuando se alcanza el valor máximo del campo. Toma el valor de cero para otro tipo de tramas.

Retransmisión: Tiene longitud igual a un bit, y toma el valor 1 si alguna trama, de datos o de administración, requiere volver a ser transmitida.

Administración de Energía (*Power Managment*): La longitud de este campo es igual a un bit, e indicar la gestión de la energía de una estación. Cuando el bit toma el valor de 0, significa que la estación se encuentra en estado activo.

Más Data: Para que las estaciones establezcan un modo de ahorro de energía, los puntos de accesos puede almacenar la data recibida desde el sistema de distribución. El punto de acceso configura este bit para indicar que la última trama está disponible y sea enviada a una estación similar de nivelación.

Seguridad (*Protected Frame*): El tamaño de este campo es de un bit, y toma el valor de 1 si el cuerpo de la trama contiene información encriptada. Solo podrá tomar este valor, si el subtipo es de Autenticación en tramas de datos o de administración.

Orden: Es un campo de longitud igual a un bit, y se coloca en 1 cuando la trama ha sido mandada y recibida en perfecto orden, a través de un servicio de clase especifico.

Duración: Si el bit 15 es igual a 0, este campo es usado para establecer el NAV o vector de ocupación de Red. Este valor representa el tiempo en microsegundos del tiempo que se espera que el medio este ocupado mientras una estación se encuentre enviando su trama.

Direcciones: En la trama de 802.11 se encuentran cuatro campos para direcciones. Estas direcciones están numeradas ya que son usadas para distintos propósitos dependiendo del tipo de trama. Generalmente, la dirección 1 se usa para la identificar la estación receptora, la dirección 2 para la transmisora y la dirección 3, para filtrado en el receptor. [**6**]

Se usan el mismo tipo de direcciones que en Ethernet, que son direcciones de 48 bits de longitud. Cuando el primer bit es un 0, la dirección representa una sola estación (“*unicast”*).Si el primer bit se configura con el valor 1, la dirección representa un grupo de estaciones llamadas direcciones “*multicast”.* Si todos los bits son 1, la trama es “*broadcast”* y es entregada a todas las estaciones conectadas a un medio inalámbrico. Los tipos de direcciones son:

1. Destino: Es el receptor final, será la estación que transmita a la capa superiores.

2. Fuente: Identifica la fuente transmisora.

3. Receptor: Indica el destino, es decir, la estación que procesara la trama.

4. Transmisor: Identifica la estación que envía la trama a través el medio inalámbrico.

5. Identificador de área de servicio básico: Es utilizada para identificar las redes inalámbricas que se encuentran en la misma área.

Control de Secuencia: Este campo con 16 bits de longitud, se divide en dos subcampos, el número de fragmento y el número de secuencia. Las capas superiores asignan números a las tramas cuando son pasadas a la capa MAC para la transmisión, y con esto se puede descartar tramas duplicadas. Cuando ocurre fragmentación de la trama, éstas, conservan el mismo número de secuencia.

Cuerpo o carga útil: Es un campo de longitud variable que contiene información específica de los tipos y subtipos de tramas. El mínimo valor que puede tomar es 0 y el máximo 2312 bytes.

FCS (Secuencia de Revisión de Trama, *Frame- Check Sequence*): Es un campo de 32 bits de longitud y contiene el algoritmo CRC. Este algoritmo es aplicado a todos los campos de la cabecera MAC y a la carga útil. Este esquema de detección de errores está estandarizado bajo la norma IEEE 32 bit-CRC.

- **Tramas de Control:** Son las tramas recibidas inmediatamente después de un intervalo SIFS, luego de concluida la transmisión de una posible trama que se encuentre en el medio físico.

Formato de tramas RTS: El formato de las tramas de petición de transmisión o RTS se muestra en la **Figura 14**.

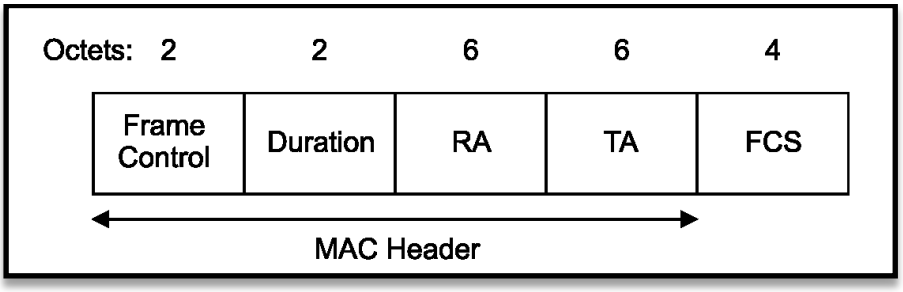


Figura 14. Trama RTS. [**6**]

El campo "RA" contiene la dirección de la estación que va a recibir la data que está pendiente por ser transmitida. Mientras que "TA" contiene la dirección de la estación que va a transmitir la trama RTS. El valor que encierra el campo duración, es el tiempo en microsegundos, requerido para transmitir la trama pendiente, ya sea de datos o administración.

Formato de tramas CTS: La **Figura 15** representa la forma en que se define la trama CTS. Cuando una trama CTS sigue a una trama RTS, el campo RA copia el campo TA de la trama RTS inmediatamente antes de responderle con la trama CTS. Cuando la trama CTS es la primera en ser transmitida, el valor RA se configura con la dirección MAC de la estación transmisora. Para todas las tramas CTS que dan respuesta a tramas RTS, el campo de duración, es el valor obtenido del campo de duración de la trama RTS, menos el tiempo, en microsegundos, requerido para transmitir la trama CTS y el intervalo SIFS.

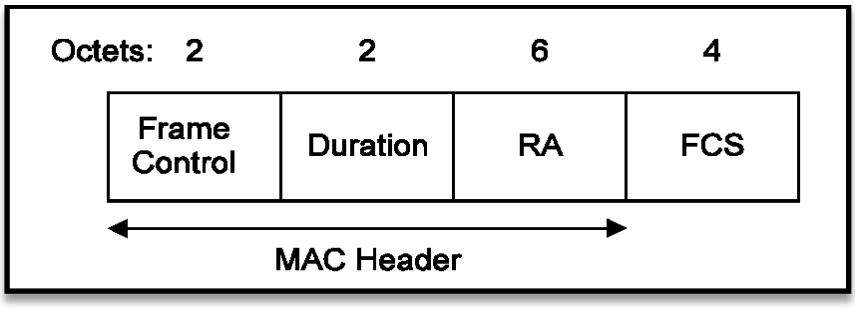


Figura 15. Trama CTS. [**6**]

Formato de la Trama ACK: El formato de la trama ACK se presenta en **Figura 16**. El campo "RA" copia la dirección 2 de la trama de datos, o de control, según sea el caso. La duración toma el valor en microsegundos de los campos de duración de las tramas de administración o de datos, según sea el caso, menos, el tiempo requerido para transmitir la trama ACK y un intervalo SIFS.

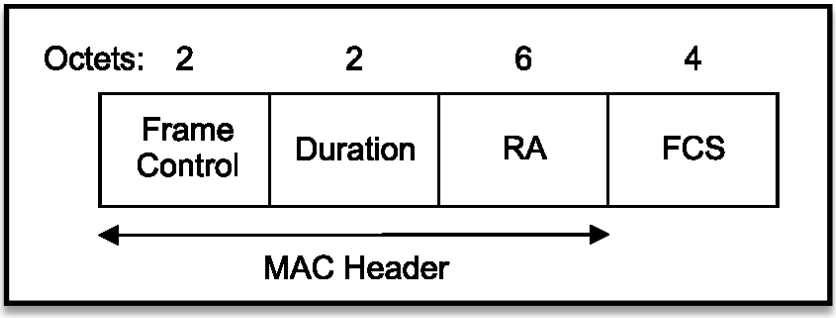


Figura 16. Trama ACK. [**6**]

CAPÍTULO III. Metodología

Este Capítulo consiste en un plan que se traza el investigador, conformado por las estrategias, métodos y procedimientos para alcanzar los objetivos propuestos.

La metodología del trabajo de grado incluye el tipo o tipos de investigación las técnicas que serán utilizados para llevar a cabo la indagación. Es el "cómo" se realizara el estudio para responder al problema planteado**.**

III.1 Tipo de investigación

En lo que se refiere a esta investigación descriptiva Sabino señala que la preocupación de este tipo de investigación "…radica en describir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, utilizando criterios sistemáticos para destacar los elementos esenciales de su naturaleza…" [**14**]

Sobre otros estudios señala Hernández que "buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis…" [**15**]

De acuerdo a las definiciones anteriores, este trabajo se ubicara en el nivel descriptivo, puesto que se procederá a recopilar toda la información necesaria para Desarrollar un banco de prueba que permita describir los protocolos de acceso al medio del estándar IEEE 802.11

Para Arias, el diseño es la estrategia general adoptada por el investigador para responder al problema planteado "…La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios) sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes" [**15**].

La presente investigación será de campo ya que se basara en la obtención y análisis de datos provenientes de la realidad donde ocurren los hechos, por lo tanto se trabajara la misma por fases.

A continuación se describen en forma detallada todos los procedimientos y actividades, enmarcados en fases para la realización del presente trabajo especial de grado:

III.2. Proceso de Investigación y Documentación.

Para desarrollar el modelo y poder simular un sistema de comunicación, se requiere entender cada uno de los subsistemas que lo conforman; comprendiendo en detalle su función específica y como trabajan en conjunto todos estos subsistemas dentro del complejo sistema.

En primera instancia, se realizó una revisión bibliográfica acerca de las Redes WLAN, destacando sus características más resaltantes: El estándar por el cual se rigen este tipo de redes, ventajas, desventajas, tipos de configuración, así como servicios y aplicaciones.

Además se realizó una revisión bibliográfica sobre el estándar IEEE 802.11 y sus diversas extensiones, lo que permitió tener una clara idea de la forma en que se comportan cada una de las tecnologías, dónde se pueden aplicar, cuál es mejor y en qué casos; basándonos en el número de canales, la velocidad de transmisión, las técnicas de modulación, entre otras características.

También, se estudiaron las características fundamentales de la capa física (PHY) en función de los tipos que se pueden implementar, así como los tipos de modulación que la caracterizaban, entre otras. A través de una investigación exhaustiva, fueron obtenidas las principales características del nivel de acceso al medio (MAC) a través de los protocolos de acceso CSMA/CA y MACAW, así como su arquitectura en función de coordinación distribuida (DFC) a nivel de servicios con contienda (colisiones).

III.3. Juicio de Expertos.

Fue necesaria la evaluación las diversas revisiones del estándar 802.11(a/b/g/n/i/w) por parte de expertos, para seleccionar el estándar más completo, el cual proporcionaría todas las características necesarias de los procesos para

caracterizar un protocolo de capa 2, a fin de desarrollar un modelo de sistema inalámbrico con aplicaciones prácticas y demostrativas en el laboratorio de Telemática I.

III.4. Delimitación del estándar.

Una vez consultada la opinión de los expertos, y habiendo obtenido la revisión del estándar para proceder a la implementación de su capa física y capa de enlace, fueron extraídas sus características más esenciales que harían posible su configuración en de la herramienta de programación. Esto constituyó la recopilación de datos para la elaboración del estándar (en forma simplificada), tales como: el formato de las tramas, la administración de las capas, los procesos de comunicación entre ellas, anchos de banda, frecuencias, tipos de modulación, etc.

III.5. Estudio la Plataforma PXI de National Instruments (Hardware).

Se revisaron los manuales, así como de múltiples herramientas y ejemplos disponibles en los foros de la pagina WEB de NI para comprender el funcionamiento de los módulos del PXI que permitieron el desarrollo del sistema, que se encuentra basado en un simulador programable a fin de emular los procesos de capa física y capa MAC de la revisión del estándar 802.11 luego de su simplificación.

III.6. Estudio la Plataforma PXI de *National Instruments* (Software).

Fueron evaluados los lenguajes de desarrollo disponibles dentro de la plataforma, tales como NI LABVIEW, LABWINDOWS™/CVI, MEASUREMENT STUDIO; VISUAL BASIC Y VISUAL C/C++; todo esto para utilizar una herramienta que permitiría validar el modelo a desarrollar, basado en su capacidad de procesamiento, versatilidad, manejo de las interfaces y la secuencialidad en la programación.

Una vez escogido el lenguaje de desarrollo, se procedió a la recopilación de información sobre su utilización y funcionamiento.

III.7. Desarrollo de las rutinas de la capa física del estándar 802.11.

Con la simplificación del protocolo, se hizo posible la emulación de la capa física del estándar 802.11 escogido. Se desarrolló un preámbulo para la capa física con el mapeo de las tramas en el medio PLCP y su cabecera, estableciendo sus valores de acuerdo a las especificaciones; obteniendo una forma simplificada del nivel físico.

Se realizó la programación dentro del lenguaje de desarrollo del PXI de las rutinas de modulación correspondientes al estándar, tratando las cadenas de bits de la cabecera y el preámbulo PLCP, para ser transmitidos a través del espacio libre. Además, fueron obtenidos parámetros adicionales y característicos del proceso físico tales como el espectro de potencia de la señal, su diagrama de constelación, entre otros.

III.8. Desarrollo de las rutinas de la capa MAC del estándar 802.11.

Las rutinas que describen los procesos asociados a la capa MAC, fueron programadas a fin de definir las interfaces entre el bus del equipo y la capa física (Nivel de enlace) aplicando las características esenciales de los protocolos de control de acceso al medio CSMA/CA y MACAW.

A modo demostrativo, también fueron elaboradas las tramas y la respectiva especificación de los campos a utilizar.

III.9. Pruebas con equipos reales, ajustes y validación del diseño.

Finalmente fueron generadas las condiciones críticas para describir así el proceso de la capa MAC, mediante la gestión de la transmisión y recepción de los datos provenientes de la simplificación de las tramas de control y datos características del estándar.

Además, en el modelo de sistema inalámbrico obtenido fueron variados ciertos parámetros susceptibles a ser modificados en la operación real para así realizar las pruebas del prototipo.

CAPÍTULO IV. Desarrollo y Resultados

El siguiente capítulo presenta en forma detallada cada uno de los resultados obtenidos en cada fase del desarrollo de este Trabajo Especial de Grado, desde la investigación hasta la presentación de la interfaz al usuario, según los objetivos planteados para la realización de este proyecto.

IV.1. Proceso de Investigación y Documentación

Para la elaboración de los procesos que describen las funciones de la capa física y capa MAC de IEEE 802.11, fue necesario recabar información acerca de las redes LAN y la tecnología inalámbrica, el estándar por el cual se rigen, abarcando los aspecto de arquitectura, protocolos que intervienen, velocidades de transmisión, dispositivos o componentes, entre otras características.

En el Marco Teórico (Capítulo II) se encuentra el registro de parte de la información, necesaria para ayudar al lector a comprender con cierta facilidad los basamentos funcionales y técnicos en los que está desarrollada la demostración final del banco de pruebas.

IV.2. Juicio de Expertos

El primer estándar, La norma IEEE 802.11 de 1997 aportaba velocidades de 1 ó 2 Mbits/s en la banda de 2,4 GHz. En busca del mejoramiento de algunos parámetros, como las velocidades de transmisión, fue necesario hacer revisiones sobre la norma original.

En 1999 se realizo la revisión al estándar, ratificada como 802.11 a, funcionando en la banda de 5Ghz, utilizando la técnica de modulación denominada: multiplexación por división de frecuencia ortogonal OFDM (Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal, *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing)*, con 52 subportadoras, alcanzando velocidades teóricas de 54 Mbits/s, 12 canales no solapados, 8 para red inalámbricas y 4 para conexiones punto a punto.

La ventaja que aporta la operación en esta banda radica, en la cantidad de canales y los niveles bajos de interferencia. El problema está en que, las ondas de radio son absorbidas con mayor facilidad, haciendo necesario la implementación de mayor numero de equipos, los cuales se deben disponer con línea de vista. [**1**]

Otra revisión realizada en 1999 fue, IEEE 802.11 b, operando en la banda de 2.4 GHz y, la que ha alcanzado mayor aceptación en el Mercado. Utiliza la misma técnica de acceso que la norma original, CSMA/CA. Las velocidades alcanzadas son de 11 Mbits/s teóricamente, y en la práctica se pueden obtener hasta 5.9 Mbits/s. la implementación de la capa física se realiza a través de la técnica de DSSS con modulación QPSK.

La evolución de la revisión b, fue la IEEE 802.11 g, que aparece en el año 2003. Utilizando la misma frecuencia de 2,4 GHz que la revisión b, se hace compatible ambos estándares. La velocidad de transmisión teórica, alcanza los 54 Mbits/s, y prácticamente se obtiene, aproximadamente 22 Mbits/s.

La norma IEEE 802.11 d, es un complemento del estándar 802.11 que fue creado para permitir el uso internacional de las redes 802.11 locales. La ventaja es que permite que distintos dispositivos intercambien información en rangos de frecuencia, según lo permita el país de origen del dispositivo.

El estándar combinado 802.11c no ofrece ningún interés para el público general. Es solamente una versión modificada del estándar 802.1d que permite combinar el 802.1d con dispositivos compatibles 802.11.

La revisión 802.11e, aprobada en 2005, aporta mejoras en el sistema de control y servicios de 802.11.

Su objetivo es soportar tráfico en tiempo real con garantías de Calidad de Servicio (QoS). Para ello introduce clases de tráfico y un nuevo sistema de coordinación llamado HCF (Función de Coordinación Hibrida, *Hybrid Coordination Function*) con dos tipos de acceso:

- **EDCA (Acceso al Canal Distribuido Mejorado, *Enhanced Distributed Channel Access*):** Sistema distribuido de control. Se basa en prioridades de tráfico.
- **HCCA (Acceso al Canal HFC, *HCF Controlled Channel Access*):** Sistema centralizado de control. HCF contempla periodos controlados o no, con la diferencia principal de que el AP puede iniciar un periodo controlado en cualquier momento y no de forma predeterminada.

La norma IEEE 802.11 f es una sugerencia que se le da a los fabricantes para que exista mas compatibilidad entre los equipos. Utiliza el *protocolo IAPP (Inter-Access Point Protocol*) que le permite a un usuario itinerante cambiarse claramente de un AP a otro mientras está en movimiento sin importar qué marcas de AP se usan en la infraestructura de la red.

El estándar IEEE 802.11 h permite la unión entre el estándar 802.11 y el estándar europeo (HiperLAN 2), para así cumplir con las regulaciones europeas.

La norma IEEE 802.11 i fue creado para aumentar los niveles de seguridad en las transferencia de datos. Se base en el AES (estándar de cifrado avanzado, *Advanced Encryption Standard*) y permite cifrar transmisiones que se ejecutan en las tecnologías IEEE 802.11 a, IEEE 802.11 b, IEEE 802.11g.

El estándar 802.11n fue ratificado por la organización IEEE en septiembre de 2009 con una velocidad de 600 Mbps en capa física, lo que podría ser unas 10 veces más rápido que la de los estándares 802.11 a, 802.11 g, y unas 40 veces más rápido que el estándar 802.11b.

Se basa en el estándar MIMO(Múltiples entradas-Múltiples Salidas, *Multiple Input Multiple Output*), que permite utilizar varios canales para enviar y recibir datos. El IEEE 802.11 n puede trabajar en dos bandas de frecuencia, 2.4 GHz y 5GHz. Es compatible con otras versiones anteriores de WI-FI.

Luego de haber discutido todas estas características con los expertos, es decir, mediante las opiniones de los diferentes profesores, se obtuvo como resultado que el estándar IEEE 802.11 en su revisión “b”, era la más completa e indicada para mostrar

los procesos tanto de la capa física como de la capa MAC para los sistemas de redes de área local.

IV.3. Delimitación del estándar

Una vez obtenida la revisión del estándar para emular la capa física y simular los procesos más sobresalientes de la capa MAC, se procedió a indagar sobre las características de revisión, con el fin de compararlas, para determinar cuál de ellas se adaptaba de mejor manera al desarrollo de este proyecto. La investigación estuvo enmarcada en su descripción, funcionamiento y principios.

Se pudo constatar que, IEEE 802.11 b, la tecnología conocida comercialmente como Wi-Fi (*Wireless Fidelity*), sería la utilizada en el desarrollo del proyecto debido a sus características de modulación y velocidades de transmisión. A continuación se muestra la **Tabla 3** con las principales características de dicho estándar:

Tabla 3. Características del 802.11b

Nombre del Estándar	Frecuencia [GHz]	Velocidad [Mbp/s]	Rango (ambiente cerrado) [m]	Rango (aire libre) [m]	Alcance [m]	Tipo de Modulación	Compatibilidad
802.11 b	2.4	11	100	200	300	DBPCK	802.11-802.11g

A nivel de capa MAC, las tramas de red a utilizar fueron simplificadas según el tipo de red a implementar debido a las características propias del equipo a utilizar; delimitando el estándar únicamente a las partes que involucran principios de la revisión b para redes *ad-hoc* (BSS). Esto quiere decir, que el funcionamiento de la red inalámbrica modelo estará basada en contención, siendo esta una función disponible en DCF, ya que, no es posible utilizar un AP que se encargue de controlar o administrar los accesos a la red.

IV.4. Estudio la Plataforma PXI de National Instruments (Hardware y Software)

PXI es una plataforma basada en PC con alto rendimiento desarrollada por NI, su instrumentación modular de ranuras PCI y PCI *Express*, permite su utilización en múltiples aplicaciones, pues el hardware y software son conocidos equipos comerciales.

El equipo utilizado para el desarrollo del proyecto tiene una arquitectura que está formada por tres componentes básicos: el chasis, el controlador de sistema y los módulos periféricos presentes en la **Figura 17**.

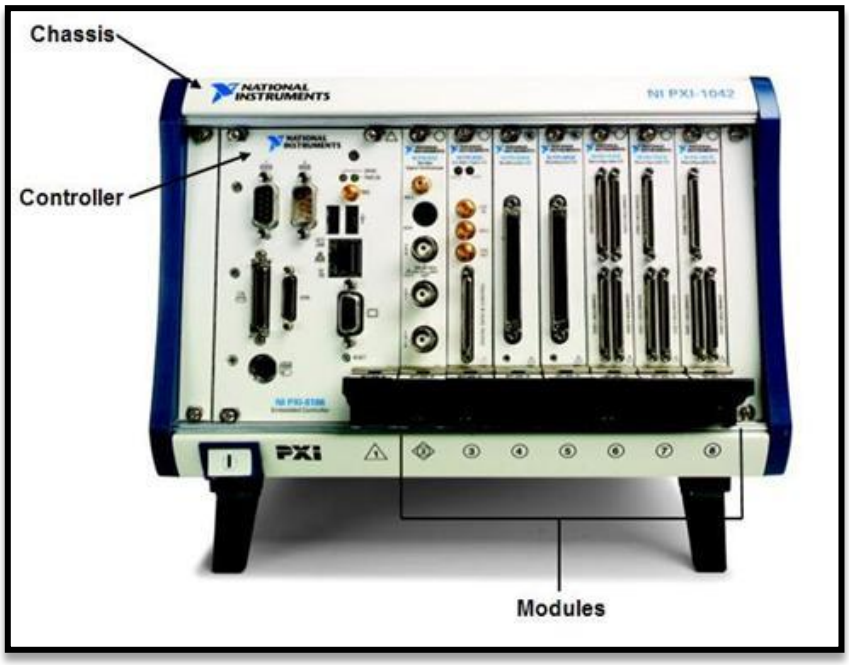


Figura 17. Arquitectura Básica del PXI. [**16**]

El chasis es el empaque robusto industrializado del sistema, que puede tener varios tamaños dependiendo de su capacidad de expansión, dicho tamaño se mide en unidades de "U" indicando cuantas tarjetas es capaz de soportar, como muestra la **Figura 18**.

Figura 18. Chasis del PXI. [**16**]

El controlador de sistema es un PC común conectado al PXI, y un hardware de alto rendimiento embebido con los componentes básicos de un computador común:

- ✓ Procesador INTEL CORE 2 DUO T7400 de 2.16GHZ
- ✓ Memoria doble canal DDR2 de 667mhz
- ✓ Disco duro de 60GB
- ✓ Controlador Ethernet
- ✓ GPIB (IEEE 488).
- ✓ Puerto serial
- ✓ Puerto paralelo
- ✓ Puerto USB,
- ✓ Sistema operativo WINDOWS

En la **Figura 19** se muestra el controlador NI PXI-8106.

Figura 19. Controlador NI PXI-8106. [**16**]

El software para PXI basado en WINDOWS es el mismo que el software de un PC basado en WINDOWS, por ello no es necesario reescribir programas especialmente para PXI. Por ello es posible utilizar lenguajes de desarrollo tales como NI LABVIEW, LABWINDOWS™/CVI Y MEASUREMENT STUDIO; VISUAL BASIC Y VISUAL C/C++ y la implementación de la Arquitectura de Software para Instrumentos Virtuales (VISA), la cual ha sido extensamente adoptada en el campo de la instrumentación, es requerida por PXI para la configuración y control de instrumentos VXI, GPIB, seriales y PXI. [**16**]

Por último, los módulos, son las tarjetas de expansión especializadas. Al ser un PXI una industria de estándar abierto, existen más de 1500 módulos por parte de más de 70 proveedores, en otras palabras, la variedad y aplicación de productos de bastante amplia. Los módulos disponibles en la Universidad Católica Andrés Bello para su uso y experimentación durante el desarrollo de este proyecto fueron:

- ✓ NATIONAL INSTRUMENT **PXI-5610,** es un "*upconverter".* el traslado de frecuencias hacia arriba en sistema de comunicaciones
- ✓ NATIONAL INSTRUMENT **PXI-5441**, es un generador de forma de onda arbitraria con procesamiento de señal
- ✓ NATIONAL INSTRUMENT **PXI-5600**, es un "*downcoverter"* para el traslado de frecuencias hacia abajo en un sistema de comunicaciones.
- ✓ NATIONAL INSTRUMENT **PXI-5142**, es un digitalizador de 14 bits con procesamiento de señal que permite la adquisición de datos bajo altas prestaciones. Posee 2 canales de entradas con conectores BNC muestreados simultáneamente de 100MS/s a 2GM/s en tiempo real utilizando 14 bits de resolución. Tiene 100MHz de ancho de banda y filtros de ruido y anti solapamiento y permite decimar con protección de solapamiento para todas las muestras, entre otras cualidades útiles para otras aplicaciones.

Figura 20 . Módulo NI PXI 5142. [**16**]

IV.5. Desarrollo de la capa física (PHY)

El estándar 802.11b establece que, los campos y valores tanto del preámbulo como de la cabecera PLCP se agregan en la PHY antes de enviar los datos. LABVIEW cuenta con una herramienta de modulación que permitió desarrollar rutinas con los parámetros característicos que disponen las especificaciones del sistema en cuanto a la utilización de una modulación digital para emular el protocolo a nivel físico.

Los bits que constituyen las tramas de la capa de enlace fueron utilizados por la capa física para hacer posible la transmisión y recepción de dichas señales a través del espacio libre (medio inalámbrico) y llevarlas a los dispositivos que constituían la red. Para la transmisión y recepción de los datos fue importante tener claro el proceso que ocurre en todo sistema de comunicación y los elementos que intervienen en el mismo.

Existen tres elementos básicos en un sistema de comunicación (**Figura 21**) los cuales fueron tomados en cuenta para la configuración de la capa física del modelo: transmisor, canal de transmisión y receptor.

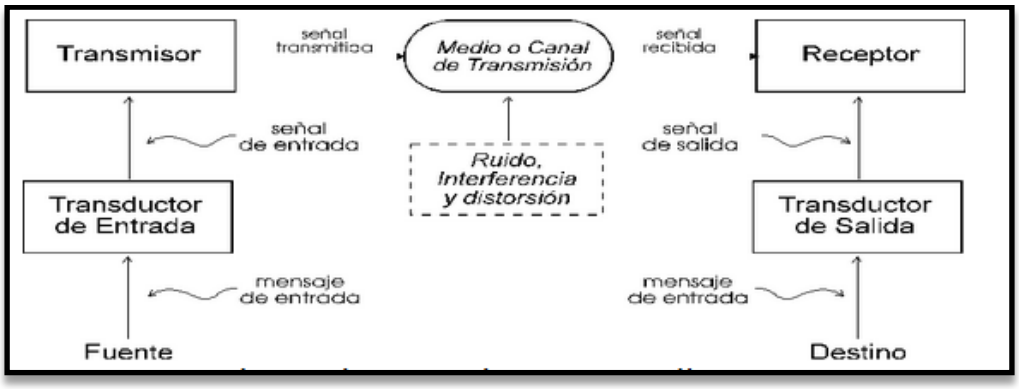


Figura 21. Elementos Básicos de un Sistema de Comunicación. [**17**]

➢ Rutinas de la Capa PHY

La capa física de IEEE 802.11, describe el proceso de convertir en unos y ceros la data proveniente de las capas superiores. [**12**] El diseño de las rutinas de la capa PHY se realizó basándose en los procesos que se describen en la **Figura 22** que se muestra a continuación:

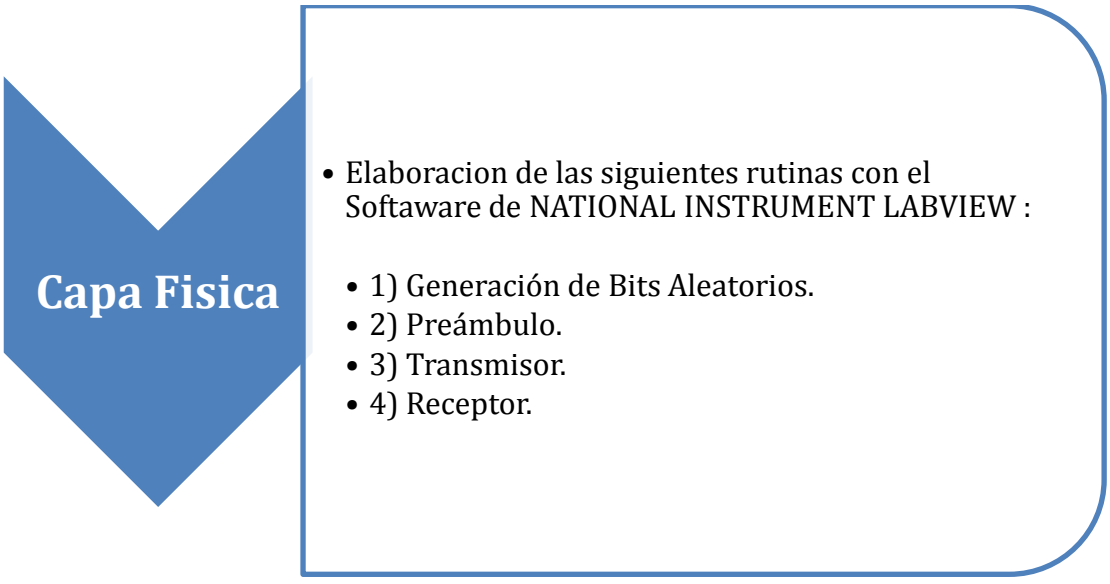


Figura 22. Procesos de la Capa Física (PHY).

1. Generación de Bits Aleatorios

Fue necesario crear una rutina de generación aleatoria de bits, que representara la simulación de datos provenientes de la capa de enlace y además serian utilizados como carga útil de las tramas que se transmitieron. Esta rutina **Figura 23** representa lo que en el diagrama de la **Figura 21** corresponde a la señal de entrada o mensaje; fue necesario incluir una rutina adicional que extendiera la duración de cada bit generado 1 tiempo de bit (tb), proceso conocido como "mapeo". Además, en esta misma rutina, se colocó un indicador gráfico con la finalidad de observar los bits del mensaje como se muestra en la **Figura 24**.

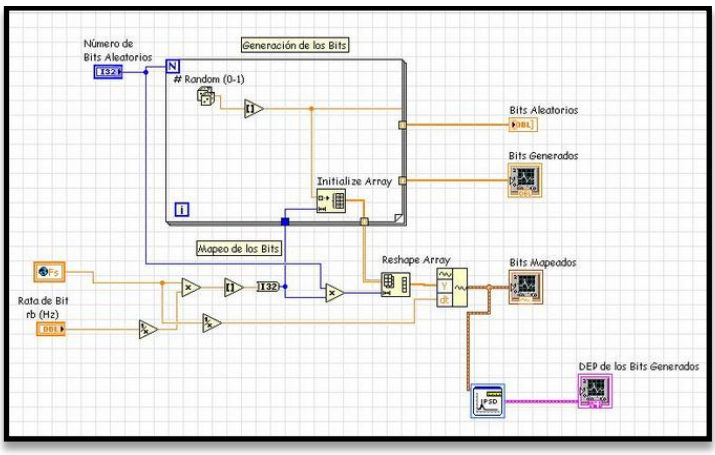


Figura 23. Código Fuente: Generación de Bits Aleatorios.

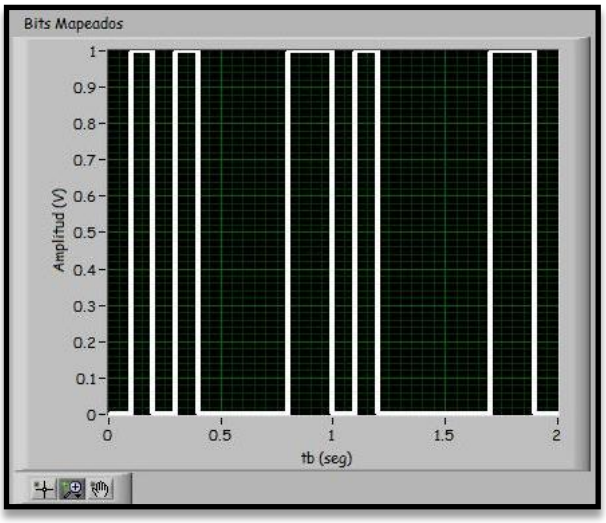


Figura 24. Interfaz de usuario: Bits Aleatorios Generados en el Tiempo.

2. Preámbulo

En todo sistema de comunicación asíncrono, es necesario agregar una rutina que ayude al receptor a determinar, dónde comienzan los datos útiles, ya que, en el medio de transmisión la señal puede sufrir interferencias y se puede ver afectado por el ruido.

Es por ello, que este módulo consistió en la elaboración de un preámbulo que se colocó previo a la trama proveniente de la capa MAC. A continuación se muestra en la **Figura 25** la rutina donde se elabora una trama de datos, la cual se encontraba conformada por: Preámbulo, *header* (cabecera) y los datos o carga útil (bits aleatorios).

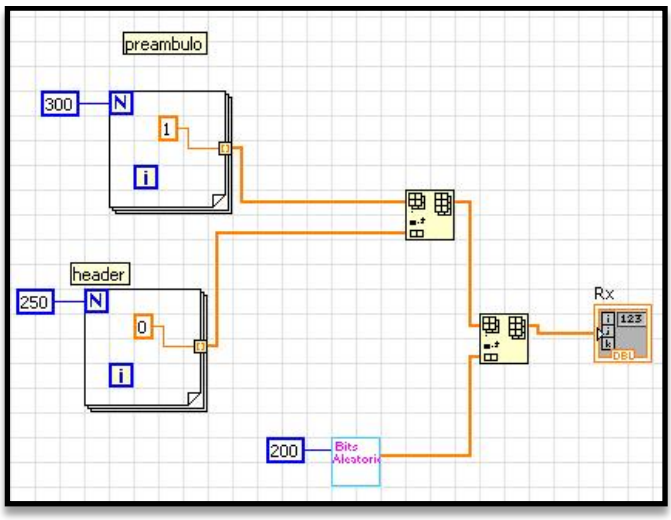


Figura 25. Código Fuente: Preámbulo, Cabecera y Datos

3. Transmisor

Luego de haber obtenido el mensaje que se deseaba transmitir, representados en secuencia de 1s y 0s, se desarrollaron las rutinas que muestran el proceso de modulación de datos.

Se contó con una "herramienta de modulación" que ofrece el software de simulación, con la cual fue posible obtener los formatos de modulación deseados. De esta forma, se utilizó el "*set"* sobre modulación QPSK, formato de modulación establecido por IEEE 802.11, como se muestra en la **Figura 26**.

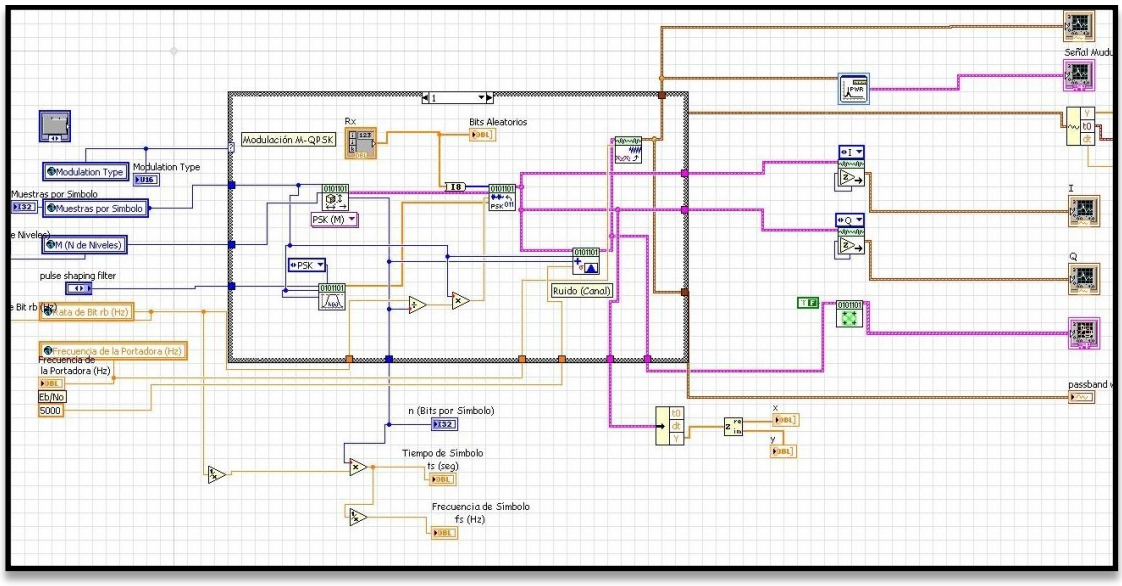


Figura 26. Código Fuente: Modulación QPSK.

En el apéndice A se encuentra una tabla que contiene cada una de las herramientas implementadas para la modulación, con su respectiva descripción y funcionalidad dentro del código fuente del programa. Como resultado de esa modulación se obtuvo una interfaz de usuario como se muestra en la **Figura 27**.

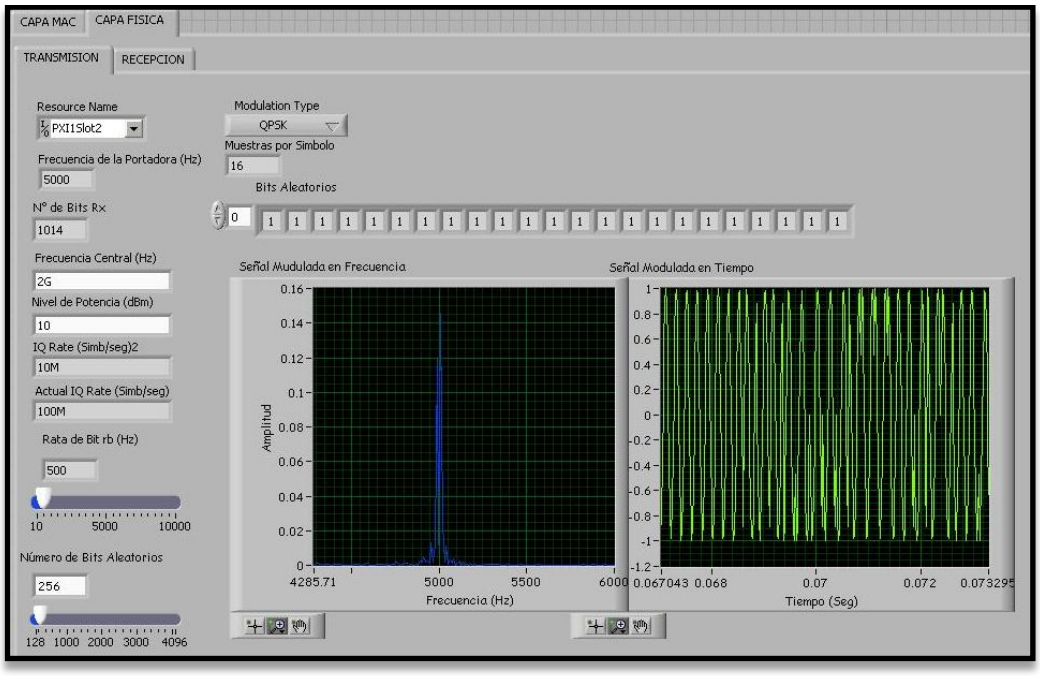


Figura 27. Interfaz de Usuario: Transmisión.

Al ser el medio de transmisión empleado, el espacio libre, el patrón de transferencia de los datos se hizo por transmisiones de Radiofrecuencia a través ondas electromagnéticas.

La plataforma NI-PXI, proporciona con las tarjetas modulares y rutinas de código fuente, previamente establecidas, la configuración para acondicionar la señal que viajará a través del canal de aire. Estas rutinas se dividieron en etapas, y fue utilizada la tarjeta PXI-5610 junto con un módulo llamado RFSG (RF *Signal Generation*) a través de la tarjeta PXI-5441 que genera formas de ondas aleatorias en el canal luego de ser convertida hacia arriba.

Se incluye una tabla en el apéndice B que contiene cada una de las herramientas implementadas para la configuración e inicialización de las tarjetas del PXI que se relacionan con la transmisión de los datos; esta tabla incluye la descripción y funcionalidad de cada herramienta dentro del código fuente del programa. A continuación se puede apreciar la señal transmitida haciendo uso de estos parámetros óptimos, donde la señal fue llevada a los 2GHz.

Figura 28. Señal Trasmitida.

4. Receptor

Siguiendo el esquema del sistema de comunicación, la señal recibida va a sufrir los procesos inversos que se desarrollaron en el transmisor. Entre ellos, la detección o adquisición de la señal proveniente del medio inalámbrico (espacio libre), el proceso de demodulación y por último, la recuperación de la data útil, como se nota **Figura 29**.

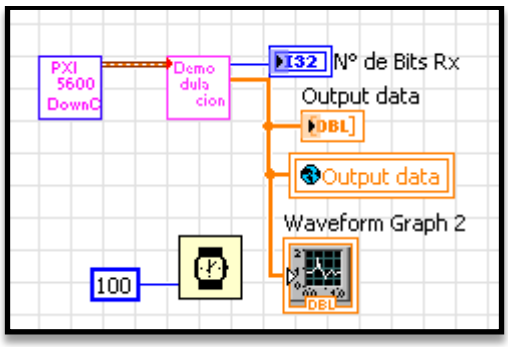


Figura 29. Código Fuente: Receptor.

La tarjeta PXI-5600 convirtió la señal modulada, es decir, la señal proveniente del canal, a la frecuencia original o la frecuencia del mensaje, y necesitó ciertos parámetros de configuración previos, a través de la sesión RFSA (*Radio Frequency Signal Acquisition*) que se muestran en la **Figura 30**.

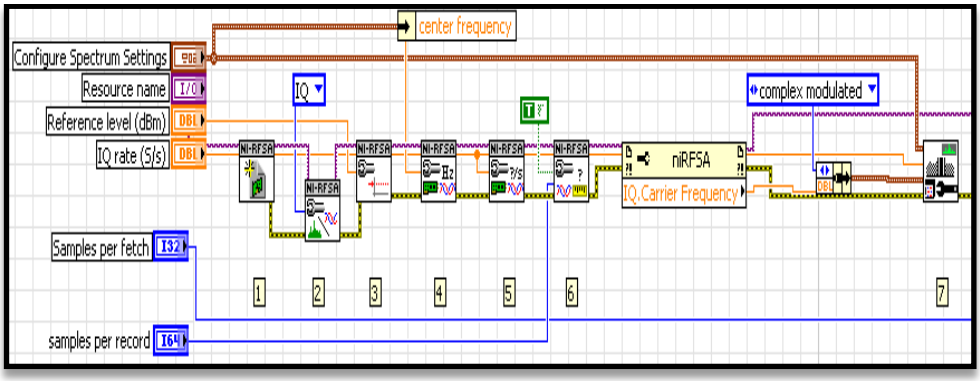


Figura 30. Código Fuente: Configuración de la Tarjeta PXI-5600 [**16**]

Adicionalmente, se incluye una tabla en el apéndice C que contiene cada una de las herramientas implementadas para la configuración e inicialización de las

tarjetas del PXI que se relacionan con la recepción de los datos; esta tabla incluye la descripción y funcionalidad de cada herramienta dentro del código fuente del programa.

Luego de haber obtenido la señal radio mediante sus parámetros de fase y cuadratura (I-Q), se realizo el proceso de adquisición continua a fin de recibir los datos transmitidos. La **Figura 31**, muestra la rutina de adquisición de los datos.

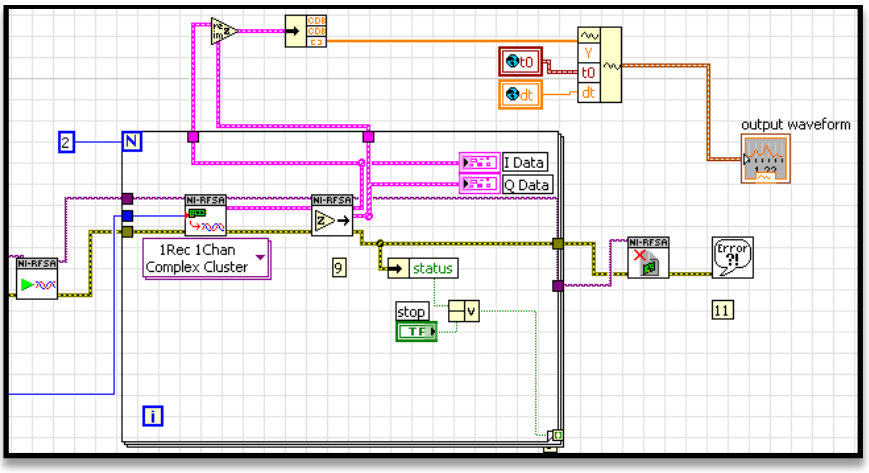


Figura 31. Código Fuente: Data Compleja Adquirida. [**16**]

Posteriormente se procedió a la demodulación (**Figura 32**) de la señal IQ adquirida; al igual que para modular, el proceso de demodulación se realizó con las funciones que tiene el software de simulación LABVIEW a través de la herramienta de modulación disponible, también conocida como "*modulation toolkit*".

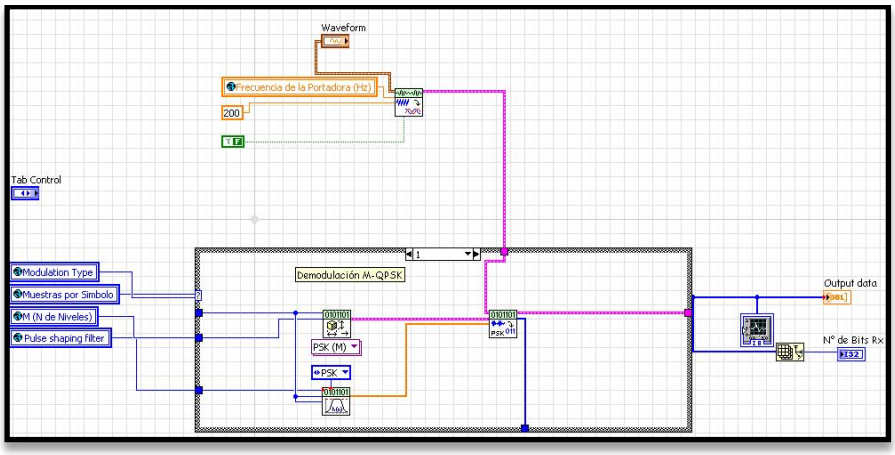


Figura 32. Código Fuente: Demodulación.

El apéndice E contiene una tabla con todos los valores de prueba que se utilizaron, tanto para transmitir, como para recibir los datos. Los valores que encuentran en la columna identificada con el número 4, son los que aportaron los mejores resultados a los procesos de transmisión y recepción de los datos.

En la **Figura 33** se puede apreciar la interfaz grafica de la recepción, donde se aprecia la data transmitida con su respectivo preámbulo, además de la data detectada, la cual contiene elementos adicionales a la data y el preámbulo que fue transmitido inicialmente debido a un aporte que hace el canal enviando cualquier tipo de datos antes y después de la trama. Sin embargo, como se aprecia en la interfaz también fue posible la recuperación de la trama.

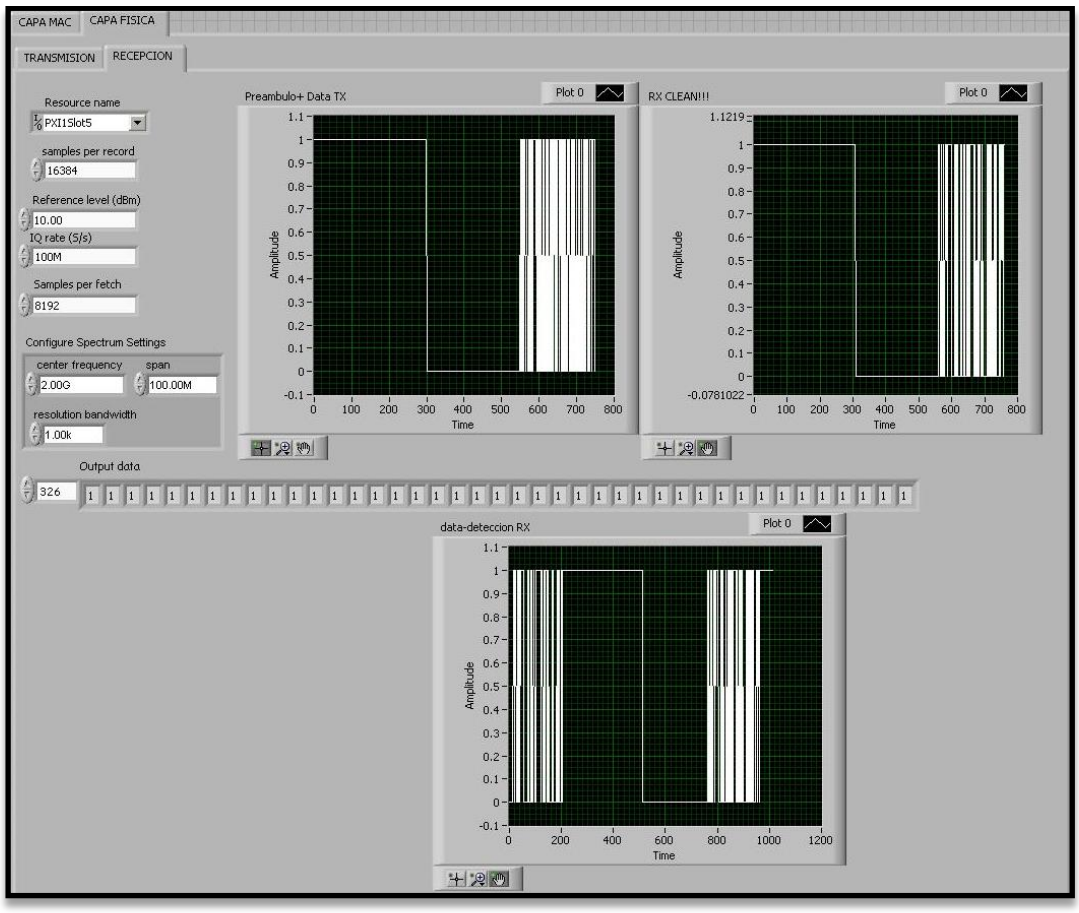


Figura 33. Interfaz de Usuario: Recepción vs Transmisión.

IV.6. Desarrollo de la capa de enlace (MAC)

La función de la capa de enlace de datos del modelo OSI es preparar los paquetes de la capa de red para ser transmitidos y controlar el acceso a los medios físicos.

➢ Rutinas de la Capa MAC

El diseño de las rutinas de la capa MAC se realizó basándose en los procesos que se describen en la **Figura 34** que se muestra a continuación:

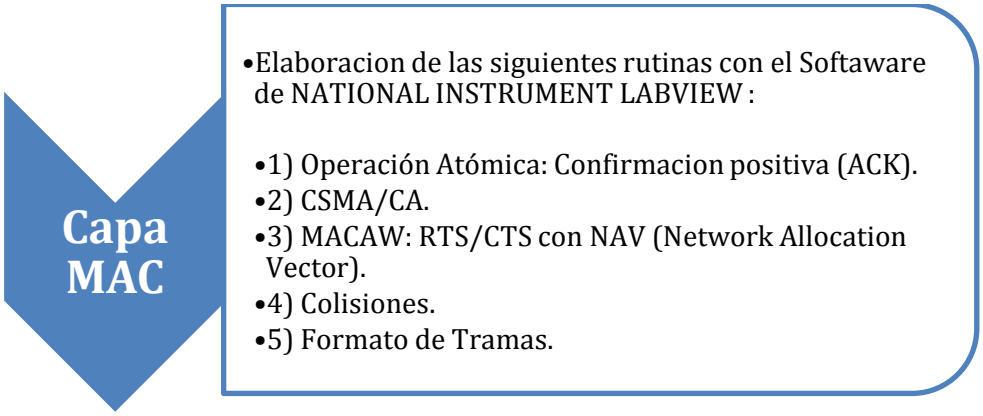


Figura 34. Procesos de la Capa de Enlace (MAC).

1. Operación Atómica: Confirmación Positiva ACK

Al igual que otros protocolos, 802.11 incorpora confirmación de tramas positivas. Todas las tramas que se transmiten deben ser confirmadas por la estación que las recibe; si esto no ocurre, se considera la trama dañada o perdida y se debe iniciar un proceso de retransmisión.

En la **Figura 35** se muestra la rutina programada para obtener la confirmación de la trama; es construida a partir de indicadores tipo LED (Diodo Emisor de Luz-*Light Emitting Diode*) para mostrar cuando una estación envía la trama y luego la estación receptora le responde.

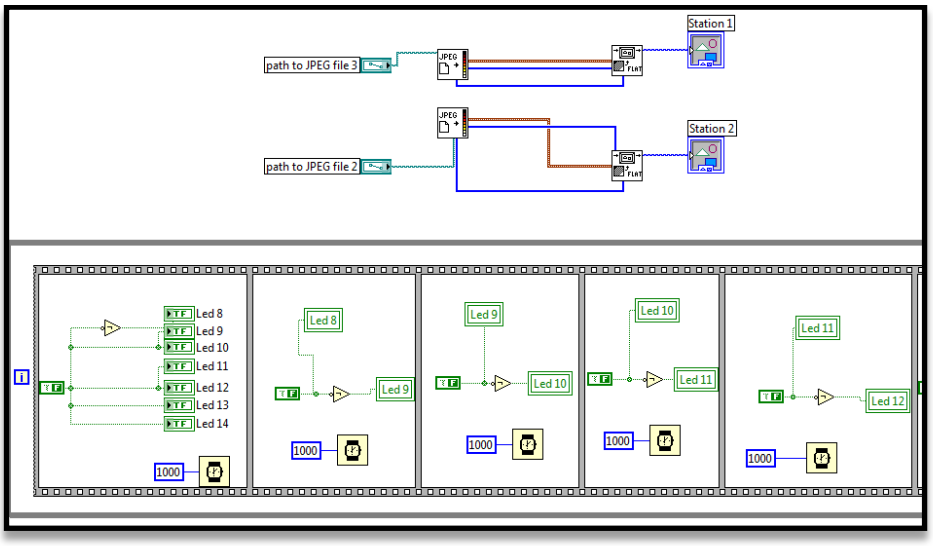


Figura 35. Código Fuente: Operación Atómica

Como resultado de la implementación de las rutinas descritas anteriormente en la interfaz gráfica, se logró representar una de las funciones más básicas de la capa MAC como lo es la "*Atomic Operation*" (operación atómica) que contiene la confirmación de recibos de acuse positivos, como se muestra en la **Figura 36**.

Las estaciones bloquean la contención durante este periodo, y por tanto esta operación básica no es interrumpida por ninguna otra estación que desea transmitir en ese mismo instante.

Figura 36. Interfaz de usuario: Operación Atómica

2. CSMA/CA

Otra característica de la capa MAC, es la forma de establecer los mecanismos de acceder al medio. Gracias a las rutinas que se describen a continuación se pudieron evidenciar todos los pasos que se generan entre las estaciones (modo *"ad-hoc")* a fin de asegurar que las tramas no colisionen, es decir, que no envíen tramas dos o más estaciones en el mismo instante de tiempo. Adicionalmente se muestran las rutinas para generar los intervalos de tiempo intertrama, que permiten reservar el canal mientras se está ejecutando alguna transmisión. Cuando una estación encuentra el medio ocupado, activa un algoritmo de "*backoff*" que se representó en la interfaz como un conteo regresivo, a través de indicadores tipo (LED) que permitieron representar la ventana de contención.

En las figuras que se muestran a continuación, se encuentran las rutinas empleadas para generar los tiempos intertrama DIFS (**Figura 37**), SIFS (**Figura 38**); así como el acuse de recibo ACK (**Figura 39)** y la ventana de contención (**Figura 40**).

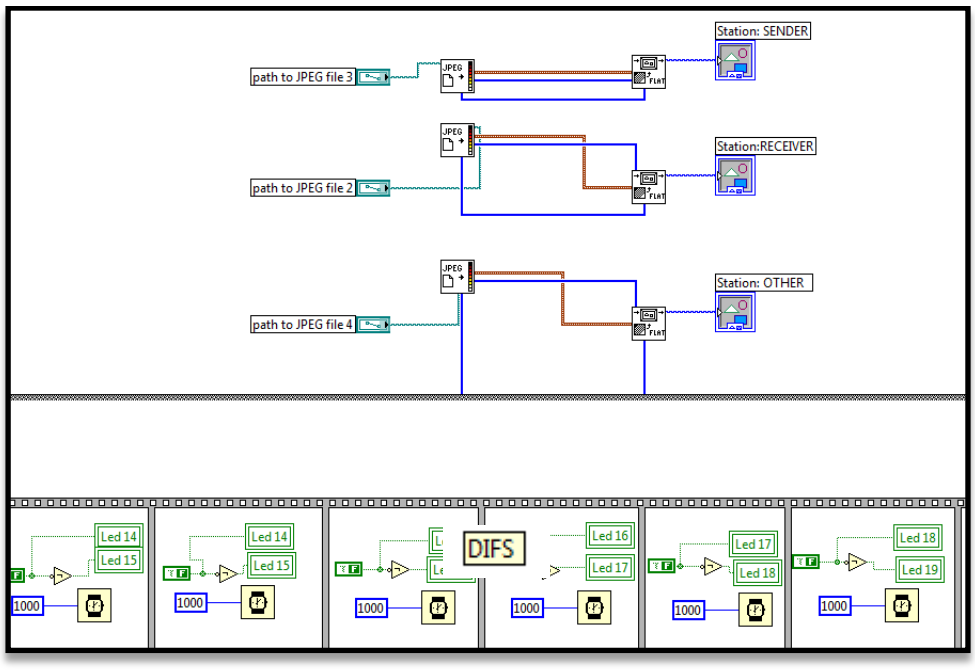
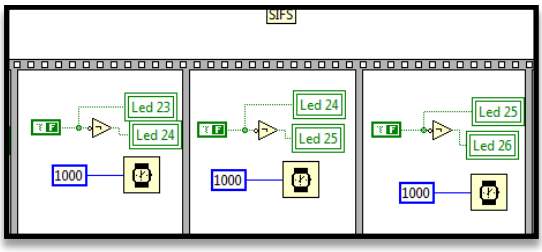


Figura 37. Código Fuente: Contador DIFS.



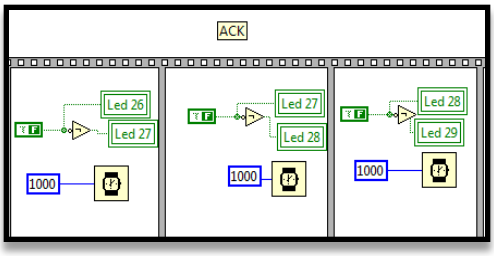


Figura 38. Código Fuente: Contador SIFS.

Figura 39. Código Fuente: Confirmación ACK.

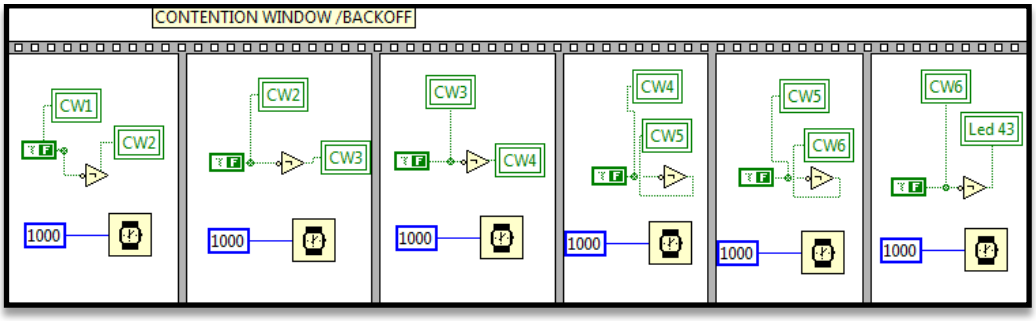


Figura 40. Código Fuente: Ventana de Contención.

Como resultado de la implementación de estas rutinas se obtuvo una interfaz gráfica en la cual se puede apreciar y seguir paso a paso las etapas antes descritas del protocolo CSMA/CA. El proceso se inicia con el tiempo intertrama DIFS antes de realizar una transmisión para asegurar que el medio no se encuentra ocupado. Se configuraron a un tiempo mayor al que transcurre en los procesos reales (aproximadamente 1000 milisegundos) para poder visualizarlo.

Seguidamente, se inicia (a través de los indicadores gráficos) la transmisión de la data de la estación 1 a la estación 2 (**Figura 41**). En esta etapa, mientras se percibe este hecho, ocurre simultáneamente el proceso real de transmisión y recepción de datos con el equipo NI-PXI (**Figura 42**), lo que se traduce, en el acceso al medio inalámbrico por parte de la estación 1.

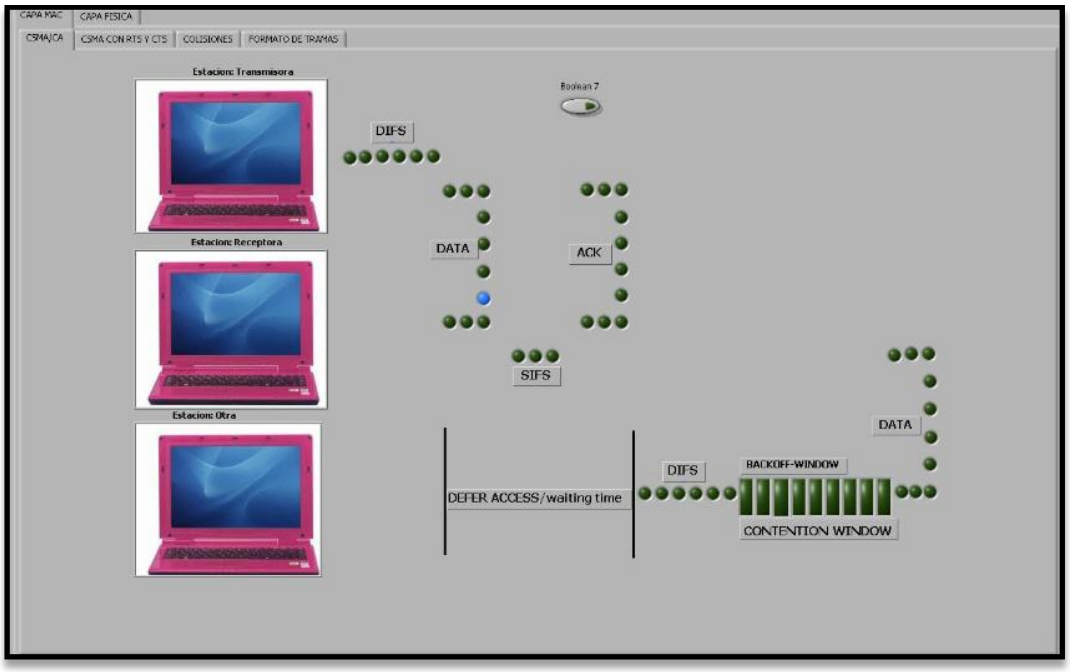


Figura 41. Interfaz de usuario: Transmisión de Datos de la Estación 1 a la Estación 2 en CSMA/CA.

Figura 42. Transmisión y Recepción de Datos en CSMA/CA.

Una vez que concluye la transmisión de la data por parte de la estación 1, se apreció como transcurría el tiempo SIFS, mediante la activación de sus indicadores. El envió de la confirmación positiva ACK de la estación 2 a la estación 1, como se dijo anteriormente, esta trama de control asegura que los datos fueron recibidos, en este caso, por la estación 2; este proceso se puede apreciar en la interfaz gráfica de forma análoga como ocurrió con la trama de datos (**Figura 41**).

Al terminar la transmisión de datos entre la estación 1 y la estación 2, la estación 3 al querer acceder al medio para transmitir sus datos, espera un tiempo DIFS para asegurar que el medio este libre, y comienza un periodo de "b*ackoff"* donde la estación elige aleatoriamente un tiempo de espera para el acceso al medio, dentro de una ventana de contención. Una vez finalizado el periodo de "*backoff",* la estación procede a enviar los datos. Ver **Figura 43**.

El diagrama de flujo para la ejecución del algoritmo de Backoff se encuentra en el apéndice F.

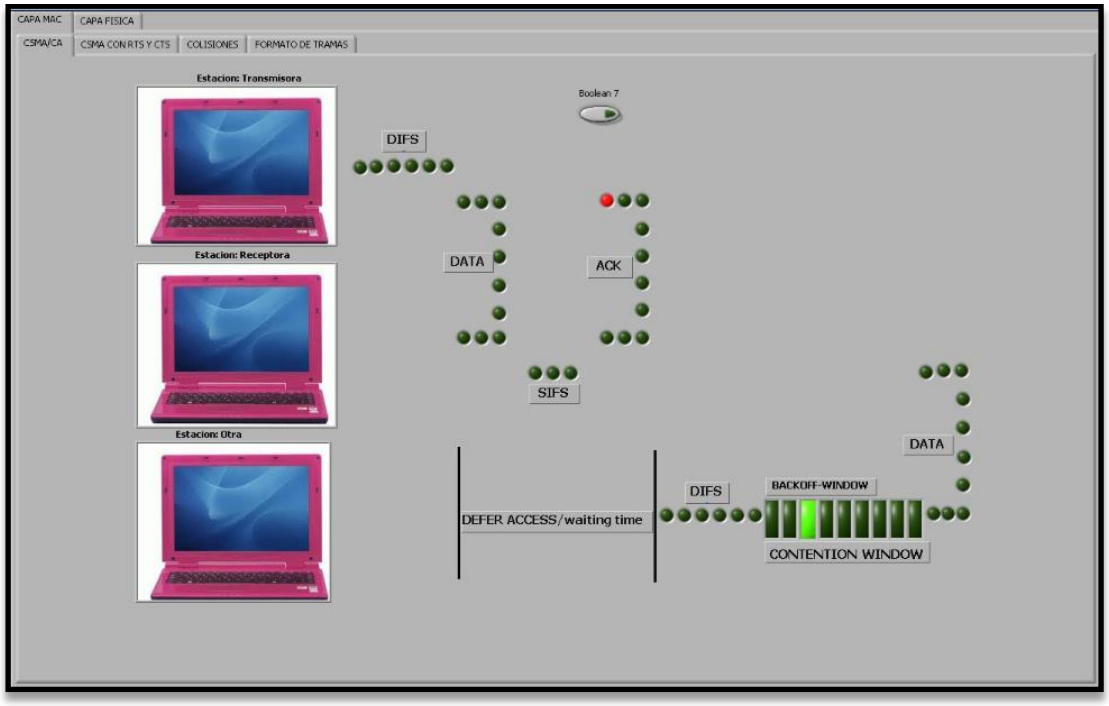


Figura 43. Interfaz de usuario: Algoritmo de *Backoff*.

3. MACAW: RTS/CTS con NAV

A continuación se muestra el resultado de implementar las rutinas diseñadas para emular el protocolo CSMA/CA, esta vez a través de detección virtual haciendo uso del tiempo NAV y las tramas de control (**Figura 44**).

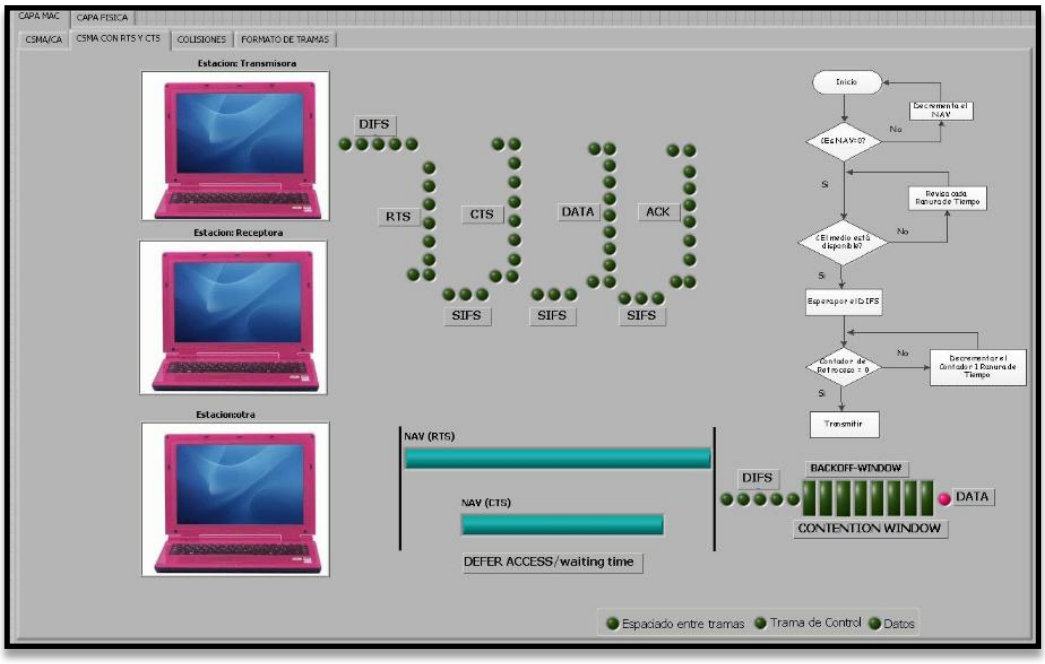


Figura 44. Interfaz de usuario: CSMA/CA con RTS/CTS

Al implementar el NAV, como una duración en tiempo, a través de un indicador, se aseguró que las tramas de control RTS y CTS no fueran interrumpidas por otras estaciones, sino que estas debían diferir el acceso al medio.

Cuando era enviada la trama RTS, se hacía una reserva del canal durante ese período de tiempo; en el momento que la otra estación enviara la trama CTS como respuesta, se estableció otro contador NAV, el cual sería menor que el NAV enviado por el RTS (**Figura 45**) esto es porque se previene que las otras estaciones acceden al medio antes que la transmisión se complete, ya que no todas las estaciones escuchan la trama RTS.

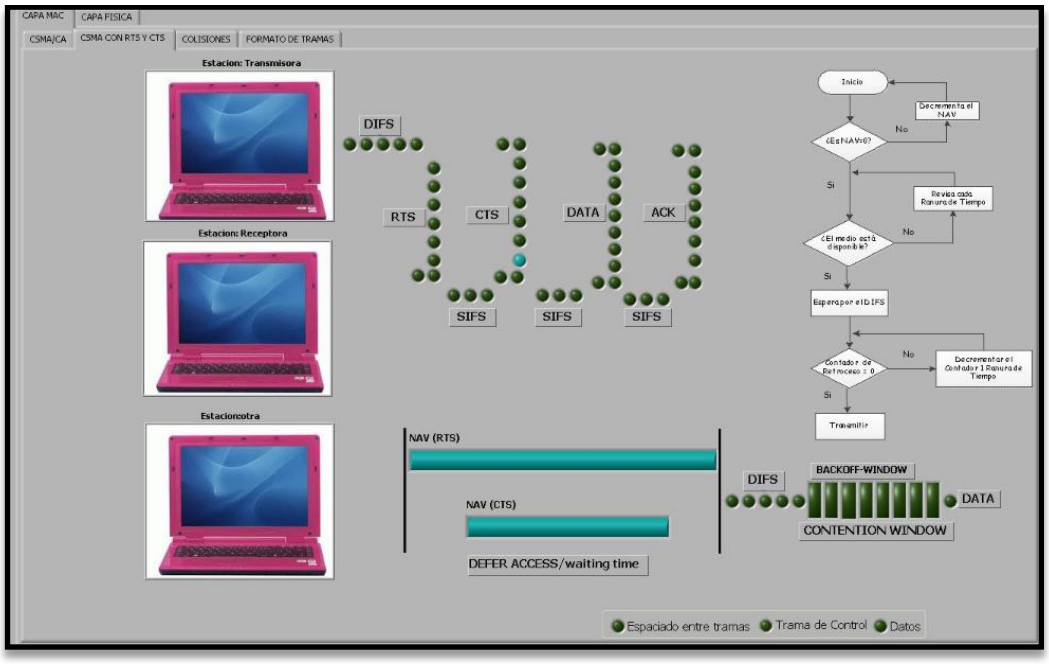


Figura 45. Interfaz de usuario: Trama CTS y Establecimiento del NAV-CTS

4. Colisiones

El resultado de esta rutina se puede apreciar en la interfaz de la **Figura 46** donde se origina una colisión a partir de la transmisión simultánea de dos estaciones. En la **Figura 47** se muestra el funcionamiento de la tarjeta cuando se encontraban transmitiendo las dos estaciones. Es importante señalar, que esta transmisión se ve limitada por el Hardware, ya que solo permite la transmisión de un solo paquete de datos, debido a que solo se contaba con un canal. Adicionalmente, cuando se genera la colisión, se muestra una advertencia notificando al usuario que había ocurrido y también se despliega un cuadro explicativo con la definición de una colisión entre tramas, y el proceso que siguen las estaciones una vez que se han originado.

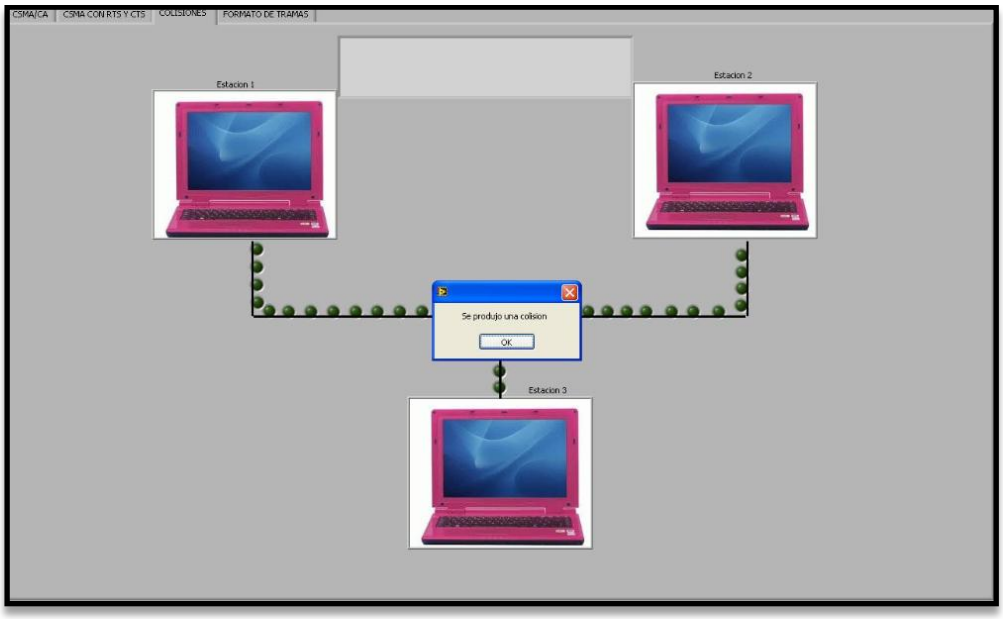


Figura 46. Interfaz de usuario: Colisión entre la Estación 1 y la Estación 2.

Figura 47. Funcionamiento de la tarjeta de transmisión en el modulo de Colisiones.

5. Formato de Tramas

En este módulo, se obtiene como resultado los campos de tipos y subtipos de las tramas que se generan en la capa MAC, que pueden ser observados y analizados por el usuario y hacer correspondencia con el tipo de transmisión, según la tipología usada y el mecanismo de acceso que se esté implementando. **Figura 48** muestra la interfaz que reúne los indicadores representativos a los campos de una trama MAC.

Figura 48.Interfaz de usuario: Campos del Formato General de la Trama.

Las tramas de control, como se ha mencionado en apartados anteriores, están asociadas a las tramas de datos para realizar las funciones de reserva de canal, entre otras. El resultado mostrado en la **Figura 49**, presenta una interfaz con el formato de cada una de las tramas de control, donde los campos de la misma son representados a través de indicadores tipo LED. Estos se activan según la configuración de la transmisión que se vaya a originar. Además se muestra, la conversión a bit, de los campos que se activan, que son aquellos que se van a proceder a transmitir a nivel de capa física, dentro de la cabecera, en el modulo de generación de datos.

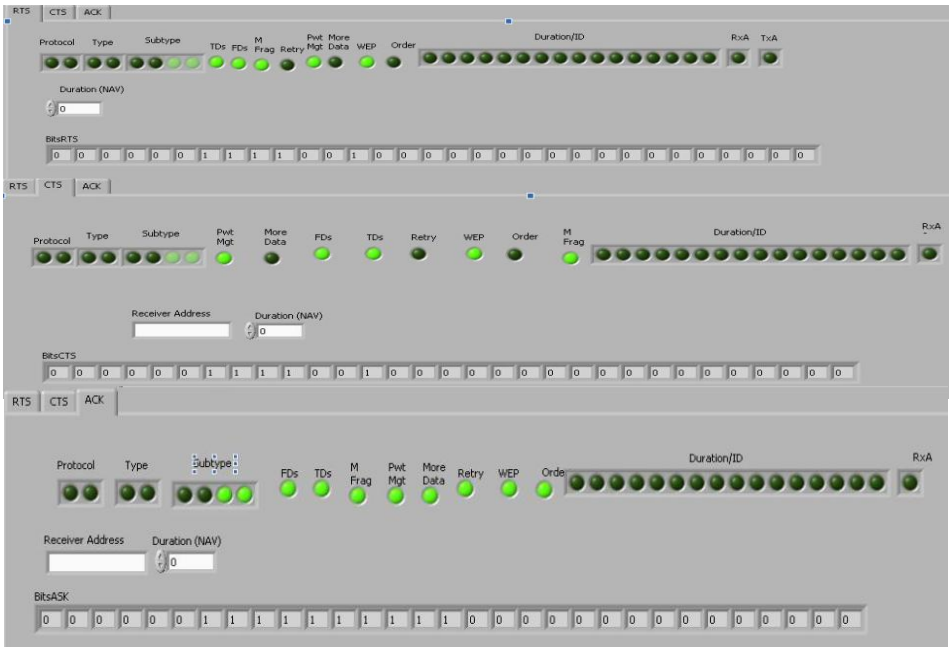


Figura 49. Interfaz de usuario: Formato de Tramas de Control.

Esta implementación se realiza mediante un programa (**Figura 50**) que proporciona al usuario una interfaz gráfica en la que se pueden observar las diferentes etapas y procesos que involucran tanto la capa física (PHY) como la capa de enlace (MAC) del estándar 802.11b. Este programa fue el resultado de la integración de todas las rutinas descritas anteriormente.

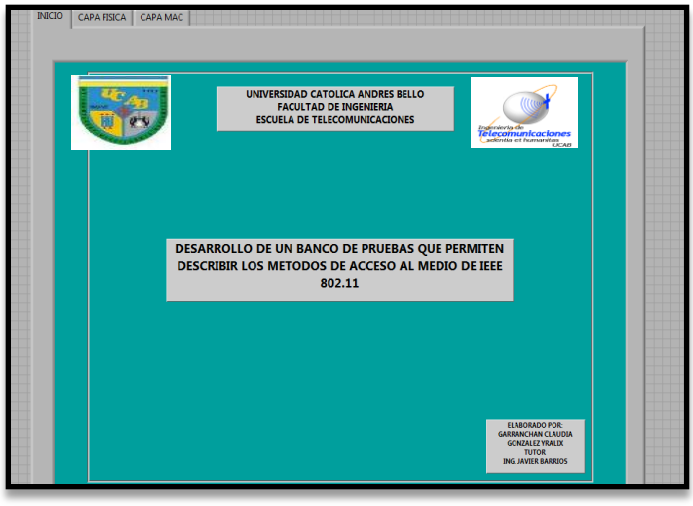


Figura 50. Interfaz de usuario: Inicio del Programa.

CAPITULO V. Conclusiones Y Recomendaciones

En este capítulo se presentarán las conclusiones tras el análisis de los resultados obtenidos en el desarrollo del presente trabajo especial de grado. De igual forma se presentan una serie de recomendaciones en caso de que se decida realizar actividades para el avance y extensión de este proyecto.

V.1. Conclusiones y Recomendaciones

En la banda ISM (*industrial -scientific -medical*) de 2.4 GHz operan los dispositivos 802.11. El uso libre y público produce un grandes ventajas, pero en este caso, para la emulación de la capa física y la capa MAC, no resulto beneficioso debido a la existencia de equipos dentro del laboratorio operando a la misma frecuencia, presentando interferencias.

A través de la comparación entre las distintas revisiones, se concluye que la "b", fue una elección acertada, ya que presenta los rangos de frecuencia, velocidades de transmisión y técnicas de modulación, que pueden ser adaptadas a la plataforma de NI-PXI de NATIONAL INSTRUMENT.

El estudio de las características de las redes inalámbricas como: movilidad, fácil y rápida implementación, flexibilidad y costos reducidos ratifica el gran uso que se le han dado a estas redes desde sus inicios.

Realizar este tipo de emulaciones sobre hardware, muestran los procesos en tiempo real, y ofrecen una alternativa para desarrollar sistemas de pruebas sobre nuevos estándares.

La incorporación de la tecnología inalámbrica a nuevos dispositivos, demanda por parte de los fabricantes, pruebas de desempeño de canal inalámbrico, por lo que se recomienda a la Universidad Católica Andrés Bello, en la medida de las posibilidades, la adquisición de más equipos para la elaboración de otros prototipos.

Se obtuvo una interfaz amigable, donde se describe el funcionamiento de la capa física y la capa de enlace, permitiendo ser una herramienta de apoyo pedagógico

a las bases teóricas impartidas en las cátedras. Como valor agregado, se creó este instrumento, para proveer pedagogía, investigación y fundamentos básicos, a estudiante e ingenieros, proporcionando criterios para la planificación y gestión de una red de área local con tecnología inalámbrica

Mediante un estudio exhaustivo, se llevo a cabo la transmisión y recepción, pudiendo obtener integridad de la información que se transmite, verificada en el receptor

A través de un estudio exhaustivo, se implementó y comprobó que la sincronización es de vital importancia en la recepción y detección de los datos, como proceso que realiza la capa física.

Se obtuvo un modelo analítico de capa física que presenta de forma explícita, los parámetros que mejor se adaptan a las condiciones y a los recursos disponibles (frecuencia de portadora en 5M Hz, Tasa de Bits en 500 Hz, Numero de Bits enviados 1014), mostrando el mejor desempeño y eficiencia para la transmisión y recepción de señales.

Es importante tener en cuenta, el establecimiento de los parámetros en los que interviene el muestreo de las tarjetas, en un margen inferior antes los máximos valores que puede soportar, debido a que dichos módulos generan calor que, entonces debe ser compensado.

Se logro minimizar el efecto de la diversidad espacial, producto de la radiación en alta frecuencia y la cercanía de las antenas transmisora y receptor.

El modulo de generación de señales arbitrarias es tolerante a muchos esquemas de modulación, y se pueden adaptar a las diferentes variables que intervienen en la creación de formas de ondas de RF, como, frecuencia central, tasas de símbolos, tasas de muestreo entre otras.

Se sugiere realizar las pruebas de capa física utilizando equipos adicionales, donde se pueda lograr la separación de las antenas a una mayor distancia y analizar el efecto que se producen en el canal.

A través de las herramientas que posee el software de simulación Labview, se obtuvo la forma de poder describir la ventana de contención y el algoritmo de retroceso que realiza la capa MAC. Además, se pudo mostrar la transmisión de las tramas y el tiempo de separación que existe entre ellas. Se destaca a nivel informativo los campos de las tramas, la longitud en bits que ocupa la configuración según sea el tipo y subtipo de trama que se esté generando en una estación.

Se sugiere hacer el estudio e implementación de la capa MAC sobre una red de tipo infraestructura, donde se muestre el manejo de los campos de tipo y subtipos referentes a la trama de Administración, así como, representar los procedimientos de fragmentación y control de flujo, como otras de las funciones que realiza la capa MAC.

Se recomienda implementar otras revisiones del estándar IEEE 802.11, tales como: 802.11g , 802.11n y 802.11a; las cuales incluyen dentro de sus respectivas especificaciones, una capa física con OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales, *Orthogonal Frequency Division Multiplexing).*

BIBLIOGRAFÍA

[1] Estándares Inalámbricos. (2010, Julio) multingles.net. [Online]. http://multingles.net/docs/manual%20-%20redes%20wifi%20inalambricas.pdf

[2] Mobile Communications. Chapter 7. Wireless LANs. (2010, Julio) slidefinder.net. [Online]. http://www.slidefinder.net/m/mobile_communications_chapter_wireless_lans/14368166.

[3] F Lopez. (2010, Septiembre) El Estándar 802.11. [Online]. http://greco.dit.upm.es

[4] M Van Nee, H Morikura, and H Takanashi, "New High_Rate Wireless LAN Standards," *IEEE Comm Magazine*, pp. 82-88, Diciembre 2009.

[5] Brenner P., *A technical tutorial on the ieee 802.11 protocol*.

[6] M Gast, *802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide*.: O'Reilly, 2002.

[7] [ISO/IEC 8802.11] International Standard ISO/IEC 8802-11 IEEE, 2007.

[8] Universidad Carlos III de Madrid. (2009, Enero) Nivel de Enlace III. Tecnicas de Acceso al Medio. [Online]. http://www.it.uniovi.es/docencia/Telematica/fundamentostelematica/material/apuntes/tema8/tema08.htm

[9] Henty B., *"A Brief Tutorial on the PHY and MAC layers of the IEEE*., julio 12, 2001.

[10] V Gomez. (2010, Febrero) Subcapas de Enlace y WLAN. [Online].

http://www.virginiogomez.cl/ennio/redes/subcapaenlace.pdf

[11] Jim Zyren and Petrck Al., *Ieee 802.11 tutorial*.

[12] John G. and Masoud Salehi, *Communication system Engeneering*, Second Edition ed.: Prentice Hall.

[13] *2.4 GHz and 5 GHz WLAN: Competing or Complementary*.: Mobilian Corporation, 2001.

[14] S Hernandez, *Metodología de la Investigación*. Mexico: Mc Graw Hill, 2001, p. 60.

[15] F Arias, *El Proyecto de Investigación*. Caracas, Venezuela: Episteme, 2006, p. 58.

[16] (2010, Octubre) National Instruments PXI Description. [Online]. http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/8404#toc2.

[17] (2011, Enero) Eveliux. [Online]. http://www.eveliux.com/mx/modelo-de-un-sistema-de-comunicaciones.php

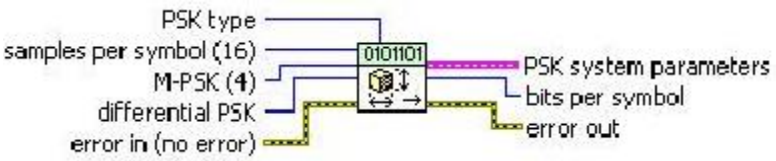
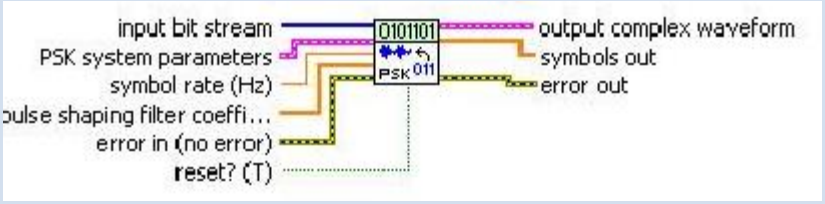
[18] Universidad Politécnica de Madrid. (2009, Agosto) Comunicaciones Móviles Digitales. [Online]. http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/comunicaciones-moviles-digitales/contenidos/Presentaciones/WLAN-07.pdf.

[19] Sistemas de Transmisión Inalámbrica. (2010, Septiembre) Gsyc. [Online]. http://gsyc.es/~mortuno/rom/01-wireless.pdf

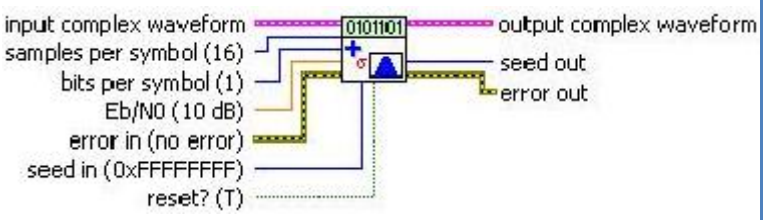
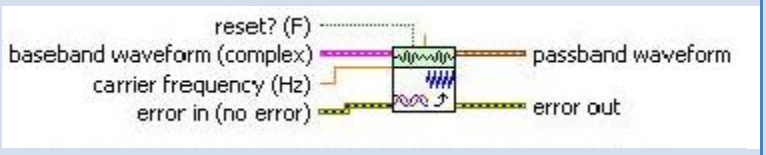
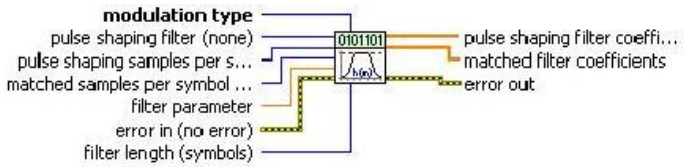
[20] J.R. F.J.Martinez Zaldivar, *Transmisión Digital*.: editorial de la universidad Politecnica de Valencia.

Apéndice A

Tabla descriptiva de las herramientas utilizadas para la rutina de Modulación

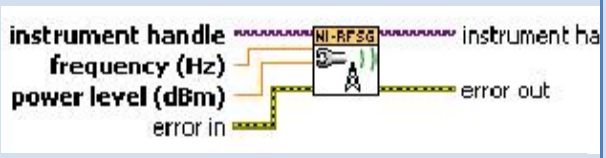
Modulación	
VI Utilizado	**Descripción**
Generador de los Parámetros del Sistema 	**Calcula los parámetros del sistema para una modulación PSK.**
Modulador PSK 	**Con la secuencia de bits en la entrada, esta función realiza la modulación PSK, y retorna una forma de onda compleja en bandabase, como salida.**

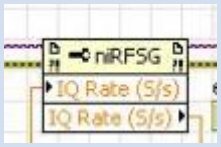
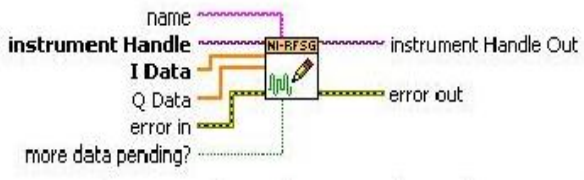
Modulación

VI Utilizado	Descripción
Adición de AWGN 	**Esta función genera ruido blanco Gaussiano de media cero, que se añade a la señal modulada compleja en banda base, especificando como parámetro de entrada, el valor de Eb/No.**
Convertidor ascendente 	**Realiza la conversión ascendente de la señal en bandabase compleja, resultando, la forma de onda pasabanda equivalente.**
Generador de los coeficientes del filtro de pulso 	**Calcula los coeficientes del filtro de formación de pulsos. Se usan durante la modulación para reducir el ancho de banda de la señal a transmitir.**

Apéndice B

Tabla descriptiva de las herramientas utilizadas para la rutina de Transmisión

Transmisión	
VIs Utilizados	**Descripción**
Inicialización de NiRFSG 	**El módulo de generación de señales de radio, inicia los dispositivos del *hadware* y abre una sesión con los componentes fuentes que el usuario ingresa, retornando el nombre del instrumento que van a manejar las subsecuentes funciones de este módulo.**
Configuración RF 	**Configura la frecuencia central y el nivel de potencia de la señal RF de salida.**
Configuración en modo de Generación 	**Configura el dispositivo para generar una forma de onda arbitraria RF.**

Transmisión	
VIs Utilizados	**Descripción**
Tasa de IQ 	**Este nodo configura la rata IQ de la forma de onda arbitraria en muestras por segundos.**
Ploteo de la Forma de Onda Arbitraria 	**Esta función dibuja la forma de onda arbitraria para el dispositivo NiRFSG. Tiene como parámetros de entrada los vectores I e Q de la señal compleja bandabase.**
Configuración del Ancho de Banda 	**Realiza la configuración del ancho de banda de la señal arbitraria RF.**

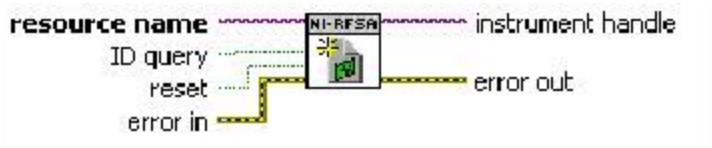
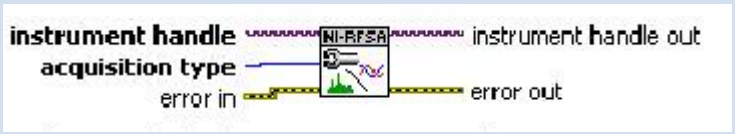
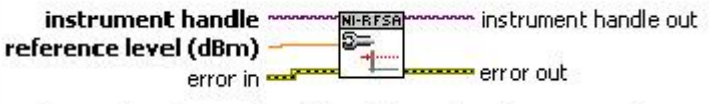
Transmisión	
VIs Utilizados	**Descripción**
Inicio 	**Inicia la generación de la señal, dejando atrás el modo de configuración.**
Chequeo del Estatus de Generación 	**Se usa este Vi para verificar si se produce algún error, durante la generación de la señal.**
Configuración de Salida 	**Desactiva la señal de salida.**

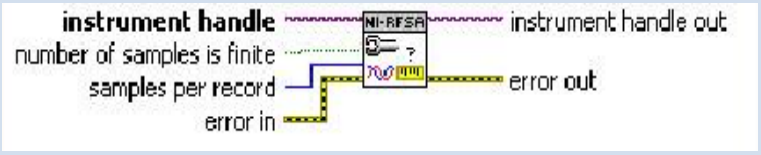
Transmisión	
VIs Utilizados	**Descripción**
Cerrar NiRFSG 	**Interrumpe cualquier señal que se esté generando, y cierra la sesión establecida de RFSG.**

Apéndice C

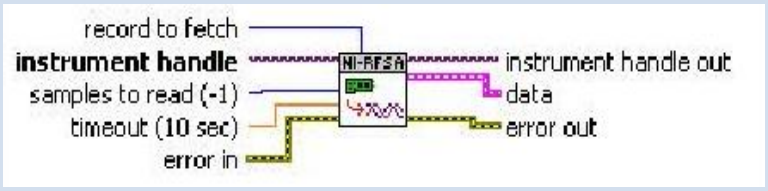
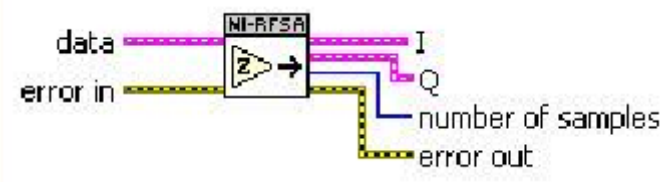
Tabla descriptiva de las herramientas utilizadas para la rutina de Recepción

Recepción

VI Utilizado	Descripción
Inicialización de NiRFSA 	**El dispositivo inicia una nueva sesión para la adquisición de señales RF.**
Configuración del tipo de Adquisición 	**Configura si la se realizará la adquisición de los parámetros de I e Q, o, si se procesarán los parámetros del espectro de potencia de la señal.**
Configuración del Nivel de Referencia 	**Se especifica el máximo valor de potencia esperado para la señal de entrada RF.**

Recepción	
VI Utilizado	**Descripción**
Configuración de la Portadora IQ 	**Configura la frecuencia de la portadora IQ de la señal de entrada RF**
Configuración de la tasa IQ 	**Configura el valor de la tasa, a la cual va a muestrear el valor de IQ de la señal de entrada RF**
Configuración del Numero de Muestras 	**Configura el dispositivo para obtener una adquisición finita o continua a partir del numero de muestras que se vayan a adquirir**

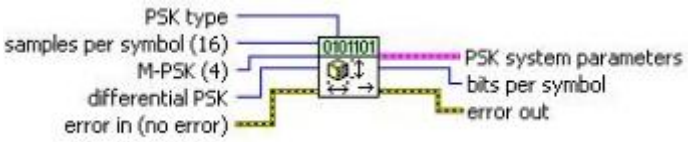
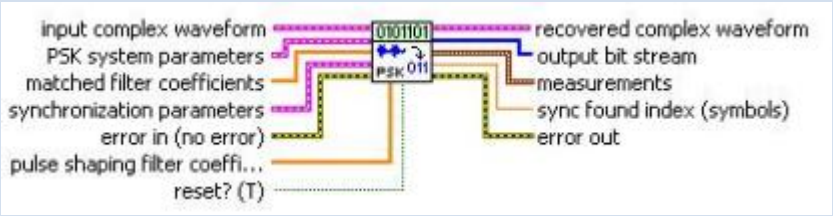
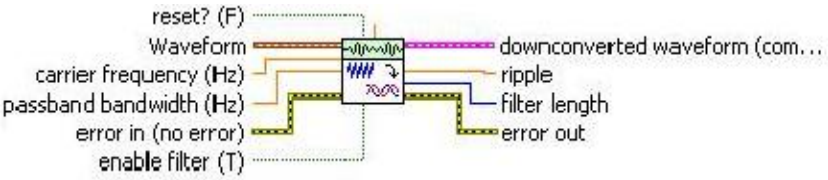
Recepción

VI Utilizado	Descripción
Inicio 	**Inicia la adquisición de datos en modo IQ**
NiRFSA Fetch IQ 	**Transfiere la data adquirida de la memoria del hardware utilizado a la memoria del PC.**
Obtención de los Parámetros IQ 	**Separa los vectores I e Q.**
Finalización 	**Cierra la sesión en el hardware de adquisición de datos.**

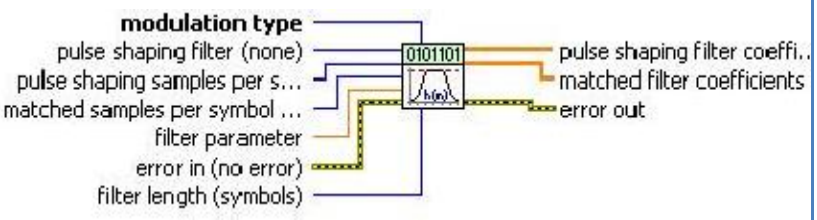
Apéndice D

Tabla descriptiva de las herramientas utilizadas para la rutina de Demodulación

Demodulación

VI Utilizado	Descripción
Generador de parámetros del Sistema 	**Calcula los parámetros para la demodulación PSK.**
Demodulador PSK 	**Esta función realiza el proceso de demodulación de la señal modulada PSK y retorna la forma de onda compleja equivalente.**
Convertidor descendente 	**Esta función realiza la conversión hacia abajo de una señal pasabanda, con el ancho de banda como parámetro de entrada.**

Demodulación

VI Utilizado	Descripción
Generador de los coeficientes del filtro de pulso 	**Calcula los coeficientes del filtro de formación de pulsos. Se usan durante la demodulación para disminuir la interferencia intersimbolo.**

Apéndice E

Datos De Entrada Tx - Proceso De Modulación

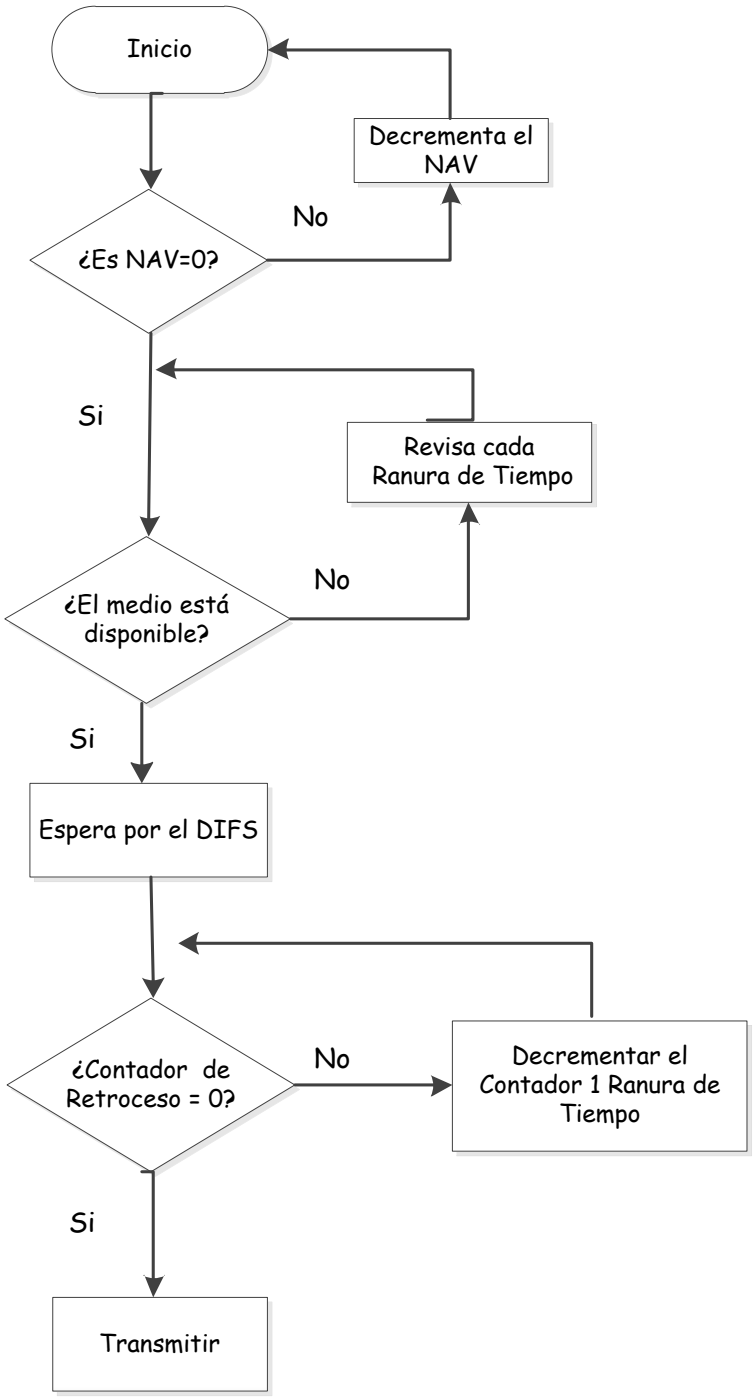
DATOS DE ENTRADA Tx

PROCESO DE MODULACIÓN

Parámetros de entrada	1	2	3	4	5	6	7
Rata de bit tb [Seg]	40	30	20	10	50	60	70
Frecuencia de la portadora [Hz]	400	300	200	100	500	600	700
Numero de bits aleatorios	100	140	200	256	300	420	500
Nivel de Potencia [dBm]	3	5	8	10	11	13	20
Frecuencia Central (GHz)	2.40	2.30	2.20	2.00	2.42	2.48	2.5
Frecuencia de offset (Hz)	100	300	200	100	50	40	80
M (numero de niveles)	4	4	4	4	4	4	4
Filtro de Coeficientes de Pulsos	NONE	NYQUIST	ROOTCOS	NONE	ROOTCOS	NYQUIST	NONE
Muestras por símbolo	16	16	16	16	16	16	16
Eb/No [dB]	1000	500	5000	100	200	300	0

Apéndice F

Diagrama de Flujo del Algoritmo de *Backoff*


Inicio
Decrementa el NAV
No
¿Es NAV=0?
Si
Revisa cada Ranura de Tiempo
¿El medio está disponible?
No
Si
Espera por el DIFS
¿Contador de Retroceso = 0?
No
Decrementar el Contador 1 Ranura de Tiempo
Si
Transmitir

Apéndice G

Manual de Usuario

Índice General

ÍNDICE GENERAL **87**

INTRODUCCIÓN **88**

ESPECIFICACIONES DEL HARDWARE **89**

CONTROLADOR PXI 8106 89

Eléctricas *89*

Físicas *89*

Condiciones del entorno *89*

CONECTORES E INDICADORES DEL PANEL FRONTAL DEL HARDWARE **90**

Especificaciones del panel frontal NI-5441 *90*

Especificaciones del panel frontal NI-5610 *91*

Especificaciones del panel frontal NI-5142 *92*

Especificaciones del panel frontal NI-5600 *93*

TARJETA PXI-5610 94

Físicas *94*

Condiciones del entorno: *94*

TARJETA PXI-5600 95

Físicas *95*

Condiciones del entorno *95*

CONFIGURACIONES INICIALES **96**

TRAJERA NIPXI-5610 96

TRAJERA NIPXI-5600 97

OPERACIÓN DEL BANCO DE PRUEBA **98**

OPERACIÓN ATÓMICA 98

CSMA/CA 100

CSMA/CA CON RTS Y CTS 101

COLISIONES 102

FORMATO DE TRAMA 103

ESTADO DE CONEXIÓN 104

Introducción

Este manual pretende guiar al usuario acerca de la operación y la funcionalidad que proporciona la aplicación de un banco de prueba que describe los protocolos de acceso al medio.

Este compendio está dirigido a todo usuario, ya sea estudiante, docente o personal técnico, que desee obtener información e interacción acerca de la gestión de una red LAN inalámbrica establecida por el estándar IEEE 802.11.

Además se explicara cómo utilizar la interfaz, mediante una explicación detallada de todos los módulos que representan los procesos.

Especificaciones del Hardware

Controlador PXI 8106

ELÉCTRICAS

Voltaje (V)	Corriente (A)	
	Típico	Máximo
+3.3	3.60	3.75
+5 (+5 Vdc +5 Vio)	7.50	8.50
+12	0.005	0.005
-12	0	0

Tabla 1: ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS

FÍSICAS

Dimensiones: Tamaño del modulo PXI 3U (8.1cm X 13cm X 21.6cm).

Requerimiento de las ranuras: Una ranura de sistema más tres controladores.

Compatibilidad: total compatibilidad con las especificaciones PXI.

Peso: 0.94Kg aproximadamente.

CONDICIONES DEL ENTORNO

Altitud máxima: 2000mts a una temperatura ambiente de 25°C

Uso únicamente en ambientes interiores.

Conectores e indicadores del panel frontal del hardware

En esta sección se describen los indicadores tipo LED del panel frontal del hardware modular PXI, las siguientes tablas proveen la información de los indicadores del NI PXI 5441, NI PXI 5610, NI PXI 5142 y NI PXI 5600.

ESPECIFICACIONES DEL PANEL FRONTAL NI-5441

Panel Frontal NI -5441	LED	Indicadores
	Acceso	Indica el estatus básico del modulo NI5441. La función de este LED es indicar el acceso al modulo de conversión hacia arriba: APAGADO- el modulo no se encuentra en funcionamiento. AMBAR-el modulo está empezando a acceder al bus PXI. VERDE-el modulo está listo para ser programado por el dispositivo.
	Activo	AMBAR-el modulo está esperando para inicializar. VERDE- el modulo ha recibido el disparo inicial (Trigger) y está generando la forma de onda. ROJO- el modulo ha detectado un error.

Tabla 2: PANEL FRONTAL NI-5441

ESPECIFICACIONES DEL PANEL FRONTAL NI-5610

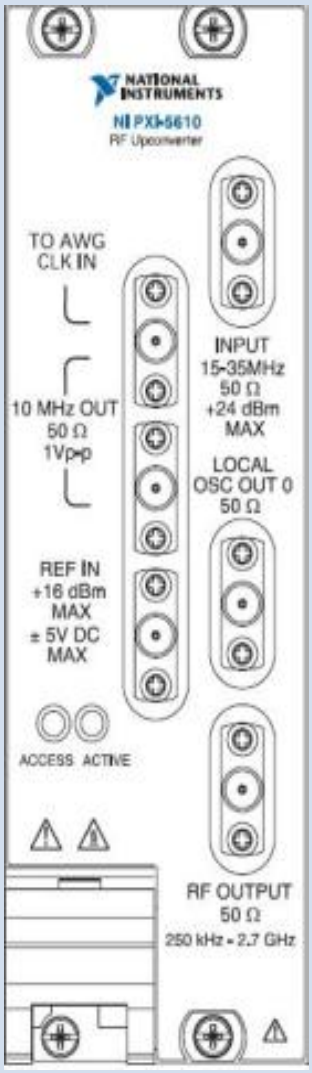
Panel Frontal NI-5610	Conector	Uso
	Salida 10MHz (TO AWG CLK IN)	Ambos conectores se acoplan del CLK IN al modulo AWG del panel frontal. La salida de estos conectores ser la conversión hacia arriba de una senal con una frecuencia de referencia de 10MHz.
	Entrada IF	Conectar en la salida canal 0 en el modulo AWG. Esto sirve para hacer la traslación a la frecuencia intermedia de la senal.
	LED	**Indicadores**
	Acceso	Indica el estatus NI-5610. APAGADO- el modulo no se encuentra en funcionamiento. AMBAR-el modulo está empezando a acceder al bus PXI. VERDE-el modulo está listo para ser programado por el dispositivo.
	Activo	APAGADO-el modulo esta en estado de no inicializado. AMBAR- el modulo PLL esta tratando de bloquear. VERDE- el modulo se encuentra listo para inicializar y la reserva de potencia de protección del circuito se cierra. ROJO-el modulo ha detectado un error.

Tabla 3: PANEL FRONTAL NI-5610

ESPECIFICACIONES DEL PANEL FRONTAL NI-5142

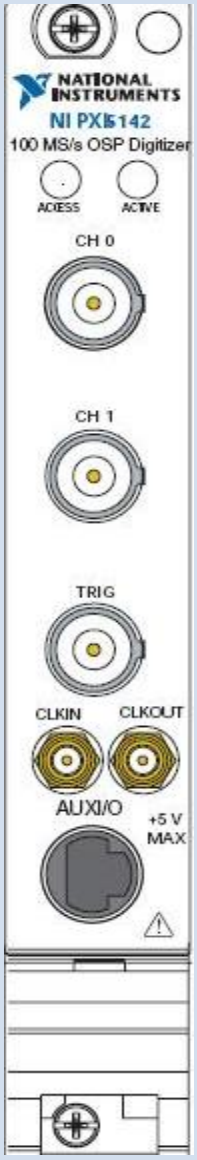
Panel Frontal NI-5142 Digitalizador de Frecuencia Intermedia	Conector	Uso
	Canal 0	Conectar el terminal para trasladar laforma de onda a la frecuencia intermedia al NI-5600 convertidor hacia abajo.
	CLK IN	Conectar el terminal al reloj de referencia interna del NIPXI-5600 convertidor hacia abajo.
	LED	**Indicadores**
	Acceso	Indica el estatus NI-5142. APAGADO- el modulo no se encuentra en funcionamiento. AMBAR-el modulo está empezando a acceder al bus PXI. VERDE-el modulo está listo para ser programado por el dispositivo.
	Activo	APAGADO-el modulo está en estado de no inicializado. AMBAR- el modulo PLL está tratando de bloquear. VERDE- el modulo se encuentra listo para inicializar y la reserva de potencia de protección del circuito se cierra. ROJO-el modulo ha detectado un error.

Tabla 4: PANEL FRONTAL NI-5142, DIGITALIZADOR DE FRECUENCIAS INTERMEDIAS

ESPECIFICACIONES DEL PANEL FRONTAL NI-5600

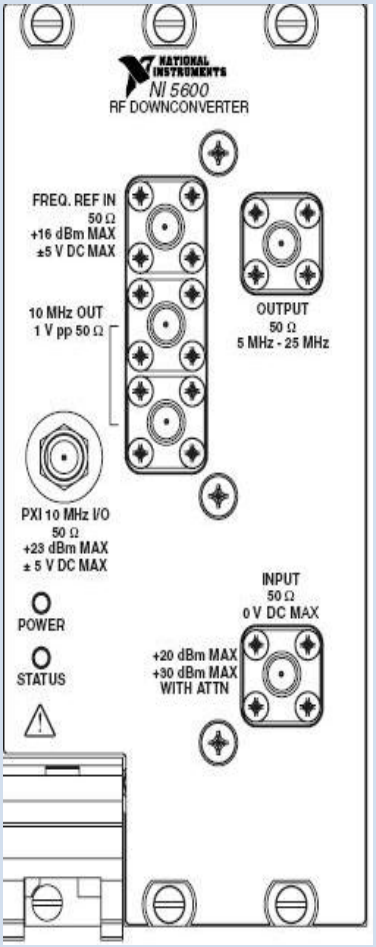
Panel Frontal NI-5600	LED	Indicadores
	Encendido	Indica el estatus básico del hardware, la función de este LED se puede describir a través de dos estados: APAGADO-el modulo no se encuentra en funcionamiento. VERDE-el modulo se encuentra en funcionamiento y recibiendo energía.
	Estatus	APAGADO-el modulo se encuentra no inicializado. VERDE-el modulo está listo para comenzar.

Tabla 4 : PANEL FRONTAL NI-5600

Tarjeta PXI-5610

Canales	
RF (entrada)	1
RF (salida)	1
Frecuencia	
Rango	9KHz a 2.7GHz
Ancho de banda real	20MHz
Frecuencia interna	10MHz

Tabla 5: ESPECIFICACIONES DE LA TARJETA PXI-5610

Voltaje (V)	Corriente (A)
	Típico
+3.3 Vdc (±5%)	920 mA
+5 Vdc (±5%))	2.3
+12 Vdc(±5%)	700mA
-12 Vdc(±5%)	115 mA

Tabla 6: ESPECIFICACIONES DE LA TARJETA PXI-5610

FÍSICAS

Dimensiones: entre 10 y 16 cm en tres ranuras.

CONDICIONES DEL ENTORNO

Temperatura operativa: de 0 a 50°C.

Humedad relativa: de 10% a 90%.

Tarjeta PXI-5600

RF (entrada) **RF (salida)**	1 1
Frecuencia	
Rango	9KHz a 2.7GHz
Ancho de banda real	20MHz
Frecuencia interna	10MHz

Tabla 7: ESPECIFICACIONES DE LA TARJETA PXI-5610

Voltaje (V)	**Corriente (A)**
	Tipico
+3.3 Vdc (±5%)	920 mA
+5 Vdc (±5%))	2.3
+12 Vdc(±5%)	700mA
-12 Vdc(±5%)	115 mA

Tabla 8: ESPECIFICACIONES DE LA TARJETA PXI-5610

FÍSICAS

Dimensiones: entre 10 y 16 cm en tres ranuras.

CONDICIONES DEL ENTORNO

Temperatura operativa: de 0 a 50°C.

Humedad relativa: de 10% a 90%.

Configuraciones iniciales

Tarjeta NiPXI-5610

Para realizar la configuración inicial dirigirse a la pestana CAPA FISICA>>TRASMISION:

- Seleccione el nombre de la fuente PXISlot 2.
- El tipo de modulación que debe seleccionar es QPSK con 16 muestras por símbolo para así establecer el tipo que usa IEEE 802.11 b o Wi-Fi.
- Frecuencia de la portadora igual a 5000 Hz.
- Valor de la frecuencia central igual a 2GHz, o el valor que el usuario desee introducir.
- Introducir el valor del nivel potencia (dBm).
- Configurar el valor de la tasa IQ, que son los simb/seg de la señal que se desea generar, Ver Figura 1.

NOTA: *Establecer la rata de bits (Hz) en 10 veces más que la frecuencia de la portadora.*

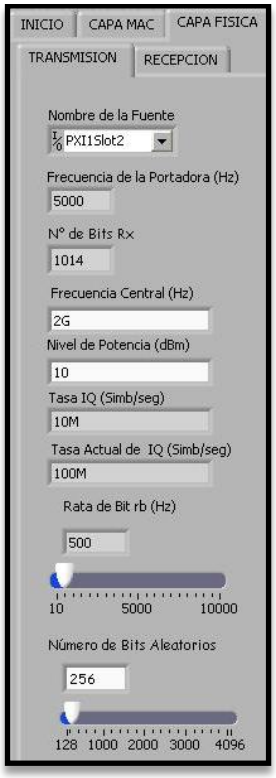


Figura 1: PARAMETRO DE TRAJETA NIPXI-5610

Trajera NiPXI-5600

Para realizar la configuración inicial dirigirse a la pestana CAPA FISICA>>RECEPCION:

- Seleccione el nombre de la fuente PXISlot 5.
- El valor de las muestras por registro es de 8.192 que se obtiene a través de la relación de los bits enviados.
- El valor de las muestras por fetch de 16.384, que se obtiene al multiplicar por 2 el valor de las muestras por registro.
- La configuración de los ajustes del espectro, se realizara a través de los valores de frecuencia central de la señal y nivel de potencia establecidos en la tarjeta PXI-5600. El Spand tendrá un valor de 6 M. El ancho de banda de resolución del espectro Se debe colocar en 1 K. Ver Figura 2.

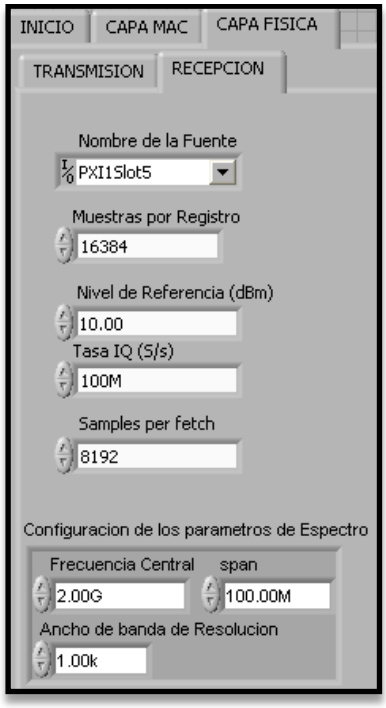


Figura 2: PARAMETRO DE TARJETA NIPXI-5600.

Operación del Banco de Prueba

Dirigirse a la pestana de la CAPA DE ENLACE dentro de la cual se puede visualizar 6 sub pestañas referentes: operación atómica, protocolo CSMA/CA, CSMA/CA con RTS Y CTS, colisiones, formato de trama y estado de conexión.

Operación Atómica

IEEE 802.11 establece el uso de confirmaciones positiva de la trama para poder visualizar este hecho:

- Para dar inicio a las rutinas que simulan el proceso representado en la interfaz, hacer click en el icono CORRER que se encuentra en la parte superior izquierda del software de simulación que además se muestra en la Figure 3.
- Hacer click en el botón de inicio que se encuentra en la parte derecha de la interfaz de usuario para comenzar el proceso que gestiona la capa MAC para acceder al medio inalámbrico.
- Para observar los procesos que se originan siendo simultáneamente en la capa física dirigirse a la pestana CAPA FISICA, en ella el usuario puede escoger que desea visualizar, en caso de ser la trasmisión de los datos dirigirse a la pestaña TRASMISION, si por el contrario el usuario desea observar los procesos que se obtienen a partir de la demodulación y detección de los bits generados seleccionar la pestana RECEPCION. Ver Figura 4 y Figure 5.

Figure 3: OPERACIÓN ATOMICA

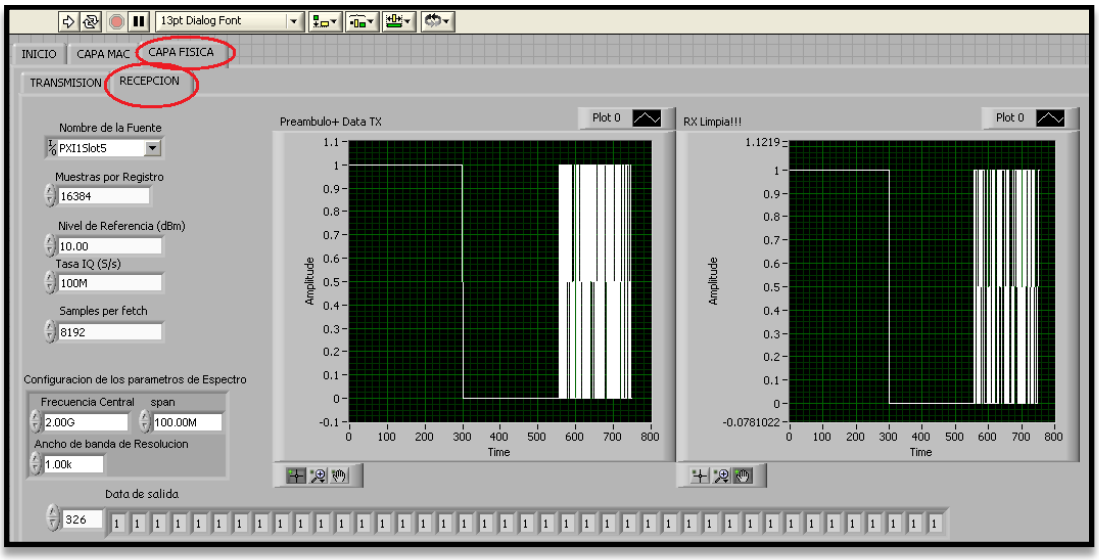


Figura 4: CAPA FISICA, RECEPCION.

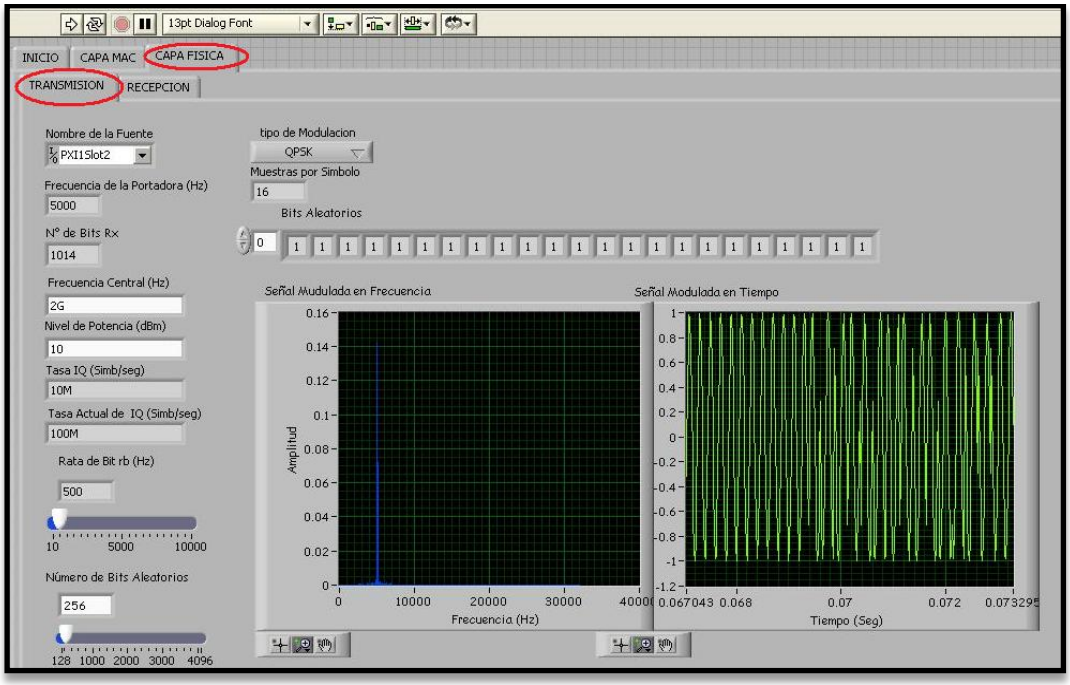


Figure 5: CAPA FISICA, TRASMISION.

CSMA/CA

- Para dar inicio a las rutinas que simulan el proceso representado en la interfaz, hacer click en el icono CORRER que se encuentra en la parte superior izquierda del software de simulación que además se muestra en la Figure 6.
- Hacer click en el botón de inicio que se encuentra en la parte derecha de la interfaz de usuario para comenzar el proceso que gestiona la capa MAC para acceder al medio inalámbrico.
- Para visualizar los procesos de capa física seleccionar la pestana CAPA FISICA.

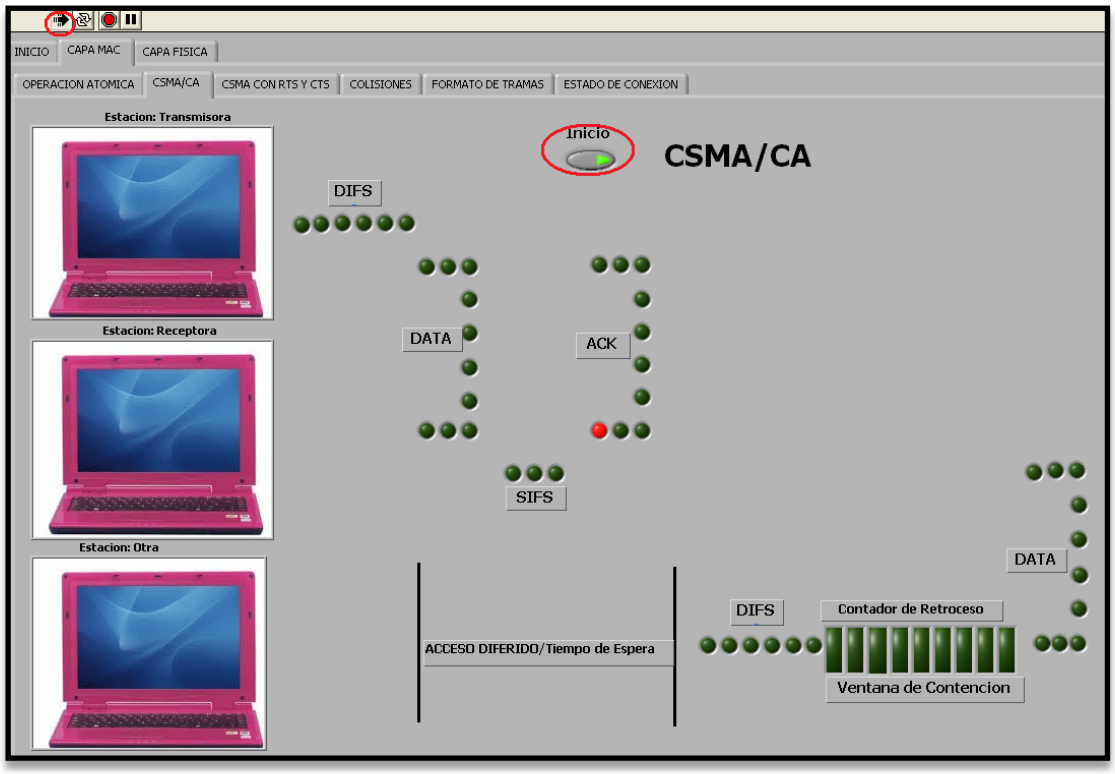


Figure 6: CSMA/CA

CSMA/CA con RTS Y CTS

➢ Asegurar que las barras de estado de los indicadores de NAV (RTS) y NAV (CTS) estén en 0.
➢ Hacer click en el icono CORRER que se encuentra en la parte superior izquierda del software de simulación que además se muestra en la Figure 7.
➢ Hacer click en el botón de inicio que se encuentra en la parte derecha de la interfaz de usuario para comenzar el proceso que gestiona la capa MAC para acceder al medio haciendo uso de las tramas de control RTS y CTS.

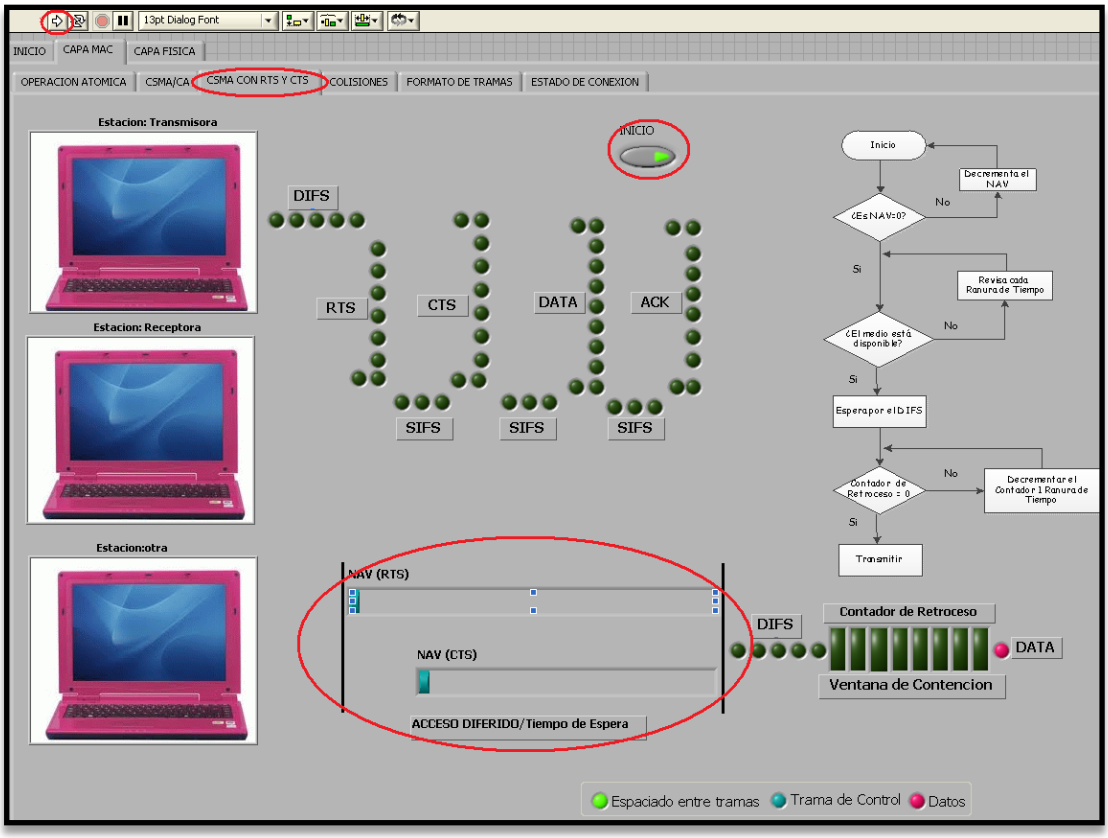


Figure 7: CSMA CON RTS Y CTS

Colisiones

➢ Para dar inicio a las rutinas que simulan el proceso representado en la interfaz, hacer click en el icono CORRER que se encuentra en la parte superior izquierda del software de simulación que además se muestra en la Figure 8.
➢ Hacer click en el botón de inicio que se encuentra en la parte derecha de la interfaz de usuario para comenzar el proceso que gestiona la capa MAC para acceder al medio inalámbrico.
➢ Una vez generada la colisión y aparezca la advertencia de la misma hacer click sobre el botón OK para finalizar la operación.

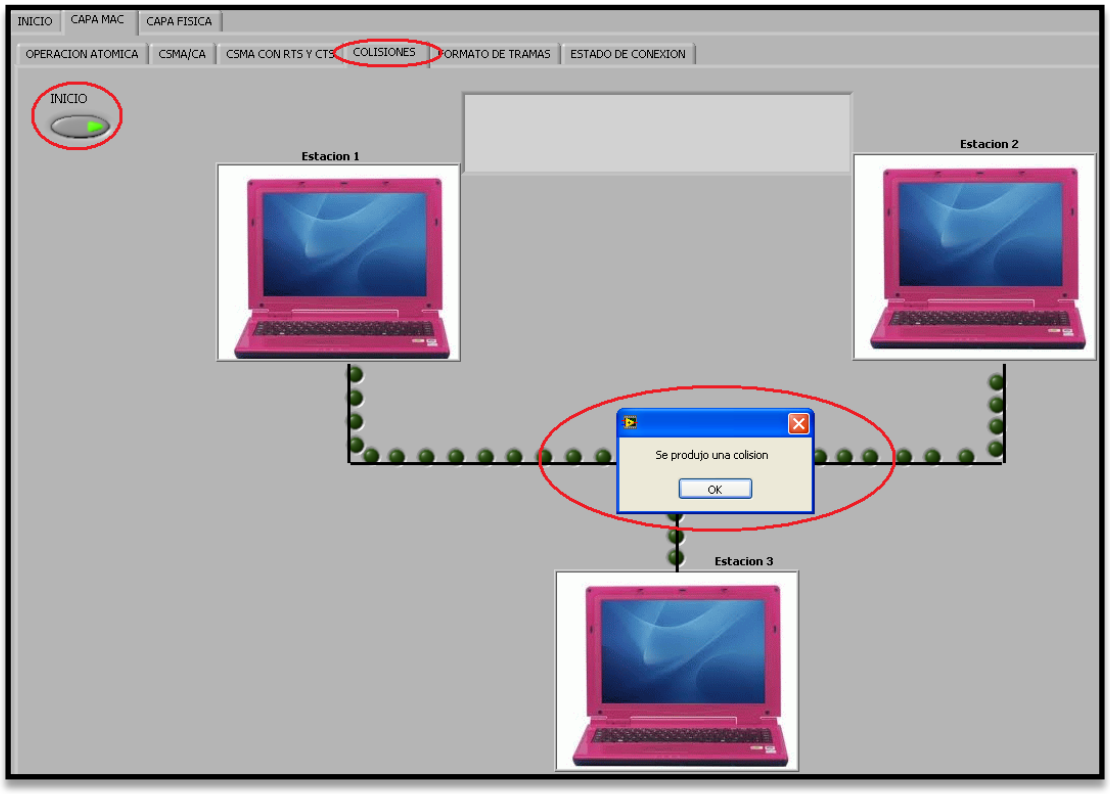


Figure 8: COLISIONES

Formato de trama

Si el usuario desea indagar sobre los campos que conforman una trama general del protocolo del IEEE 802.11 o Wi-Fi:

➢ Hacer click sobre la pestana FORMATO DE TRAMA, esta se subdivide en dos pestana que son TRAMA DE DATOS Y TRAMAS DE CONTROL en ambas se observan a través de indicativos tipo led los campos que las conforman. Ver Figure 9.

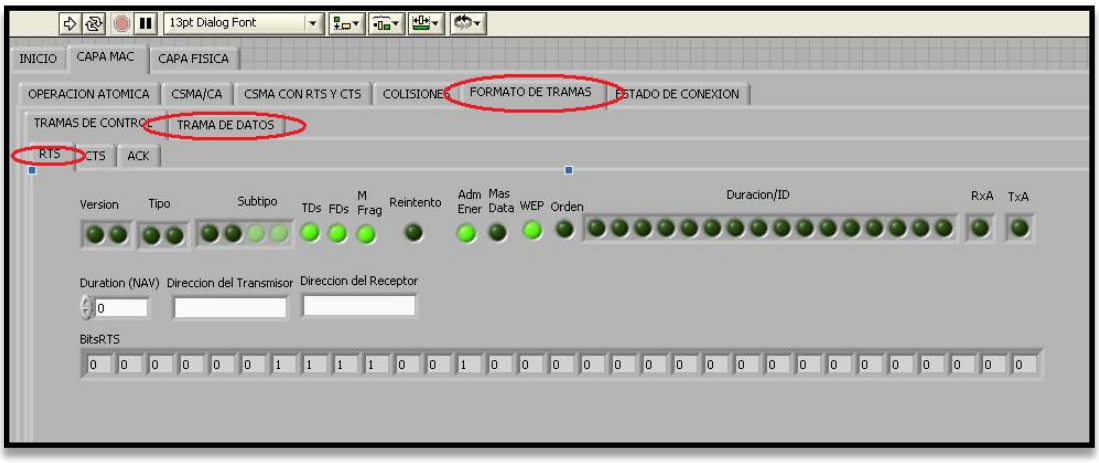


Figure 9: FORMATO DE TRAMAS

Estado de conexión

En el estado de conexión se podrá visualizar el nombre de la red establecida, las direcciones físicas de las estaciones que intervienen en el proceso, la velocidad de conexión y el canal de uso. Ver Figure 10.

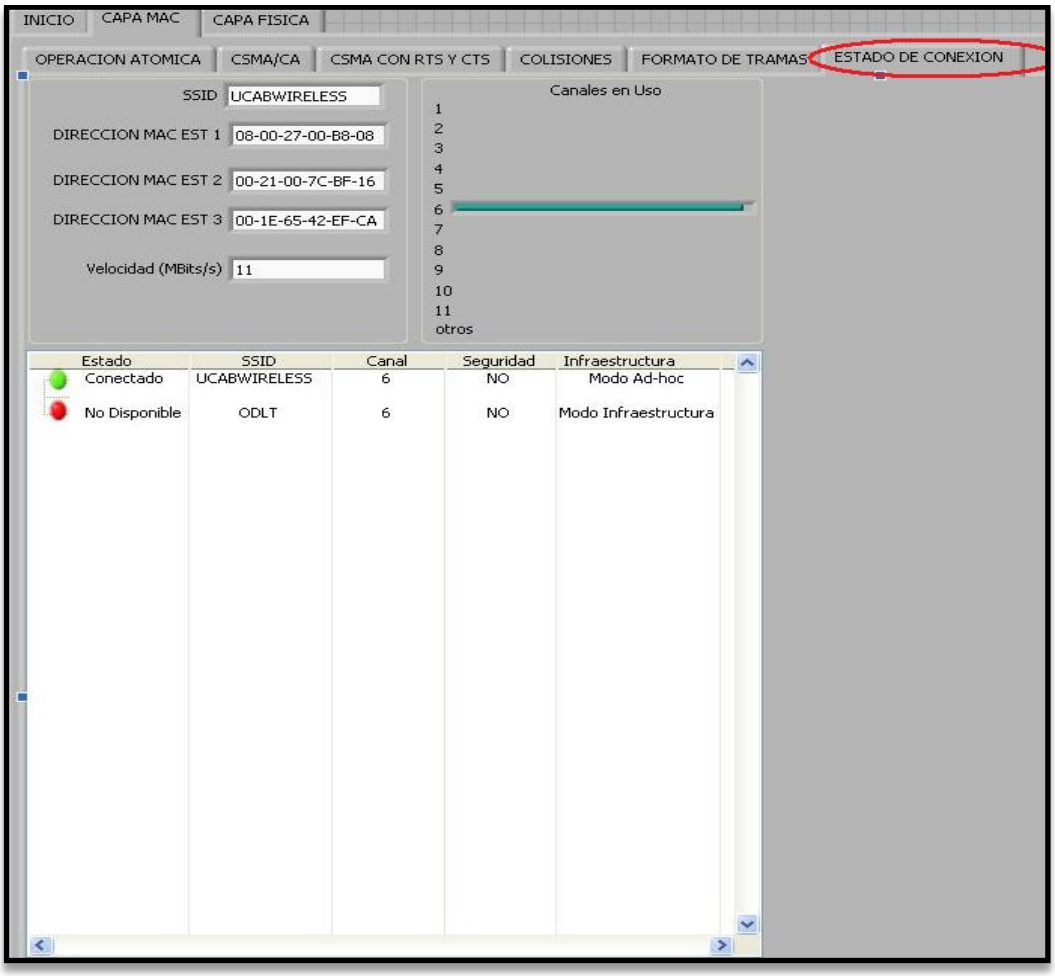


Figure 10: ESTADO DE CONEXION