

**ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA BAJO LAS NORMAS IEEE 802.11(X) PARA
EL CAMPUS DE INGENIERÍAS - SECTOR TULCÁN**



ANEXOS

**HERNÁN DARÍO BRAVO GALLEGO
MARTHA CLAUDIA VERA GARCÍA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES
GRUPO DE I+D NUEVAS TECNOLOGÍAS EN TELECOMUNICACIONES
POPAYÁN
2004**

ANEXO A. TIPOS DE TRAMAS

1.1 TRAMAS DE DATOS

Las tramas de datos llevan datos de protocolo de nivel superior. Los tipos de tramas de datos se pueden dividir dependiendo del servicio que estén usando, basado en contención o libre contención. También se pueden dividir en tramas que solamente llevan datos o tramas con funciones de gestión. Lo anterior se resume en la tabla 1.

Tabla 1. Categorización de las tramas de datos

| Tipo de trama | Modo DCF | Modo PCF | Lleva datos | No lleva datos |
|--------------------------|----------|-------------|-------------|----------------|
| Datos | ✓ | | ✓ | |
| Datos + CF-ACK | | ✓ | ✓ | |
| Datos + CF-Poll | | ✓ (solo AP) | ✓ | |
| Datos + CF-ACK + CF-Poll | | ✓ (solo AP) | ✓ | |
| Función nula | ✓ | ✓ | | ✓ |
| CF-ACK | | ✓ | | ✓ |
| CF-Poll | | ✓ (solo AP) | | ✓ |
| CF-ACK + CF-Poll | | ✓ (solo AP) | | ✓ |

1.1.1 Tramas de datos basadas en contención: entre las tramas de datos basadas en contención se encuentra el tipo de trama datos y nula.

Datos: son tramas cuyo propósito es mover datos de una estación a otra.

Función nula: las tramas nulas, son tramas vacías, consisten del encabezado MAC seguido por el FCS. La usan las estaciones para informar al AP, cambios en el ahorro de potencia.

1.1.2 Tramas de datos basadas en libre contención: las tramas de datos de libre contención pueden tener varias funciones por razones de eficiencia. Los tipos de tramas de datos basadas en libre contención son: Datos + CF-ACK, Datos + CF-Poll, Datos + CF-ACK + CF-Poll, CF-ACK, CF-Poll y CF-ACK + CF-Poll.

Datos + CF-ACK: esta trama combina la transmisión de datos con un ACK. El dato es para el receptor; el ACK es dirigida a la estación o AP que envió la última trama.

Datos + CF-Poll: esta trama es usada por el AP para transmitir datos a una estación y a la vez pedirle tramas a la misma.

Datos + CF-ACK + CF-Poll: esta trama la usa un AP cuando tiene datos para transmitir, debe hacer un ACK de una trama y necesita sondear una estación. Los datos y el sondeo son para la misma estación, el ACK es para indicar a la otra estación que el AP recibió la última trama.

CF-ACK: esta trama es usada cuando las estaciones quieren hacer acuse de recibo de una trama recibida y a la vez no necesitan enviar datos.

CF-Poll: es la trama enviada por el AP a una estación, para otorgarle el derecho a transmitir una trama; se usa cuando el AP no tiene datos para la estación. Esta situación se puede presentar cuando el AP transmite un CF-Poll y la estación sondeada no transmite datos o no responde.

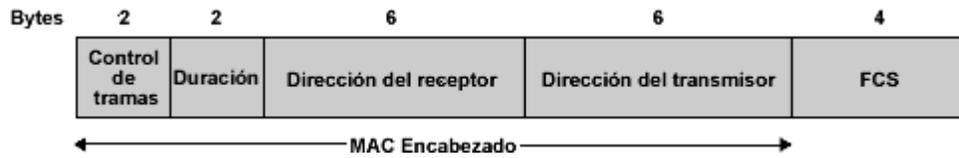
CF-ACK+CF-Poll: esta trama hace ACK a la última trama recibida que recibió el AP de uno de sus clientes y pide una trama a la siguiente estación de la lista de sondeo.

1.2 TRAMAS DE CONTROL

Las tramas de control ayudan en la entrega de las tramas de datos. Estas tramas son las encargadas de administrar y controlar el acceso al medio inalámbrico y proporcionar funciones de confiabilidad a nivel MAC. Los tipos de tramas de control son: sondeo de ahorro de potencia (PS-Poll), petición de envío (RTS), listo para enviar (CTS), acuse de recibo (ACK), fin de libre contención (CF-end) y CF-end + CF-ACK

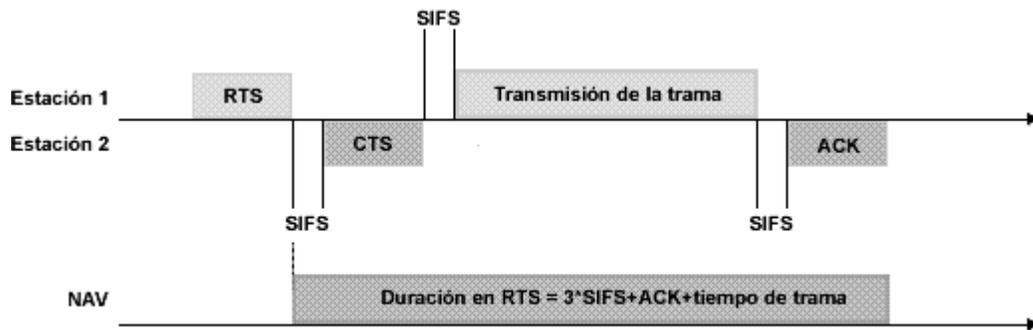
1.2.1 Petición de envío (RTS): las tramas RTS son usadas para ganar el control al medio en el caso de transmisión de grandes tramas, en donde el tamaño es definido por el nivel RTS en el controlador de la tarjeta de red. El acceso al medio puede ser reservado únicamente para tramas *unicast*, las tramas *broadcast* y *multicast* son simplemente transmitidas.

Figura 1. Formato de trama RTS.



Una trama RTS intenta reservar el medio para el intercambio total de tramas, de modo que la estación transmisora calcula el tiempo necesario para la secuencia de intercambio después de que la trama RTS finaliza. El valor del campo de duración es el tiempo en microsegundos requerido para transmitir la trama de datos o gestión o un primer fragmento, mas una trama CTS, mas una trama ACK, mas 3 intervalos SIFS (periodo de tiempo fijo). Si el tiempo requerido para la transmisión es fraccional se redondea al próximo microsegundo.

Figura 2. Campo de duración RTS.



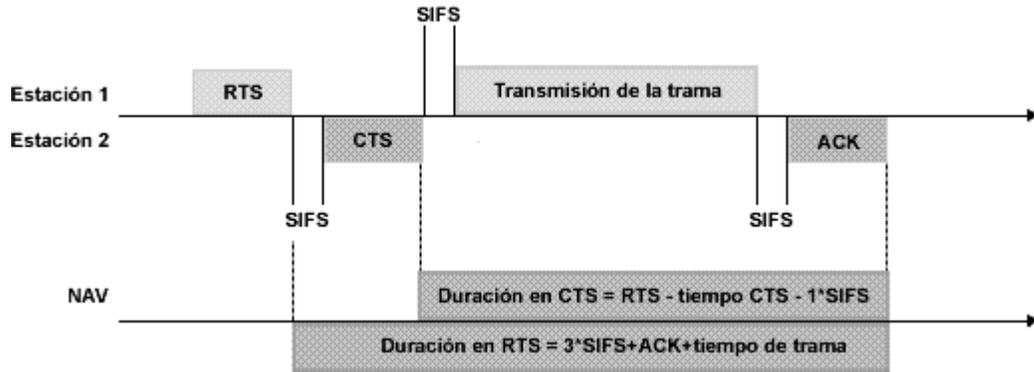
1.2.2 Listo para enviar (CTS): la trama CTS es la respuesta a la trama RTS, su formato es mostrado en la figura 3.

Figura 3. Formato de trama CTS.



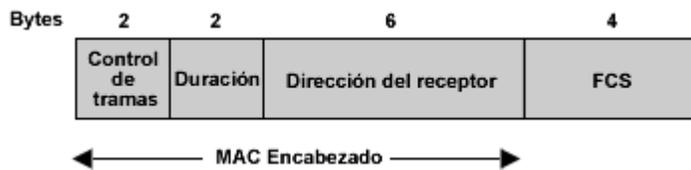
El transmisor de la trama CTS calcula su duración usando la duración de la trama RTS inmediatamente anterior, menos el tiempo CTS, menos el intervalo SIFS. Como se muestra en la figura 4.

Figura 4. Campo de duración de la trama CTS.



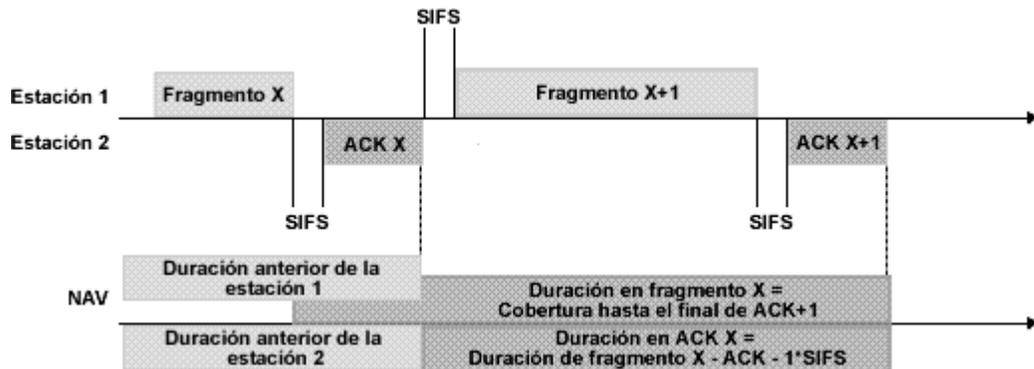
1.2.3 Acuse de recibo (ACK): las tramas ACK son usadas para enviar acuse de recibo positivo y son usadas en respuesta a tramas de datos, tramas de gestión y tramas PS-Poll. Su formato se puede ver en la figura 5.

Figura 5. Formato de trama ACK.



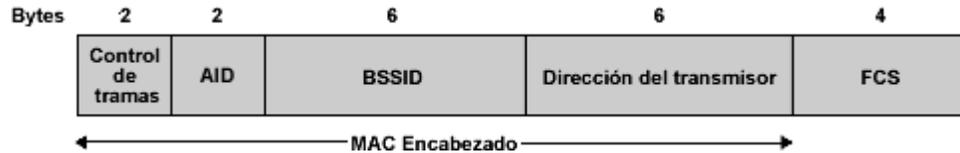
La duración es 0 cuando es un ACK para tramas de datos completas o para el último fragmento de una secuencia. Cuando se trata de una secuencia de fragmentos, la duración realiza el mismo proceso que en el caso de tramas CTS, es decir que el ACK y su SIFS son restados del campo de duración del fragmento anterior.

Figura 6. Duración de las tramas ACK no finales.



1.2.4 Sondeo de ahorro de potencia (PS-Poll): cuando una estación móvil despierta de un modo ahorro de potencia, transmite una trama PS-Poll al AP para recuperar cualquier trama almacenada mientras estaba en modo ahorro de potencia.

Figura 7. Formato de trama PS-Poll.



En vez del campo de duración, la trama PS-Poll usa el identificador de asociación (AID). Este es un valor numérico asignado por el AP para identificar la asociación. Incluyendo el AID a la trama permite que el AP encuentre cualquier trama almacenada para la estación móvil que envió el PS-Poll.

1.2.5 Fin de libre contención (CF-End): esta trama es usada por el AP para anunciar a todas las estaciones el fin del periodo de libre contención, es decir que se finaliza PCF, y se da comienzo a DCF, el formato de la trama se muestra en la figura 8.

Figura 8. Formato de trama de fin de libre contención.



El campo de duración es 0 ya que no se necesita reservar el medio como en el caso de las tramas RTS.

1.2.6 CF-End + CF-Ack: combina la función del CF-End con la función CF-ACK, sirve para anunciar que el periodo de libre contención finaliza y para enviar un ACK de la última trama recibida. El formato de la trama es igual al de la trama de fin de libre contención.

1.3 TRAMAS DE GESTIÓN

La gestión es un gran componente de la especificación 802.11. Diferentes tipos de tramas de gestión se usan para proporcionar servicios que son simples en una red cableada, por ejemplo

establecer la identidad de una estación en una red cableada es fácil ya que las conexiones requieren solo una extensión de cables, contrario a lo que sucede en una red inalámbrica. El formato de tramas de gestión se puede ver en la figura 9.

Figura 9. Estructura de las tramas de gestión.



Algunas tramas de gestión usan el cuerpo de trama para transmitir información específica dependiendo del servicio, esta información puede ser de dos tipos: campos de longitud fija y campos de longitud variable. Estos campos se explican primero y luego cada uno de los tipos de tramas de gestión

1.3.1 Campos de longitud fija: los campos de longitud fija pueden o no aparecer en las tramas de gestión y son diez:

Número de algoritmo de autenticación: tiene 2 bytes, este campo identifica el tipo de autenticación usado. El valor de 0 es para autenticación de sistema abierto, 1 es para autenticación de clave compartida, de 2 a 65535 está reservado.

Número de secuencia de transacción de autenticación: tiene 2 bytes y se usa para registrar el proceso de autenticación, toma valores de 1 a 65535 y nunca se fija en 0.

Intervalo de baliza: tiene 2 bytes y es usado para fijar el número de unidades de tiempo entre transmisión de balizas. La unidad de tiempo es 1024 microsegundos.

Información de capacidad: tiene 2 bytes, es usado en las balizas para anunciar las capacidades de la red. También se usa en las tramas de respuesta y petición de prueba como bandera para anunciar una función particular de la red. Las estaciones hacen anuncios para determinar si pueden ser soportados por el BSS. Esta compuesto por los siguientes campos:

Figura 10. Campo de información de capacidad.

| Bits | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
|------|-----|------|-----------|------------------|------------|-------------------------|--------------|---------------------------|-----------|
| | ESS | IBSS | Sondeo CF | Petición CF-Poll | Privacidad | Preámbulo corto 802.11b | PBCC 802.11b | Agilidad de canal 802.11b | Reservado |

- ESS/ IBSS: estos dos bits son mutuamente excluyentes, en modo infraestructura ESS es 1 e IBSS es 0 y en modo Ad hoc es al contrario.
- Privacidad: este bit es 1 cuando se usa WEP.
- Preámbulo corto: este campo fue adicionado en 802.11b fijado en 1 indica que se está usando preámbulo corto para soportar alta velocidad para DSSS.
- Codificación convolucional binaria de paquete (PBCC): este campo fue adicionado en 802.11b, fijado en 1 indica que se está usando el esquema de modulación PBCC.
- Agilidad de canal: adicionado al 802.11b, indica que la red está usando la opción agilidad de canal cuando se fija en 1.
- Bits de sondeo de libre contención: son usados para indicar cuando una estación o un AP puede soportar el sondeo.

Dirección AP actual: indica la dirección MAC del AP con el cual las estaciones móviles se están comunicando, tiene 6 bytes y es usado en la asociación y reasociación.

Intervalo de escucha: tiene 2 bytes usado cuando las estaciones están en modo ahorro de potencia e indica el periodo de tiempo en el cual ellas van a permanecer inactivas. Entre mas alto sea este intervalo se necesita más memoria en el AP para el almacenamiento de tramas durante este periodo.

Identificador de asociación (AID): tiene 2 bytes, ayuda a las tramas de control y gestión en el proceso de asociación.

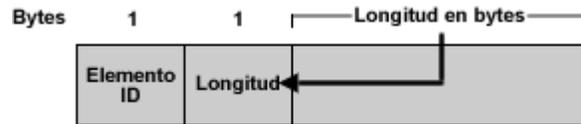
Marca de tiempo: tiene 8 bytes y permite la sincronización entre las estaciones de un BSS.

Código de causa: tiene 2 bytes, usado cuando en el proceso de des-asociación o de des-autenticación ha ocurrido un fallo, indicando que el transmisor ha hecho algo incorrectamente.

Código de estado: tiene 2 bytes, indica el éxito o la falla de una operación.

1.3.2 Campos de longitud variable: su formato es el siguiente:

Figura 11. Campo de longitud variable.



El campo elemento ID es el identificador de tipo de campo de longitud variable que puede ser cualquiera de los siguientes:

Identificador del conjunto de servicio (SSID): es de longitud variable y va de 0 a 32 y significa que es el SSID de broadcast.

Velocidades soportadas: permite especificar las velocidades que la red puede soportar, dependiendo de la tecnología que se este usando. Algunas de estas velocidades son obligatorias, mientras que otras son opcionales. Las estaciones chequean este campo cuando, intentan unirse a la red.

Conjunto de parámetros FH: contiene todos los parámetros necesarios para unirse a una red 802.11 con salto de frecuencia, estos son: tiempo de permanencia, conjunto de saltos, patrón de salto y tablas de salto.

Conjunto de parámetros DS: contiene todos los parámetros necesarios para unirse a una red 802.11 con secuencia directa, solamente tiene un parámetro y es el número del canal.

Mapa de indicación de tráfico (TIM): indica a las estaciones inactivas si el AP tiene almacenadas tramas para ellas.

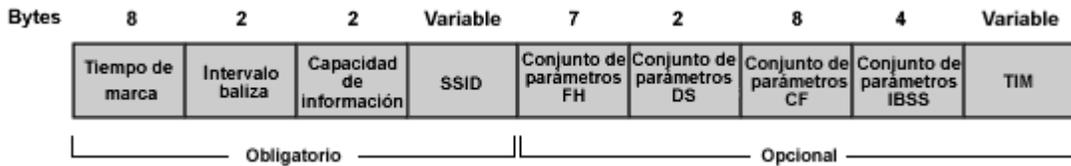
Conjunto de parámetros CF: es transmitido en las balizas para indicar a las estaciones que el AP está en modo de libre contención.

Conjunto de parámetros IBSS: contiene la ventana de mapa de indicación de notificación de tráfico (ATIM), sirve para indicar el número de unidades de tiempo entre tramas ATIM en una IBSS.

Texto de desafío: el sistema de autenticación de clave compartida definido en 802.11 requiere que una estación móvil descifre un texto encriptado, este texto va en este campo.

1.3.3 Baliza: en el campo de trama se encuentran los siguientes subcampos.

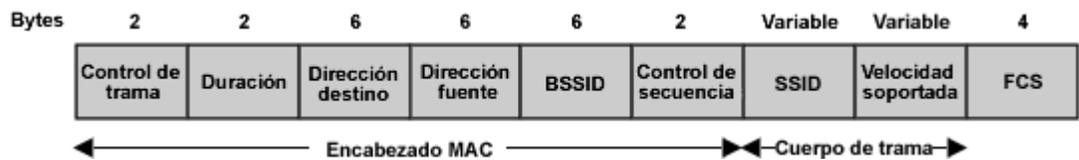
Figura 12. Trama baliza.



No todos los elementos están presentes en todas las balizas. Los campos opcionales están presentes solamente cuando hay una razón para ser usados. Por ejemplo el conjunto de parámetros FH y DS son mutuamente excluyentes, el conjunto de parámetros CF se usa solamente en PCF, el TIM es usado solamente cuando es generado por el AP.

1.3.4 Petición de prueba: es usada por las estaciones móviles para examinar un área donde existen redes 802.11. El formato de la trama es el siguiente:

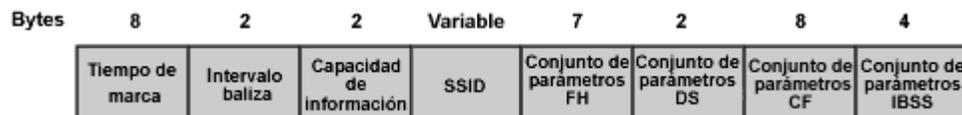
Figura 13. Trama de petición de prueba.



Todos los campos son obligatorios. La estación envía los parámetros con los cuales es compatible, el SSID y las velocidades soportadas por ella.

1.3.5 Respuesta de prueba: si una petición de prueba encuentra una red con parámetros compatibles, la red envía una trama de repuesta a la petición de prueba. Esta trama es enviada por el AP (en modo infraestructura) o por la estación (en modo Ad hoc) que envió la última baliza. El formato de trama se muestra en la figura 14.

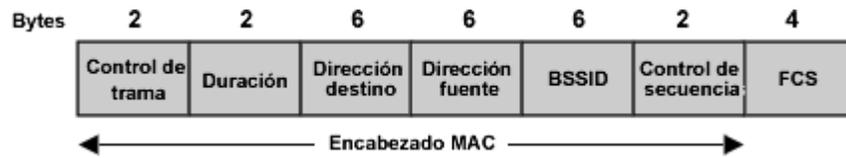
Figura 14. Trama de respuesta de prueba.



Algunos parámetros son mutuamente excluyentes así como se explicó en la trama baliza.

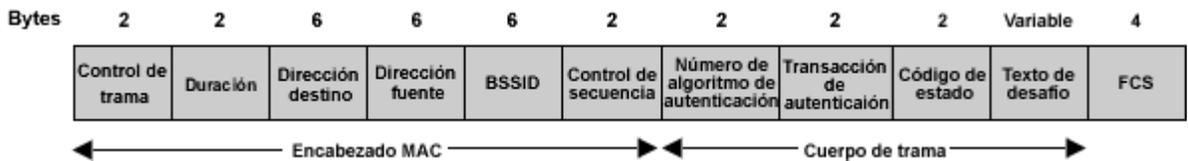
1.3.6 Mapa de indicación de anuncio de tráfico (ATIM): es usado en por las estaciones de un IBSS para anunciar a las estaciones inactivas que tienen tramas almacenadas para ellas. La trama ATIM se muestra en la figura 15.

Figura 15. Trama ATIM



1.3.7 Autenticación: es usada para comenzar el proceso de autenticación. La autenticación es más útil en redes tipo infraestructura, y pueden involucrar un número de pasos que dependen del método que se este usando. Ver figura 16.

Figura 16. Trama de autenticación.



1.3.8 Des-autenticación: esta trama es usada para finalizar una relación de autenticación. El formato de trama es mostrado en la figura 17.

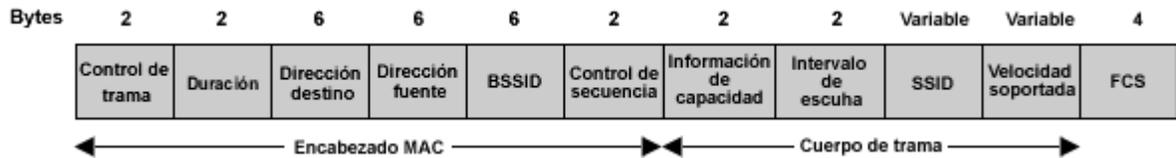
Figura 17. Des-autenticación.



1.3.9 Des-asociación: es usado al final de una relación de asociación y tiene el mismo formato de la trama de des-autenticación, pero difieren en el subtipo.

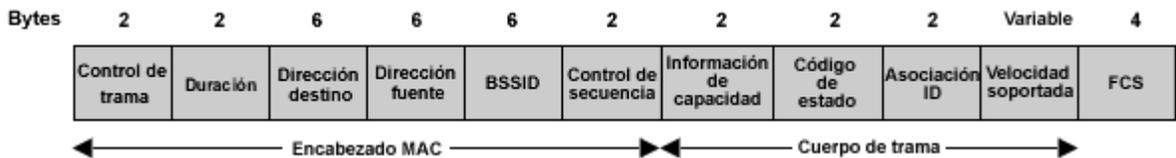
1.3.10 Petición de asociación: sirve cuando una estación desea asociarse a una red. El formato de la trama es el de la figura 18. Todos los campos son obligatorios.

Figura 18. Trama de petición de asociación.



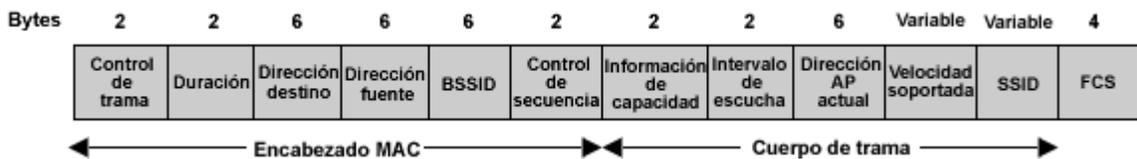
1.3.11 Respuesta de asociación: se usa para contestar a la petición de asociación. Antes de que el AP envíe la respuesta de asociación verifica que la estación sea compatible con la red. Ver figura 19.

Figura 19. Trama de respuesta de asociación.



1.3.12 Petición de re-asociación: se usa cuando una estación cambia entre BSS de una misma ESS o cuando una estación se sale de un BSS temporalmente y desea volverse a unir. Ver figura 20.

Figura 20. Trama de petición de re-asociación.



1.3.13 Respuesta de reasociación: es la respuesta a una petición de asociación y su trama es igual a la respuesta de asociación pero difieren únicamente en el subtipo.

ANEXO B. RESOLUCIÓN NÚMERO 000689 DE 2004

Por la cual se atribuyen unas bandas de frecuencias para su libre utilización dentro del territorio nacional, mediante sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia, y se dictan otras disposiciones.

La Ministra de Comunicaciones,

en el ejercicio de sus facultades legales, en especial de las que le confieren la Ley 72 de 1989, el Decreto-ley 1900 de 1990, el Decreto 1620 de 2003, y el Decreto 1972 de 2003, y

CONSIDERANDO:

Que el inciso 1º del artículo 75 de la Constitución Política establece: "El espectro electromagnético es un bien público inalienable e imprescriptible sujeto a la gestión y control del Estado. Se garantiza la igualdad de oportunidades en el acceso a su uso en los términos que fije la ley";

Que el artículo 1º de la Ley 72 de 1989 establece que el Gobierno Nacional, por conducto del Ministerio de Comunicaciones, adoptará la política general del sector de comunicaciones y ejercerá las funciones de planeación, regulación y control de todos los servicios del sector;

Que el artículo 18 del Decreto 1900 de 1990 establece que el espectro electromagnético es de propiedad exclusiva del Estado y como tal constituye un bien de dominio público, inalienable e imprescriptible, cuya gestión, administración y control corresponden al Ministerio de Comunicaciones;

Que según lo dispuesto en el artículo 19 del Decreto 1900 de 1990, las facultades de gestión, administración y control del espectro electromagnético comprenden, entre otras, las actividades de planeación y coordinación, la fijación del cuadro de frecuencias, la asignación y verificación de frecuencias, el otorgamiento de permisos para su utilización, la protección y defensa del espectro radioeléctrico, la comprobación técnica de emisiones radioeléctricas, el establecimiento de condiciones técnicas de equipos terminales y redes que utilicen en cualquier forma el espectro radioeléctrico, la detección de irregularidades y perturbaciones, y la adopción de medidas

tendientes a establecer el correcto y racional uso del espectro radioeléctrico, y a restablecerlo en caso de perturbación o irregularidades;

Que el numeral 32.6 del artículo 32 del Decreto 1972 de 2003 establece que "El uso del espectro radioeléctrico para aplicaciones industriales, científicas y médicas (ICM), así como para aparatos, equipos o sistemas cuya instalación y operación sean autorizadas de manera general y expresa por el Ministerio de Comunicaciones en las bandas y frecuencias atribuidas nacionalmente para el efecto, es libre";

Que el Comité Consultivo Permanente III de la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones CITEL, en su Recomendación CCP.III/REC.67 (XIX-2001) examinó el tema de los dispositivos de radiocomunicaciones de baja potencia, e instó a las administraciones de los países miembros a armonizar sus reglamentaciones sobre dichos dispositivos de radiocomunicaciones;

Que el Comité Consultivo Permanente III de la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones CITEL, en su Recomendación CCP.III/Res.122 (XVII-2001), reconoció el interés de sus Estados miembros armonizar el desarrollo de los dispositivos WLAN en las bandas de frecuencias de 5150-5250 MHz, 5250-5350 MHz y 5725-5825 MHz, y que su introducción internacional sería facilitada por la armonización de los países miembros, e instó a las Administraciones a considerar acciones apropiadas para que estas aplicaciones estén sujetas a procedimientos reconocidos de certificación y verificación;

Que la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones CMR-03, decidió mediante la resolución COM 5/16-CMR-03, efectuar una atribución primaria para sistemas de acceso inalámbrico WAS incluidas las RLAN en las bandas de 5 150-5 250 MHz, 5 250-5 350 MHz y 5 470-5 725 MHz, e invitó a las Administraciones a adoptar la reglamentación apropiada para que los equipos funcionen de conformidad con dichas protecciones y a proseguir el trabajo sobre mecanismos reglamentarios y otras técnicas de atenuación, con el fin de evitar las incompatibilidades que pudieran resultar de la interferencia combinada como resultado de una posible proliferación del número de sistemas de acceso inalámbrico WAS/RLAN;

Que en razón de los adelantos tecnológicos, se hace necesario atribuir, dentro del territorio nacional, para la operación sobre una base de no-interferencia y no protección de interferencia, unas bandas de frecuencias radioeléctricas para su libre utilización, en aplicaciones de telecomunicaciones que por su baja potencia puedan ser operadas sin que logren causar interferencia perjudicial a servicios de telecomunicaciones primarios o secundarios, con el fin de

facilitar la coexistencia con otros servicios de telecomunicaciones, y ejercer un control efectivo sobre el uso del espectro radioeléctrico;

En consecuencia,

RESUELVE:

TITULO I DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1º. Objeto. La presente resolución tiene por objeto atribuir unas bandas de frecuencias radioeléctricas para su libre utilización dentro del territorio nacional, mediante sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia, en las condiciones establecidas por esta resolución.

Artículo 2º. Definiciones. Para los efectos de la presente resolución, se adoptan las definiciones que en materia de telecomunicaciones ha expedido la Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT, a través de sus Organismos Reguladores, y las definiciones que se establecen a continuación:

Aplicaciones Industriales, Científicas y Médicas (ICM). Utilización de equipos destinados a producir y utilizar en un espacio reducido, energía radioeléctrica con fines industriales, científicos y médicos, domésticos o similares, con exclusión de todas las aplicaciones de telecomunicación.

Comunicación punto a punto. Comunicación proporcionada por un enlace radioeléctrico, entre dos estaciones situadas en unos puntos fijos determinados.

Comunicación punto multipunto. Comunicación proporcionada por enlaces radioeléctricos, entre una estación situada en un punto fijo determinado y un número de estaciones situadas en unos puntos fijos determinados.

Espectro ensanchado por salto de frecuencia (Frequency Hopping). Técnica de estructuración de la señal que conmuta automáticamente la frecuencia portadora transmitida; proceso que se realiza en forma pseudoaleatoria a partir de un conjunto de frecuencias que ocupa un ancho de banda mucho mayor que el ancho de banda de información. El receptor correspondiente realiza el "salto" de frecuencia en sincronismo con el código del transmisor para recuperar la información deseada.

Espectro ensanchado por secuencia directa (Direct Sequence). Técnica de estructuración de la señal que utiliza una secuencia pseudoaleatoria digital o código, con una velocidad de transmisión, muy superior a la velocidad de la señal de información. Cada bit de información de la señal digital se transmite como una secuencia pseudoaleatoria de datos codificados, que produce un espectro semejante al ruido.

Interferencia. Efecto de una energía no deseada debida a una o varias emisiones, radiaciones, inducciones o sus combinaciones sobre la recepción en un sistema de radiocomunicación, que se manifiesta como degradación de la calidad, falseamiento o pérdida de la información que se podría obtener en ausencia de esta energía no deseada.

Modulación digital. Proceso por el cual las características de una onda portadora son variadas entre un sistema de valores discretos predeterminados de acuerdo con una función de modulación digital según lo especificado en el documento ANSI C63.17.1998.

Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE). Producto de la potencia suministrada a la antena por su ganancia, con relación a una antena isotrópica en una dirección dada.

Sistemas de Baja Potencia. Acorde con la Recomendación CCP.III/REC.67 (XIX-2001) de la CITELE, son de baja potencia los dispositivos, aparatos o equipos transmisores de radiocomunicación que cuentan con poca capacidad para provocar interferencia en otro equipo de radiocomunicación y que operan sobre una base de no-interferencia, y no protección de interferencia.

Sistemas de Corto Alcance Radioeléctrico. Para los efectos de la presente resolución se consideran sistemas de corto alcance radioeléctrico los sistemas transmisores intencionales cuyo radio de cobertura de la señal guarda relación directa con la baja potencia de salida emitida por los transmisores sin que lleguen a producir interferencia a otras radiocomunicaciones.

Sistemas de Modulación Digital. Sistemas electrónicos que utilizan para el procesamiento de la señal la modulación digital.

Sistemas de Espectro Ensanchado. Sistemas de radiocomunicación en el que la energía media de la señal transmitida se reparte sobre un ancho de banda mucho mayor del ancho de banda de la información, con una densidad espectral de potencia más baja, y un mayor rechazo a las señales interferentes que operan en la misma banda de frecuencias, empleando un código independiente al

de los datos, ofreciendo una capacidad de direccionamiento selectiva y la alternativa de compartir el espectro con otros sistemas de radiocomunicación. Los sistemas de espectro ensanchado presentan modalidades de funcionamiento, los sistemas de secuencia directa (direct sequence - DS), los de salto de frecuencia (frequency hopping-FH-), y los sistemas híbridos (FH/DS), que son una combinación de los anteriores.

Radiocomunicación. Toda telecomunicación transmitida por medio de las ondas radioeléctricas.

RLAN (Radio Local Area Network). Red inalámbrica de área local, que constituye una radiocomunicación entre ordenadores, aparatos y dispositivos físicamente cercanos.

U-NII (Unlicensed National Information Infrastructure). Radiadores intencionales de energía electromagnética de baja potencia que funcionan en las bandas de frecuencia de 5 150 a 5 350 MHz y de 5 470 a 5 825 MHz, que utilizan técnicas de modulación digital de banda ancha con alta transmisión de datos y proporcionan una amplia gama de comunicaciones móviles y fijas en beneficio general.

Uso libre del espectro. Uso sin necesidad de contraprestación o pago, de algunas frecuencias o bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, atribuidas, permitidas y autorizadas de manera general y expresa por el Ministerio de Comunicaciones.

WAS Wireless Access Systems, Forma de acceso en que los usuarios obtienen un servicio de telecomunicaciones mediante enlaces de radiofrecuencias. El término de sistemas de acceso inalámbrico se aplicará en adelante a todas las tecnologías de radiocomunicación de banda ancha y baja potencia que operen sobre una base de no-interferencia y no protección de interferencia.

Selección Dinámica de Frecuencia, DFS. Mecanismo que detecta dinámicamente señales de otros sistemas de radiocomunicación y evita la operación cocanal con estos sistemas, especialmente con sistemas de radar.

Control de Transmisión de Potencia, TPC. Característica que permite a un dispositivo U-NNI cambiar dinámicamente entre varios niveles de potencia de transmisión en el proceso de la transmisión de datos.

Artículo 3º. Campo de aplicación. La presente norma aplica a los sistemas de radiocomunicación de acceso inalámbrico y a las redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia.

Para los efectos de la presente norma, a los sistemas que utilicen tecnologías de espectro ensanchado por secuencia directa les serán aplicables las disposiciones y condiciones operativas establecidas para los sistemas de modulación digital.

Artículo 4º. Habilitación general. La utilización del espectro radioeléctrico en las bandas de frecuencias atribuidas en el artículo 5º y bajo las condiciones establecidas en esta norma, no requiere habilitación distinta a la conferida de manera general por la presente resolución, sin perjuicio de la obligatoriedad de obtener la concesión respectiva cuando con este espectro radioeléctrico se pretenda prestar servicios de telecomunicaciones a terceros.

TITULO II DISPOSICIONES TÉCNICAS

Artículo 5º. Bandas de frecuencias. Se atribuyen dentro del territorio nacional, a título secundario, para operación sobre una base de no-interferencia y no protección de interferencia, los siguientes rangos de frecuencias radioeléctricas, para su libre utilización por sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que empleen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia, en las condiciones establecidas por esta resolución.

- a) Banda de 902 a 928 MHz;
- b) Banda de 2 400 a 2 483,5 MHz;
- c) Banda de 5 150 a 5 250 MHz;
- d) Banda de 5 250 a 5 350 MHz;
- e) Banda de 5 470 a 5 725 MHz;
- f) Banda de 5 725 a 5 850 MHz.

Artículo 6º. Condiciones Operativas en las bandas de 902 a 928 MHz, 2 400 a 2 483,5 MHz y de 5 725 a 5 850 MHz. Son condiciones operativas para los sistemas de espectro ensanchado por salto de frecuencia y de modulación digital, en las bandas de 902 a 928 MHz, de 2 400 a 2 483,5 MHz, y de 5 725 a 5 850 MHz, las siguientes:

A.1. Los sistemas de salto de frecuencia tendrán frecuencias portadoras por canal de intercalamiento separadas como mínimo por el mayor valor entre 25 KHz y el ancho de banda del canal a 20 dB. El sistema saltará a los canales de frecuencias que son seleccionados, a la rata de salto del sistema, de una lista de frecuencias de salto ordenada pseudoaleatoriamente. Cada frecuencia se debe utilizar igualmente en promedio, por cada transmisor. Los receptores del sistema harán coincidir sus anchos de banda de entrada con los anchos de banda del canal de salto de sus transmisores correspondientes y cambiarán frecuencias en sincronización con las señales transmitidas.

A.2. Los sistemas de salto de frecuencia en la banda de 902 a 924 MHz deben operar de la siguiente forma: si el ancho de banda del canal de salto a 20 dB es menor que 250 KHz, el sistema utilizará por lo menos 50 frecuencias de salto y el tiempo medio de la ocupación de cualquier frecuencia no será mayor a 0.4 segundos dentro de un período de 20 segundos. Si el ancho de banda del canal de salto a 20 dB es de 250 KHz o mayor, el sistema utilizará por lo menos 25 frecuencias de salto y el tiempo medio de la ocupación de cualquier frecuencia no será mayor a 0.4 segundos dentro de un período de 10 segundos. El ancho de banda máximo permitido del canal de saltos, a 20 dB, es 500 KHz.

A.3. Los sistemas de salto de frecuencia que operan en la banda de 5 725 a 5 850 MHz, deben usar por lo menos 75 frecuencias de intercalamiento. El ancho de banda máximo permitido a 20 dB del canal de intercalamiento corresponde a 1 MHz. El tiempo promedio de ocupación de cualquier frecuencia no deberá ser mayor que 0.4 segundos dentro de un período de 30 segundos.

A.4. Los sistemas de Salto de Frecuencia en la banda de 2 400 a 2 483,5 MHz deberán utilizar al menos 15 canales no sobrelapados. El tiempo promedio de ocupación de cualquier canal no deberá ser mayor a 0.4 segundos dentro de un período de 0.4 segundos multiplicado por el número de canales de salto empleados. Los sistemas de salto de frecuencia que utilicen menos de 75 frecuencias de salto pueden emplear técnicas inteligentes de salto para evitar interferencias a otras transmisiones. Los sistemas de salto de frecuencia pueden evitar o suprimir transmisiones en una frecuencia particular de salto siempre y cuando se emplee un mínimo de 15 canales no sobrelapados.

A.5. Los sistemas que utilizan técnicas de modulación digital pueden operar en las bandas de 902 a 928 MHz, de 2 400 a 2 483,5 MHz, y de 5 725 a 5 850 MHz. El ancho de banda mínimo a 6 dB debe ser de por lo menos 500 kHz;

B. Potencia. La potencia de salida máxima del transmisor no excederá de lo siguiente:

B.1. Para los sistemas de salto de frecuencia en la banda de 2 400 a 2 483,5 MHz que empleen al menos 75 canales de salto, y para todos los sistemas de salto de frecuencia en la banda 5 725 a 5 850 MHz: 1 Vatio. Para los demás sistemas de salto de frecuencia en la banda 2 400 a 2 483,5 MHz: 0.125 Vatios;

B.2. Para sistemas de saltos de frecuencia que funcionan en la banda de 902 a 928 MHz:

Para los sistemas que emplean por lo menos 50 canales de saltos de frecuencia: 1 vatio.

Para los sistemas que emplean menos de 50 canales de saltos de frecuencia, pero por lo menos 25 canales, según lo permitido bajo el numeral A2 de este artículo: 0.25 vatios.

B.3. Para sistemas que utilicen modulación digital en las bandas de 902 a 928 MHz, de 2 400 a 2 483,5 MHz, y de 5 725 a 5 850 MHz: 1 Vatio.

B.4. Si se emplean antenas de transmisión de ganancia direccional mayor a 6 dBi, la potencia pico de salida de un transmisor debe ser reducida por debajo de los valores establecidos en los numerales B1, B2 y B3 de este artículo, como sea apropiado, por la cantidad en dB que la ganancia direccional de la antena exceda los 6 dBi.

B.4.1. Los sistemas que operen en la banda de 2 400 a 2 483,5 MHz que sean utilizados exclusivamente para operaciones fijas punto a punto, pueden emplear antenas de transmisión con ganancia direccional mayor a 6 dBi siempre y cuando la máxima potencia pico de salida del transmisor sea reducida en un 1 dB por cada 3 dB que la ganancia direccional de la antena exceda los 6 dBi.

B.4.2. Los sistemas que operen en la banda de 5 725 a 5 850 MHz que sean utilizados exclusivamente para operaciones fijas punto a punto, pueden emplear antenas de transmisión con ganancia direccional mayor a 6 dBi sin la correspondiente reducción en la potencia pico de salida del transmisor.

B.4.3. La operación fija punto a punto, como se utiliza en los numerales B.4.1 y B.4.2 de este artículo, excluye el uso de sistemas punto a multipunto, aplicaciones omnidireccionales, y emisores colocalizados transmitiendo la misma información.

B.5. Los sistemas deben ser operados de tal forma que se asegure que el público no sea expuesto a niveles de energía de radiofrecuencia que exceda las normas que expida el Ministerio de Comunicaciones o el organismo estatal pertinente.

C.1. En cualquier ancho de banda de 100 kHz fuera de la banda de frecuencias en la cual está operando el transmisor de espectro ensanchado o de modulación digital, la potencia de radiofrecuencia que es producida por el transmisor deberá ser al menos 20 dB menor que en los 100 KHz de ancho de banda dentro de la banda que contiene el más alto nivel de la potencia deseada, basado en una medición de RF bien sea conducida o radiada.

D.1. Para sistemas modulados digitalmente, la densidad espectral de potencia conducida desde el transmisor a la antena no debe ser mayor a 8 dBm en cualquier segmento de 3 kHz durante cualquier intervalo de tiempo de transmisión continua.

E.1. En la presente resolución no se aplicará el parámetro denominado Ganancia del Proceso.

F.1. Para los propósitos de esta norma, sistemas híbridos son aquellos que emplean una combinación de técnicas de salto de frecuencia y de modulación digital. La operación de salto de frecuencia del sistema híbrido, con la operación en secuencia directa o modulación digital interrumpida, deberá tener un tiempo promedio de ocupación de cualquier frecuencia que no exceda 0.4 segundos dentro de un período de tiempo en segundos igual al número de frecuencias de salto empleadas multiplicado por 0.4. La operación en modulación digital del sistema híbrido, con la operación en salto de frecuencia interrumpida, cumplirá con los requerimientos de densidad de potencia del numeral D1 de este artículo.

G.1. Los sistemas del espectro ensanchado por saltos de frecuencia no requieren emplear todos los canales disponibles durante cada transmisión. Sin embargo, el sistema debe diseñarse conforme las normas de la presente resolución si el transmisor se presenta como una corriente continua de datos o información. Además, un sistema que emplee cortas ráfagas de transmisión debe cumplir con la definición de un sistema de saltos de frecuencia y debe distribuir sus transmisiones sobre el número mínimo de canales de salto especificado en esta resolución.

H.1 Es permitida la incorporación de inteligencia dentro de un sistema de espectro ensanchado por saltos de frecuencia que posibilite al sistema reconocer a otros usuarios dentro de la banda del espectro de modo que elija y adapte individual e independientemente sus puntos de salto para evitar caer en los canales ocupados. La coordinación de sistemas de salto de frecuencia de

cualquier otra forma, con el propósito expreso de evitar que múltiples transmisores ocupen simultáneamente frecuencias individuales de salto, no es permitida.

Artículo 7º. Condiciones Operativas en las bandas de 5 150 a 5 250 MHz; 5 250 a 5 350 MHz, 5 470 a 5 725 MHz y DE 5 725 a 5 825 MHz, para Sistemas U-NII. Son condiciones operativas de los sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que utilicen técnicas de modulación digital, para el correcto funcionamiento de los llamados sistemas para el desarrollo de la infraestructura de la información U-NII, en las bandas de 5 150 a 5 250 MHz, de 5 250 a 5 350 MHz, 5 470 a 5 725 MHz y de 5 725 a 5 825 MHz, las siguientes:

A. Límites de potencia

A.1 Para la banda de 5 150 a 5 250 MHz, la potencia de transmisión pico sobre la banda de frecuencia de operación no debe exceder el menor valor entre 50 mW ó $4 \text{ dBm} + 10 \log B$, donde B es el ancho de banda de emisión en MHz a 26 dB. Además, la densidad espectral de potencia pico no debe exceder 4 dBm en cualquier banda de 1 MHz. Si son utilizadas antenas de transmisión de ganancia direccional mayor a 6 dBi, la potencia de transmisión pico y la densidad espectral de potencia pico deberán ser reducidas en la cantidad de dB que la ganancia direccional de la antena exceda los 6 dBi.

A.2 Para las bandas de 5 250 a 5 350 MHz y de 5 470 a 5 725 MHz, la potencia de transmisión pico sobre la banda de frecuencia de operación no debe exceder el menor valor entre 250 mW ó $11 \text{ dBm} + 10 \log B$, donde B es el ancho de banda de emisión en MHz a 26 dB. Además, la densidad espectral de potencia pico no debe exceder 11 dBm en cualquier banda de 1 MHz. Si son utilizadas antenas de transmisión de ganancia direccional mayor a 6 dBi, la potencia de transmisión pico y la densidad espectral de potencia pico deberán ser reducidas en la cantidad de dB que la ganancia direccional de la antena exceda los 6 dBi.

A.3 Para la banda de 5 725 a 5 825 MHz, la potencia de transmisión pico sobre la banda de frecuencia de operación no debe exceder el menor valor entre 1 W ó $17 \text{ dBm} + 10 \log B$, donde B es el ancho de banda de emisión en MHz a 26 dB. Además, la densidad espectral de potencia pico no debe exceder 17 dBm en cualquier banda de 1 MHz. Si son utilizadas antenas de transmisión de ganancia direccional mayor a 6 dBi, la potencia de transmisión pico y la densidad espectral de potencia pico deberán ser reducidas en la cantidad de dB que la ganancia direccional de la antena exceda los 6 dBi. Sin embargo, los dispositivos U-NII en operación fija punto-a-punto en esta banda pueden emplear antenas de transmisión con ganancia direccional hasta de 23 dBi sin la

correspondiente reducción de la potencia de salida pico del transmisor, ni en la densidad espectral de potencia pico.

Para transmisores U-NII fijos punto-a-punto que empleen una ganancia direccional de la antena mayor a 23 dBi, será requerida una reducción de 1 dB en la potencia pico del transmisor y en la densidad espectral de potencia pico por cada dB que la ganancia de la antena exceda los 23 dBi. La operación fija punto-a-punto excluye el uso de sistemas punto-a-multipunto, aplicaciones omnidireccionales, y transmisores múltiples colocalizados transmitiendo la misma información. El operador de un dispositivo U-NII, es responsable de asegurar que los sistemas que emplean antenas con alta ganancia direccional sean utilizados exclusivamente para operaciones fijas punto-a-punto.

A.4 La potencia de transmisión pico debe ser medida sobre cualquier intervalo de transmisión continua utilizando instrumentación calibrada en términos de un voltaje rms equivalente.

B. Límites de emisiones indeseadas. Las emisiones pico fuera de las bandas de frecuencia de operación deberán ser atenuadas de acuerdo con los siguientes límites:

B.1 Para transmisores que operen en la banda de 5 150 a 5 250 MHz: todas las emisiones fuera de la banda de 5 150 a 5 350 MHz no deberán exceder una PIRE de -27 dBm/MHz.

B.2 Para transmisores que operen en la banda de 5 250 a 5 350 MHz: todas las emisiones fuera de la banda de 5 150 a 5 350 MHz no deberán exceder una PIRE de -27 dBm/MHz. Dispositivos que operen en la banda de 5 250 a 5 350 MHz que generen emisiones en la banda de 5 150 a 5 250 MHz deben cumplir todos los requerimientos técnicos aplicables para la operación en la banda de 5 150 a 5 250 MHz (incluyendo el uso en interiores o recintos cerrados) o como alternativa, cumplir con una PIRE límite de emisión fuera de banda de -27 dBm/MHz en la banda de 5 150 a 5 250 MHz.

B.3.1 Para transmisores que operen en la banda de 5 470 a 5 725 MHz: todas las emisiones fuera de la banda de 5 470 a 5 725 MHz no deberán exceder una PIRE de -27 dBm/MHz.

B.3.2 Para transmisores que operen en la banda de 5 725 a 5 825 MHz: todas las emisiones dentro del rango de frecuencia comprendido desde el borde de la banda hasta 10 MHz por encima o por debajo del borde de la banda, no deberán exceder una PIRE de -17 dBm/MHz; para frecuencias 10

MHz o más, por encima o por debajo del límite de la banda, las emisiones no deberán exceder una PIRE de -27 dBm/MHz.

B.4 Las mediciones de emisión deberán ser efectuadas utilizando una resolución mínima de ancho de banda de 1 MHz. Una resolución de ancho de banda más baja puede ser empleada cerca del borde de la banda, cuando sea necesario, siempre y cuando la energía medida sea integrada para mostrar la potencia total sobre 1 MHz.

B.5 Emisiones indeseadas por debajo de 1 GHz deben presentar límites generales de intensidad de campo menores a 500 micro-voltios/metro a 3 metros de distancia.

B.6 Cuando se midan los límites de emisión, la frecuencia portadora nominal deberá ser ajustada tan cerca de los bordes de los bloques de frecuencia superior e inferior como el diseño del equipo permita.

C.1 El dispositivo deberá interrumpir automáticamente la transmisión en caso de ausencia de información a transmitir o en caso de falla operacional. Estas disposiciones no tienen la intención de impedir la transmisión de la información de control o señalización o el uso de códigos repetitivos utilizados por ciertas tecnologías digitales para completar los intervalos entre tramas o ráfagas.

D.1 Cualquier dispositivo U-NII que opere en la banda de 5 150 a 5 250 MHz deberá utilizar una antena de transmisión que sea parte integral del dispositivo.

E.1 Dentro de la banda de 5 150 a 5 250 MHz, los dispositivos U-NII estarán restringidos a operaciones en interiores o recintos cerrados para reducir cualquier potencial de producir interferencias perjudiciales a las operaciones del servicio móvil por satélite MSS co-canal.

F.1 Todos los dispositivos U-NII deberán ser considerados para operar en un ambiente público e incontrolado. Los dispositivos deben ser operados de tal forma que se asegure que el público no sea expuesto a niveles de energía de radio frecuencia que exceda las normas que expida el Ministerio de Comunicaciones o el organismo estatal pertinente

G.1 Los operadores y fabricantes de dispositivos U-NII son responsables de asegurar una estabilidad de frecuencia tal que una emisión sea mantenida dentro de la banda de operación bajo todas las condiciones de operación.

H. Control de Transmisión de Potencia (TPC) y Selección Dinámica de Frecuencia (DFS)

H.1 Control de Transmisión de Potencia TPC. Los dispositivos U-NII que operen en la banda de 5 250 a 5 350 MHz y de 5 470 a 5 725 MHz deberán emplear un mecanismo de TPC. Los dispositivos U-NNI deberán tener capacidad para operar al menos 6 DB por debajo del valor medio PIRE de 30 dBm. no se requiere mecanismo de TPC para sistemas con una PIRE menor a 500 mW.

H.2 Función de detección de radar de DFS. Los dispositivos U-NII que operen en la banda de 5 250 a 5 350 MHz y de 5 470 a 5 725 MHz deberán emplear un mecanismo de detección de radar de dfs para detectar la presencia de sistemas de radar y evitar la operación co-canal con estos sistemas. El umbral de detección del DFS para dispositivos con una PIRE entre 200 mW a 1 W es de -64 dBm. El umbral de detección es la potencia promedio recibida en 1 microsegundo a una antena de referencia de 0 dBi.

H.2.1 Modos de operación. El requisito de Selección dinámica de frecuencia DFS aplica a los siguientes modos de operación:

A. El requisito de comprobación del tiempo de disponibilidad del canal aplica en el modo maestro de operación;

B. El requisito del tiempo de cambio del canal aplica en ambos modos, en los modos de operación maestro y esclavo.

H.2.2 Comprobación del tiempo de disponibilidad del canal. El dispositivo U-NNI deberá comprobar si existe un sistema de radar operando alrededor del canal, antes de poder iniciar una transmisión en ese canal y, cuando este ha de ser trasladado a un nuevo canal. El dispositivo U-NII puede comenzar a usar el canal si no se detecta ninguna señal de radar con un nivel de la potencia mayor que los valores de umbral de interferencia, enunciados, en el plazo de 60 segundos.

H.2.3 Tiempo de cambio del canal. Después de ser detectada la presencia de un radar, todas las transmisiones cesarán en la operación de canal dentro de los 10 segundos. Las transmisiones durante este período consistirán de un tráfico normal, de máximo 200 milisegundos después de ser detectada la señal del radar.

Adicionalmente una señal de gestión y control intermitente puede ser enviada durante el tiempo remanente para facilitar la liberación del canal.

H.2.4 Período de no-ocupación. Un canal que ha sido advertido de la presencia de un sistema de radar, bien sea por verificación de disponibilidad del canal ó bajo un servicio de monitoreo, está sujeto a un período de no-ocupación de por lo menos 30 minutos. El período de no-ocupación empieza en el momento en que el sistema de radar sea detectado.

Artículo 8°. Banda de 2 300 A 2 400 MHz. Se permite, a título secundario, el uso de la banda de 2 300 a 2 400 MHz para aplicaciones de sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia, previo registro ante el Ministerio de Comunicaciones, bajo las condiciones operativas generales y particulares de los sistemas de acceso inalámbrico en la banda de 2 400 a 2 483,5 MHz, establecidas por la presente resolución.

Parágrafo. A los sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia, en la banda de 2 300 a 2 400 MHz, les será aplicable el artículo 39.2 del decreto 1972 de 2003, por el cual se establece el régimen unificado de contraprestaciones, por concepto de concesiones, autorizaciones, permisos y registros en materia de telecomunicaciones y los trámites para su liquidación, cobro, recaudo y pago.

Artículo 9°. Antenas omnidireccionales. La utilización de antenas omnidireccionales solo será permitida en sistemas inalámbricos cuya potencia radiada sea menor o igual a 100 mW. Los sistemas que excedan esta potencia deberán emplear antenas direccionales con un ancho de lóbulo no mayor a 90 grados.

Artículo 10. Interferencias. La utilización de sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia, está condicionada al cumplimiento de las siguientes condiciones:

1. No deben causar interferencia perjudicial a las estaciones de un servicio primario a las que se les hayan asignado frecuencias con anterioridad o se les puedan asignar en el futuro.

2. No pueden reclamar protección contra interferencias perjudiciales causadas por estaciones de un servicio primario a las que se les hayan asignado frecuencias con anterioridad o se les puedan asignar en el futuro.

Si un dispositivo ocasiona interferencia perjudicial a una radiocomunicación autorizada a título primario, aunque el aparato cumpla con las normas técnicas establecidas en los reglamentos de radiocomunicación o los requisitos de autorización de equipo, se deberá suspender la operación del dispositivo. La utilización no podrá reanudarse hasta que se haya subsanado el conflicto interferente, de comprobarse la continua interferencia perjudicial a una radiocomunicación autorizada, el Ministerio de Comunicaciones podrá ordenar la suspensión definitiva de las operaciones, sin perjuicio de las sanciones previstas en las normas legales.

Artículo 11. Referencia a normas técnicas. Para la correcta operación de los sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia, sólo se aceptarán equipos de conformidad con las normas técnicas de la Federal Communications Commission FCC, CFR 47 Part 15 Subpart C § 15.247 y CFR 47 Part 15 Subpart E, la presente norma, y otros estándares internacionales que se ajusten a estas especificaciones.

TITULO III DISPOSICIONES FINALES

Artículo 12. Transición. A partir de la entrada en vigencia de la presente resolución, quedan sin efectos los títulos habilitantes expedidos para el uso del espectro radioeléctrico mediante la utilización de equipos de espectro ensanchado o sistemas U-NII, en las bandas de frecuencias atribuidas en el artículo 5º de esta norma.

Quienes cuenten con título habilitante para el uso del espectro radioeléctrico mediante la utilización de equipos de espectro ensanchado en la banda de 2 025 MHz a 2 400 MHz, obtenido de acuerdo con las disposiciones de la Resolución 5927 de 1996, deberán hacer uso de la banda de 2 300 MHz a 2 400 MHz, a la que se refiere el artículo 8º de esta norma. Los respectivos títulos habilitantes quedan modificados por lo aquí dispuesto.

Los trámites en curso para registrar sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia, en las bandas de frecuencias atribuidas en el artículo 5º de esta norma, se entenderán concluidos a la fecha de ejecutoria de la presente resolución.

Artículo 13. Infracciones y sanciones. El incumplimiento de las normas previstas en la presente resolución constituye una infracción al ordenamiento de las telecomunicaciones, y generará las sanciones previstas en las normas legales.

Artículo 14. Vigencia. Esta resolución rige a partir de su publicación y deroga en su totalidad las Resoluciones 3382 de 1995; 5927 de 1996; 1833 de 1998; la Tabla número 3.6 del artículo 3º de la Resolución 0797 de 2001, y las normas que le sean contrarias.

Publíquese y cúmplase.

Dada en Bogotá, D.C., a 21 de abril de 2004.

La Ministra de Comunicaciones,
Martha Elena Pinto de De Hart.

ANEXO C. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Resultados para la frecuencia f: 900 MHz

| Material | Espesor [m] | ϵ_r | μ_r | Conductividad [S/m] | Pérdidas de reflexión [dB] | Pérdidas de transmisión [dB] | Pérdidas de difracción | | |
|-----------------|----------------|--------------|---------|------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|
| | | | | | | | Mín. incidente [dB] | Máx. Incidente [dB] | Difractado [dB] |
| Aceite | 0.002 | 2.70 | 1 | 0.001 | 12.28 | 0.53 | 10 | 34 | 13 |
| Aceite | 0.005 | 2.70 | 1 | 0.001 | 12.28 | 0.53 | 10 | 34 | 13 |
| Arcilla | 0.100 | 2.45 | 1 | 0.007 | 13.13 | 1.16 | 9 | 33 | 15 |
| Arcilla | 0.200 | 2.45 | 1 | 0.007 | 13.13 | 1.90 | 9 | 33 | 15 |
| Arena | 0.100 | 2.58 | 1 | 0.002 | 12.67 | 0.69 | 10 | 34 | 13 |
| Arena | 0.200 | 2.58 | 1 | 0.002 | 12.67 | 0.89 | 10 | 34 | 13 |
| Cemento | 0.100 | 3.35 | 1 | 0.001 | 10.65 | 0.83 | 10 | 34 | 13 |
| Cemento | 0.200 | 3.35 | 1 | 0.001 | 10.65 | 0.87 | 10 | 34 | 13 |
| Cemento | 0.300 | 3.35 | 1 | 0.001 | 10.65 | 0.92 | 10 | 34 | 13 |
| Cemento celular | 0.100 | 2.30 | 1 | 0.008 | 13.74 | 1.18 | 9 | 33 | 14 |
| Cemento celular | 0.200 | 2.30 | 1 | 0.008 | 13.74 | 1.99 | 9 | 33 | 14 |
| Cemento celular | 0.300 | 2.30 | 1 | 0.008 | 13.74 | 2.80 | 9 | 33 | 14 |
| Concreto | 0.100 | 6.00 | 1 | 0.035 | 7.51 | 4.03 | 12 | 35 | 12 |
| Concreto | 0.200 | 6.00 | 1 | 0.035 | 7.51 | 6.37 | 12 | 35 | 12 |
| Concreto | 0.300 | 6.00 | 1 | 0.035 | 7.51 | 8.70 | 12 | 35 | 12 |
| Ladrillo | 0.100 | 4.00 | 1 | 0.005 | 9.54 | 1.43 | 12 | 36 | 13 |
| Ladrillo | 0.200 | 4.00 | 1 | 0.005 | 9.54 | 1.84 | 12 | 36 | 13 |
| Ladrillo | 0.300 | 4.00 | 1 | 0.005 | 9.54 | 2.25 | 12 | 36 | 13 |
| Metal | 0.001 | 1.00 | 20 | 5000 | 0.05 | 74.63 | 12 | 36 | 13 |
| Metal | 0.005 | 1.00 | 20 | 5000 | 0.05 | 221.13 | 12 | 36 | 13 |
| Papel | 0.020 | 2.95 | 1 | 0.006 | 11.56 | 0.73 | 10 | 34 | 13 |
| Papel | 0.050 | 2.95 | 1 | 0.006 | 11.56 | 0.89 | 10 | 34 | 13 |
| Papel laminado | 0.020 | 3.89 | 1 | 0.005 | 9.70 | 1.07 | 12 | 36 | 13 |
| Papel laminado | 0.050 | 3.89 | 1 | 0.005 | 9.70 | 1.19 | 12 | 36 | 13 |
| Tablero de yeso | 0.010 | 2.50 | 1 | 0.015 | 12.90 | 0.61 | 10 | 34 | 13 |
| Tablero de yeso | 0.020 | 2.50 | 1 | 0.015 | 12.90 | 0.76 | 10 | 34 | 13 |
| Tablero de yeso | 0.030 | 2.50 | 1 | 0.015 | 12.90 | 0.92 | 10 | 34 | 13 |
| Tablero de yeso | 0.050 | 2.50 | 1 | 0.015 | 12.90 | 1.23 | 10 | 34 | 13 |
| Vidrio | 0.002 | 6.00 | 1 | 0.003 | 7.53 | 1.69 | 12 | 35 | 12 |
| Vidrio | 0.005 | 6.00 | 1 | 0.003 | 7.53 | 1.70 | 12 | 35 | 12 |
| Yeso | 0.050 | 4.00 | 1 | 0.020 | 9.52 | 1.84 | 12 | 36 | 13 |
| Yeso | 0.100 | 4.00 | 1 | 0.020 | 9.52 | 2.66 | 12 | 36 | 13 |
| Yeso | 0.200 | 4.00 | 1 | 0.020 | 9.52 | 4.30 | 12 | 36 | 13 |
| Madera | | | | | | | | | |
| Abedul | 0.050 | 1.35 | 1 | 0.005 | 22.51 | 0.12 | 7 | 32 | 17 |

| Material | Espesor [m] | ϵ_r | μ_r | Conductividad [S/m] | Pérdidas de reflexión [dB] | Pérdidas de transmisión [dB] | Pérdidas de difracción | | |
|--------------------|----------------|--------------|---------|------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|
| | | | | | | | Mín. incidente [dB] | Máx. Incidente [dB] | Difractado [dB] |
| Abedul | 0.100 | 1.35 | 1 | 0.005 | 22.51 | 0.19 | 7 | 32 | 17 |
| Abedul | 0.150 | 1.35 | 1 | 0.005 | 22.51 | 0.26 | 7 | 32 | 17 |
| Abeto | 0.050 | 1.92 | 1 | 0.003 | 15.82 | 0.38 | 9 | 33 | 15 |
| Abeto | 0.100 | 1.92 | 1 | 0.003 | 15.82 | 0.53 | 9 | 33 | 15 |
| Abeto | 0.150 | 1.92 | 1 | 0.003 | 15.82 | 0.67 | 9 | 33 | 15 |
| Tabla comprimida | 0.050 | 3.00 | 1 | 0.010 | 11.43 | 1.12 | 10 | 34 | 13 |
| Tabla comprimida | 0.100 | 3.00 | 1 | 0.010 | 11.43 | 1.59 | 10 | 34 | 13 |
| Tabla comprimida | 0.150 | 3.00 | 1 | 0.010 | 11.43 | 2.07 | 10 | 34 | 13 |
| Madera | 0.050 | 2.50 | 1 | 0.002 | 12.95 | 0.53 | 10 | 34 | 13 |
| Madera | 0.100 | 2.50 | 1 | 0.002 | 12.95 | 0.61 | 10 | 34 | 13 |
| Madera | 0.150 | 2.50 | 1 | 0.002 | 12.95 | 0.68 | 10 | 34 | 13 |
| Plástico | | | | | | | | | |
| Baquelita | 0.020 | 4.25 | 1 | 0.007 | 9.20 | 1.22 | 12 | 36 | 13 |
| Baquelita | 0.050 | 4.25 | 1 | 0.007 | 9.20 | 1.37 | 12 | 36 | 13 |
| Caucho | 0.020 | 2.69 | 1 | 0.005 | 12.30 | 0.62 | 10 | 34 | 13 |
| Caucho | 0.050 | 2.69 | 1 | 0.005 | 12.30 | 0.75 | 10 | 34 | 13 |
| Caucho de silicona | 0.020 | 8.67 | 1 | 0.013 | 6.14 | 2.56 | 16 | 30 | 10 |
| Caucho de silicona | 0.050 | 8.67 | 1 | 0.013 | 6.14 | 2.78 | 16 | 30 | 10 |
| Fibra de vidrio | 0.020 | 5.20 | 1 | 0.012 | 8.17 | 1.60 | 12 | 36 | 13 |
| Fibra de vidrio | 0.050 | 5.20 | 1 | 0.012 | 8.17 | 1.85 | 12 | 36 | 13 |
| Plexiglás | 0.020 | 2.73 | 1 | 0.002 | 12.18 | 0.58 | 10 | 34 | 13 |
| Plexiglás | 0.050 | 2.73 | 1 | 0.002 | 12.18 | 0.64 | 10 | 34 | 13 |
| Poliéster | 0.020 | 2.55 | 1 | 0.075 | 11.70 | 1.96 | 10 | 34 | 13 |
| Poliéster | 0.050 | 2.55 | 1 | 0.075 | 11.70 | 4.17 | 10 | 34 | 13 |
| Poliestireno | 0.020 | 2.55 | 1 | 0.075 | 11.76 | 1.96 | 10 | 34 | 13 |
| Poliestireno | 0.050 | 2.55 | 1 | 0.075 | 11.76 | 4.17 | 10 | 34 | 13 |
| Teflón | 0.020 | 2.10 | 1 | 0.001 | 14.73 | 0.30 | 9 | 33 | 15 |
| Teflón | 0.050 | 2.10 | 1 | 0.001 | 14.73 | 0.30 | 9 | 33 | 15 |

Resultados para la frecuencia f: 1800 MHz

| Material | Espesor [m] | ϵ_r | μ_r | Conductividad [S/m] | Pérdidas de reflexión [dB] | Pérdidas de transmisión [dB] | Pérdidas de difracción | | |
|----------|----------------|--------------|---------|------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|
| | | | | | | | Mín. incidente [dB] | Máx. Incidente [dB] | Difractado [dB] |
| Aceite | 0.002 | 2.70 | 1 | 0.001 | 12.28 | 0.53 | 10 | 34 | 20 |
| Aceite | 0.005 | 2.70 | 1 | 0.001 | 12.28 | 0.53 | 10 | 34 | 20 |
| Arcilla | 0.100 | 2.45 | 1 | 0.014 | 13.13 | 1.90 | 9 | 33 | 22 |
| Arcilla | 0.200 | 2.45 | 1 | 0.014 | 13.13 | 1.90 | 9 | 33 | 22 |
| Arena | 0.100 | 2.58 | 1 | 0.004 | 12.67 | 0.89 | 10 | 34 | 20 |
| Arena | 0.200 | 2.58 | 1 | 0.004 | 12.67 | 1.30 | 10 | 34 | 20 |
| Cemento | 0.100 | 3.35 | 1 | 0.001 | 10.65 | 0.87 | 10 | 34 | 20 |

| Material | Espesor [m] | ϵ_r | μ_r | Conductividad [S/m] | Pérdidas de reflexión [dB] | Pérdidas de transmisión [dB] | Pérdidas de difracción | | |
|------------------|----------------|--------------|---------|------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|
| | | | | | | | Mín. incidente [dB] | Máx. Incidente [dB] | Difractado [dB] |
| Cemento | 0.200 | 3.35 | 1 | 0.001 | 10.65 | 0.96 | 10 | 34 | 20 |
| Cemento | 0.300 | 3.35 | 1 | 0.001 | 10.65 | 1.05 | 10 | 34 | 20 |
| Cemento celular | 0.100 | 2.30 | 1 | 0.015 | 13.74 | 1.99 | 9 | 33 | 21 |
| Cemento celular | 0.200 | 2.30 | 1 | 0.015 | 13.74 | 3.61 | 9 | 33 | 21 |
| Cemento celular | 0.300 | 2.30 | 1 | 0.015 | 13.74 | 5.23 | 9 | 33 | 21 |
| Concreto | 0.100 | 6.00 | 1 | 0.070 | 7.51 | 6.37 | 12 | 35 | 19 |
| Concreto | 0.200 | 6.00 | 1 | 0.070 | 7.51 | 11.04 | 12 | 35 | 19 |
| Concreto | 0.300 | 6.00 | 1 | 0.070 | 7.51 | 15.71 | 12 | 35 | 19 |
| Ladrillo | 0.100 | 4.00 | 1 | 0.040 | 9.52 | 4.30 | 12 | 36 | 20 |
| Ladrillo | 0.200 | 4.00 | 1 | 0.040 | 9.52 | 7.57 | 12 | 36 | 20 |
| Ladrillo | 0.300 | 4.00 | 1 | 0.040 | 9.52 | 10.84 | 12 | 36 | 20 |
| Metal | 0.001 | 1.00 | 20 | 10000 | 0.05 | 111.25 | 12 | 36 | 20 |
| Metal | 0.005 | 1.00 | 20 | 10000 | 0.05 | 404.27 | 12 | 36 | 20 |
| Papel | 0.020 | 2.95 | 1 | 0.011 | 11.56 | 0.84 | 10 | 34 | 20 |
| Papel | 0.050 | 2.95 | 1 | 0.011 | 11.56 | 1.15 | 10 | 34 | 20 |
| Papel laminado | 0.020 | 3.89 | 1 | 0.010 | 9.70 | 1.15 | 12 | 36 | 20 |
| Papel laminado | 0.050 | 3.89 | 1 | 0.010 | 9.70 | 1.40 | 12 | 36 | 20 |
| Tablero de yeso | 0.010 | 2.50 | 1 | 0.030 | 12.90 | 0.76 | 10 | 34 | 20 |
| Tablero de yeso | 0.020 | 2.50 | 1 | 0.030 | 12.90 | 1.07 | 10 | 34 | 20 |
| Tablero de yeso | 0.030 | 2.50 | 1 | 0.030 | 12.90 | 1.38 | 10 | 34 | 20 |
| Tablero de yeso | 0.050 | 2.50 | 1 | 0.030 | 12.90 | 2.00 | 10 | 34 | 20 |
| Vidrio | 0.002 | 6.00 | 1 | 0.005 | 7.53 | 1.69 | 12 | 35 | 19 |
| Vidrio | 0.005 | 6.00 | 1 | 0.005 | 7.53 | 1.70 | 12 | 35 | 19 |
| Yeso | 0.050 | 4.00 | 1 | 0.040 | 9.52 | 2.66 | 12 | 36 | 20 |
| Yeso | 0.100 | 4.00 | 1 | 0.040 | 9.52 | 4.30 | 12 | 36 | 20 |
| Yeso | 0.200 | 4.00 | 1 | 0.040 | 9.52 | 7.57 | 12 | 36 | 20 |
| Madera | | | | | | | | | |
| Abedul | 0.050 | 1.35 | 1 | 0.002 | 22.51 | 0.16 | 7 | 32 | 24 |
| Abedul | 0.100 | 1.35 | 1 | 0.002 | 22.51 | 0.33 | 7 | 32 | 24 |
| Abedul | 0.150 | 1.35 | 1 | 0.002 | 22.51 | 0.47 | 7 | 32 | 24 |
| Abeto | 0.050 | 1.92 | 1 | 0.005 | 15.82 | 0.53 | 9 | 33 | 22 |
| Abeto | 0.100 | 1.92 | 1 | 0.005 | 15.82 | 0.82 | 9 | 33 | 22 |
| Abeto | 0.150 | 1.92 | 1 | 0.005 | 15.82 | 1.12 | 9 | 33 | 22 |
| Tabla comprimida | 0.050 | 3.00 | 1 | 0.020 | 11.43 | 1.59 | 10 | 34 | 20 |
| Tabla comprimida | 0.100 | 3.00 | 1 | 0.020 | 11.43 | 2.54 | 10 | 34 | 20 |
| Tabla comprimida | 0.150 | 3.00 | 1 | 0.020 | 11.43 | 3.48 | 10 | 34 | 20 |
| Madera | 0.050 | 2.50 | 1 | 0.035 | 15.09 | 2.26 | 9 | 33 | 22 |
| Madera | 0.100 | 2.50 | 1 | 0.035 | 15.09 | 4.26 | 9 | 33 | 22 |
| Madera | 0.150 | 2.50 | 1 | 0.035 | 15.09 | 6.25 | 9 | 33 | 22 |
| Plástico | | | | | | | | | |
| Baquelita | 0.020 | 4.25 | 1 | 0.013 | 9.20 | 1.32 | 12 | 36 | 20 |

| Material | Espesor [m] | ϵ_r | μ_r | Conductividad [S/m] | Pérdidas de reflexión [dB] | Pérdidas de transmisión [dB] | Pérdidas de difracción | | |
|--------------------|----------------|--------------|---------|------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|
| | | | | | | | Mín. incidente [dB] | Máx. Incidente [dB] | Difractado [dB] |
| Baquelita | 0.050 | 4.25 | 1 | 0.013 | 9.20 | 1.63 | 12 | 36 | 20 |
| Caucho | 0.020 | 2.69 | 1 | 0.009 | 12.30 | 0.71 | 10 | 34 | 20 |
| Caucho | 0.050 | 2.69 | 1 | 0.009 | 12.30 | 0.98 | 10 | 34 | 20 |
| Caucho de silicona | 0.020 | 8.67 | 1 | 0.026 | 6.14 | 2.71 | 16 | 30 | 16 |
| Caucho de silicona | 0.050 | 8.67 | 1 | 0.026 | 6.14 | 3.14 | 16 | 30 | 16 |
| Fibra de vidrio | 0.020 | 5.20 | 1 | 0.023 | 8.17 | 1.77 | 12 | 36 | 20 |
| Fibra de vidrio | 0.050 | 5.20 | 1 | 0.023 | 8.17 | 2.26 | 12 | 36 | 20 |
| Plexiglás | 0.020 | 2.73 | 1 | 0.004 | 12.18 | 0.62 | 10 | 34 | 20 |
| Plexiglás | 0.050 | 2.73 | 1 | 0.004 | 12.18 | 0.74 | 10 | 34 | 20 |
| Poliéster | 0.020 | 5.52 | 1 | 0.016 | 7.89 | 1.79 | 12 | 35 | 19 |
| Poliéster | 0.050 | 5.52 | 1 | 0.016 | 7.89 | 2.10 | 12 | 35 | 19 |
| Poliestireno | 0.020 | 2.55 | 1 | 0.149 | 11.76 | 3.43 | 10 | 34 | 20 |
| Poliestireno | 0.050 | 2.55 | 1 | 0.149 | 11.76 | 7.84 | 10 | 34 | 20 |
| Teflón | 0.020 | 2.10 | 1 | 0.001 | 14.73 | 0.30 | 9 | 33 | 22 |
| Teflón | 0.050 | 2.10 | 1 | 0.001 | 14.73 | 0.30 | 9 | 33 | 22 |

Resultados para la frecuencia f: 2000 MHz

| Material | Espesor [m] | ϵ_r | μ_r | Conductividad [S/m] | Pérdidas de reflexión [dB] | Pérdidas de transmisión [dB] | Pérdidas de difracción | | |
|-----------------|----------------|--------------|---------|------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|
| | | | | | | | Mín. incidente [dB] | Max. Incidente [dB] | Difractado [dB] |
| Aceite | 0.002 | 2.70 | 1 | 0.001 | 12.28 | 0.53 | 10 | 34 | 22 |
| Aceite | 0.005 | 2.70 | 1 | 0.001 | 12.28 | 0.53 | 10 | 34 | 22 |
| Arcilla | 0.100 | 2.45 | 1 | 0.016 | 13.13 | 2.06 | 9 | 33 | 24 |
| Arcilla | 0.200 | 2.45 | 1 | 0.016 | 13.13 | 3.69 | 9 | 33 | 24 |
| Arena | 0.100 | 2.58 | 1 | 0.004 | 12.67 | 0.94 | 10 | 34 | 22 |
| Arena | 0.200 | 2.58 | 1 | 0.004 | 12.67 | 1.39 | 10 | 34 | 22 |
| Cemento | 0.100 | 3.35 | 1 | 0.001 | 10.65 | 0.88 | 10 | 34 | 22 |
| Cemento | 0.200 | 3.35 | 1 | 0.001 | 10.65 | 0.98 | 10 | 34 | 22 |
| Cemento | 0.300 | 3.35 | 1 | 0.001 | 10.65 | 1.08 | 10 | 34 | 22 |
| Cemento celular | 0.100 | 2.30 | 1 | 0.017 | 13.74 | 2.17 | 9 | 33 | 23 |
| Cemento celular | 0.200 | 2.30 | 1 | 0.017 | 13.74 | 3.97 | 9 | 33 | 23 |
| Cemento celular | 0.300 | 2.30 | 1 | 0.017 | 13.74 | 5.77 | 9 | 33 | 23 |
| Concreto | 0.100 | 6.00 | 1 | 0.078 | 7.51 | 6.89 | 12 | 35 | 21 |
| Concreto | 0.200 | 6.00 | 1 | 0.078 | 7.51 | 12.08 | 12 | 35 | 21 |
| Concreto | 0.300 | 6.00 | 1 | 0.078 | 7.51 | 17.27 | 12 | 35 | 21 |
| Ladrillo | 0.100 | 4.00 | 1 | 0.044 | 9.52 | 4.66 | 12 | 36 | 22 |
| Ladrillo | 0.200 | 4.00 | 1 | 0.044 | 9.52 | 8.30 | 12 | 36 | 22 |
| Ladrillo | 0.300 | 4.00 | 1 | 0.044 | 9.52 | 11.93 | 12 | 36 | 22 |
| Metal | 0.001 | 1.00 | 20 | 11111 | 0.05 | 119.39 | 12 | 36 | 22 |

| Material | Espesor [m] | ϵ_r | μ_r | Conductividad [S/m] | Pérdidas de reflexión [dB] | Pérdidas de transmisión [dB] | Pérdidas de difracción | | |
|--------------------|----------------|--------------|---------|------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|
| | | | | | | | Mín. incidente [dB] | Max. Incidente [dB] | Difractado [dB] |
| Metal | 0.005 | 1.00 | 20 | 11111 | 0.05 | 444.97 | 12 | 36 | 22 |
| Papel | 0.020 | 2.95 | 1 | 0.012 | 11.56 | 0.86 | 10 | 34 | 22 |
| Papel | 0.050 | 2.95 | 1 | 0.012 | 11.56 | 1.21 | 10 | 34 | 22 |
| Papel laminado | 0.020 | 3.89 | 1 | 0.011 | 9.70 | 1.17 | 12 | 36 | 22 |
| Papel laminado | 0.050 | 3.89 | 1 | 0.011 | 9.70 | 1.44 | 12 | 36 | 22 |
| Tablero de yeso | 0.010 | 2.50 | 1 | 0.033 | 12.90 | 0.89 | 10 | 34 | 22 |
| Tablero de yeso | 0.020 | 2.50 | 1 | 0.033 | 12.90 | 1.14 | 10 | 34 | 22 |
| Tablero de yeso | 0.030 | 2.50 | 1 | 0.033 | 12.90 | 1.49 | 10 | 34 | 22 |
| Tablero de yeso | 0.050 | 2.50 | 1 | 0.033 | 12.90 | 2.18 | 10 | 34 | 22 |
| Vidrio | 0.002 | 6.00 | 1 | 0.006 | 7.53 | 1.69 | 12 | 35 | 21 |
| Vidrio | 0.005 | 6.00 | 1 | 0.006 | 7.53 | 1.71 | 12 | 35 | 21 |
| Yeso | 0.050 | 4.00 | 1 | 0.044 | 9.52 | 2.84 | 12 | 36 | 22 |
| Yeso | 0.100 | 4.00 | 1 | 0.044 | 9.52 | 4.66 | 12 | 36 | 22 |
| Yeso | 0.200 | 4.00 | 1 | 0.044 | 9.52 | 8.13 | 12 | 36 | 22 |
| Madera | | | | | | | | | |
| Abedul | 0.050 | 1.35 | 1 | 0.002 | 22.51 | 0.21 | 7 | 32 | 26 |
| Abedul | 0.100 | 1.35 | 1 | 0.002 | 22.51 | 0.36 | 7 | 32 | 26 |
| Abedul | 0.150 | 1.35 | 1 | 0.002 | 22.51 | 0.52 | 7 | 32 | 26 |
| Abeto | 0.050 | 1.92 | 1 | 0.006 | 15.82 | 0.56 | 9 | 33 | 24 |
| Abeto | 0.100 | 1.92 | 1 | 0.006 | 15.82 | 0.89 | 9 | 33 | 24 |
| Abeto | 0.150 | 1.92 | 1 | 0.006 | 15.82 | 1.21 | 9 | 33 | 24 |
| Madera | 0.050 | 2.50 | 1 | 0.002 | 15.09 | 2.48 | 9 | 33 | 24 |
| Madera | 0.100 | 2.50 | 1 | 0.002 | 15.09 | 4.70 | 9 | 33 | 24 |
| Madera | 0.150 | 2.50 | 1 | 0.002 | 15.09 | 6.91 | 9 | 33 | 24 |
| Tabla comprimida | 0.050 | 3.00 | 1 | 0.022 | 11.43 | 1.40 | 10 | 34 | 22 |
| Tabla comprimida | 0.100 | 3.00 | 1 | 0.022 | 11.43 | 2.75 | 10 | 34 | 22 |
| Tabla comprimida | 0.150 | 3.00 | 1 | 0.022 | 11.43 | 3.80 | 10 | 34 | 22 |
| Plástico | | | | | | | | | |
| Baquelita | 0.020 | 4.25 | 1 | 0.014 | 9.20 | 1.34 | 12 | 36 | 22 |
| Baquelita | 0.050 | 4.25 | 1 | 0.014 | 9.20 | 1.69 | 12 | 36 | 22 |
| Caucho | 0.020 | 2.69 | 1 | 0.010 | 12.30 | 0.73 | 10 | 34 | 22 |
| Caucho | 0.050 | 2.69 | 1 | 0.010 | 12.30 | 1.03 | 10 | 34 | 22 |
| Caucho de silicona | 0.020 | 8.67 | 1 | 0.029 | 6.14 | 2.74 | 16 | 30 | 18 |
| Caucho de silicona | 0.050 | 8.67 | 1 | 0.029 | 6.14 | 3.22 | 16 | 30 | 18 |
| Fibra de vidrio | 0.020 | 5.20 | 1 | 0.026 | 8.17 | 1.80 | 12 | 36 | 21 |
| Fibra de vidrio | 0.050 | 5.20 | 1 | 0.026 | 8.17 | 2.35 | 12 | 36 | 21 |
| Plexiglás | 0.020 | 2.73 | 1 | 0.004 | 12.18 | 0.63 | 10 | 34 | 22 |
| Plexiglás | 0.050 | 2.73 | 1 | 0.004 | 12.18 | 0.76 | 10 | 34 | 22 |
| Poliéster | 0.020 | 2.55 | 1 | 0.018 | 7.89 | 1.79 | 12 | 35 | 21 |
| Poliéster | 0.050 | 2.55 | 1 | 0.018 | 7.89 | 2.16 | 12 | 35 | 21 |
| Poliestireno | 0.020 | 2.55 | 1 | 0.166 | 11.76 | 3.76 | 10 | 34 | 22 |

| Material | Espesor [m] | ϵ_r | μ_r | Conductividad [S/m] | Pérdidas de reflexión [dB] | Pérdidas de transmisión [dB] | Pérdidas de difracción | | |
|--------------|----------------|--------------|---------|------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|
| | | | | | | | Mín. incidente [dB] | Max. Incidente [dB] | Difractado [dB] |
| Poliestireno | 0.050 | 2.55 | 1 | 0.166 | 11.76 | 8.66 | 10 | 34 | 22 |
| Teflón | 0.020 | 2.10 | 1 | 0.001 | 14.73 | 0.30 | 9 | 33 | 24 |
| Teflón | 0.050 | 2.10 | 1 | 0.001 | 14.73 | 0.30 | 9 | 33 | 24 |

Los resultados anteriores fueron obtenidos de las siguientes fuentes:

B. De Backer, H. Börjeson, F. Olyslager, D. De Zutter: The study of wavepropagation through a windowed wall at 1.8 GHz. 1996 IEEE 46th Vehicular Technology Conference, vol. 1, pp. 165 – 169.

D.J. Cichon, T. Becker, W. Wiesbeck: A ray launching approach for indoor and outdoor applications. COST 231 TD (94) 32, Lissabon, Portugal, Jan. 18-21, 1994.

J.-C. Bic: Indoor propagation for Wireless communications. EPMCC '99 Belfort, 1999.

J. Lähteenmäki: Testing and verification of indoor propagation models. COST 231 TD (94) 111, Darmstadt, Sep. 6-8, 1994

Prof. Dr. Ing. Gerhard Megla: Dezimeterwellentechnik. Berliner Union Stuttgart, 1962.

S. Ramo, J.R. Whinnery: Felder und Wellen in der modernen Funktechnik. Verlag Technik Berlin, 1960.

O. Michler, M. Strey: DAB-Indoor-Versorgung im L-Band. Eine Studie im Auftrag der Sächsischen Landesanstalt für privaten Rundfunk und neue Medien (SLM). Apr. 1998.

E. Zollinger: Eigenschaften von Funkübertragungstrecken in Gebäuden. Dissertation an der ETH Zürich.

ANEXO D. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

En las figuras del presente anexo se muestran los resultados de mejor a AP, número de canales recibidos y probabilidad de recepción para la velocidad de 11 Mbps, pertenecientes a los pisos tercero, segundo, primero, sótano y postgrados.

Figura 21. Tercer piso - Mejor AP.

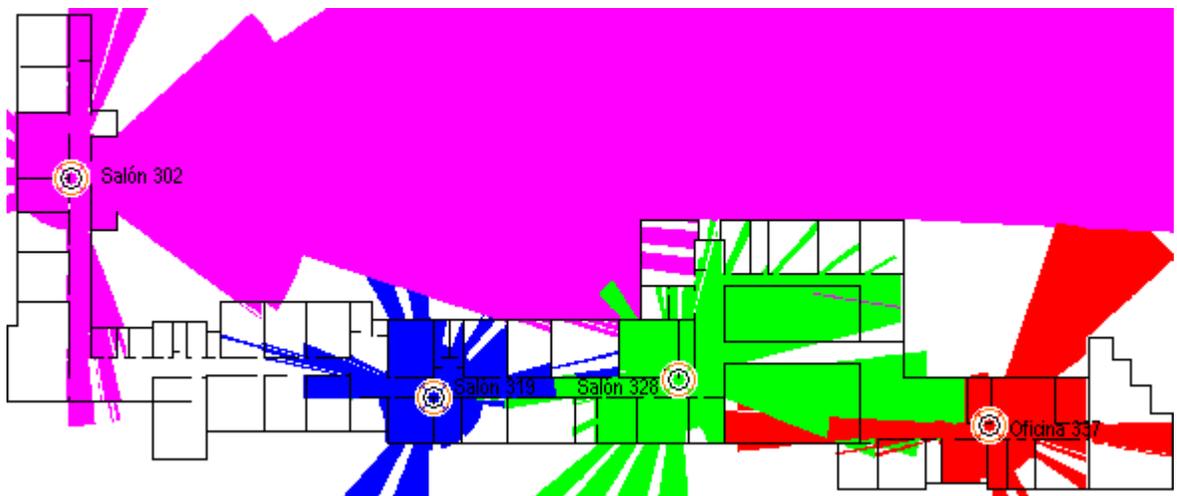


Figura 22. Tercer piso - Número de canales recibidos.

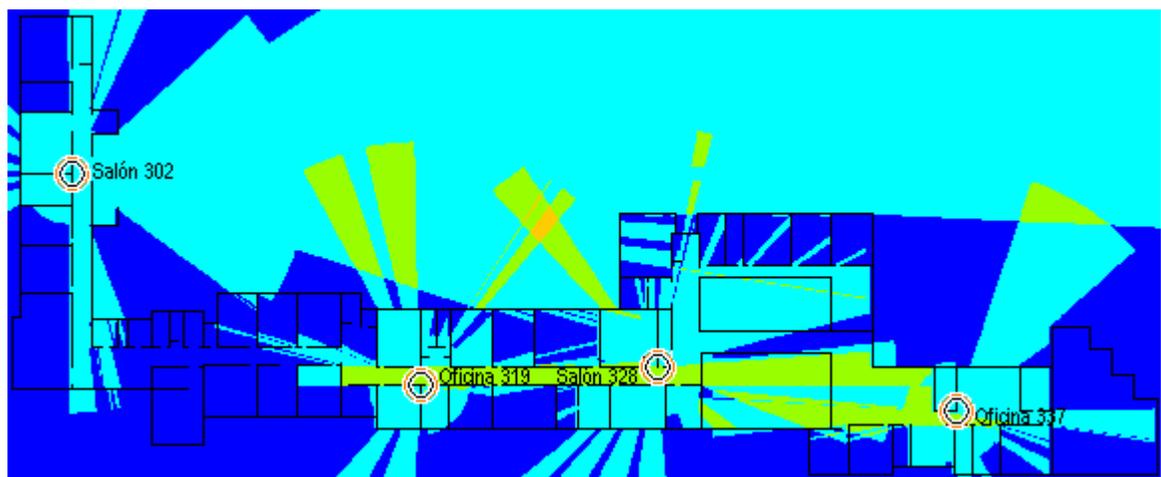




Figura 23. Tercer piso – Probabilidad de recepción.

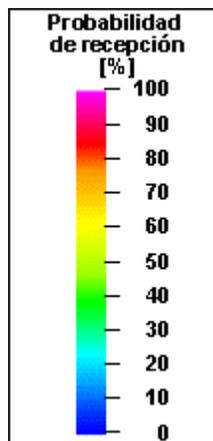
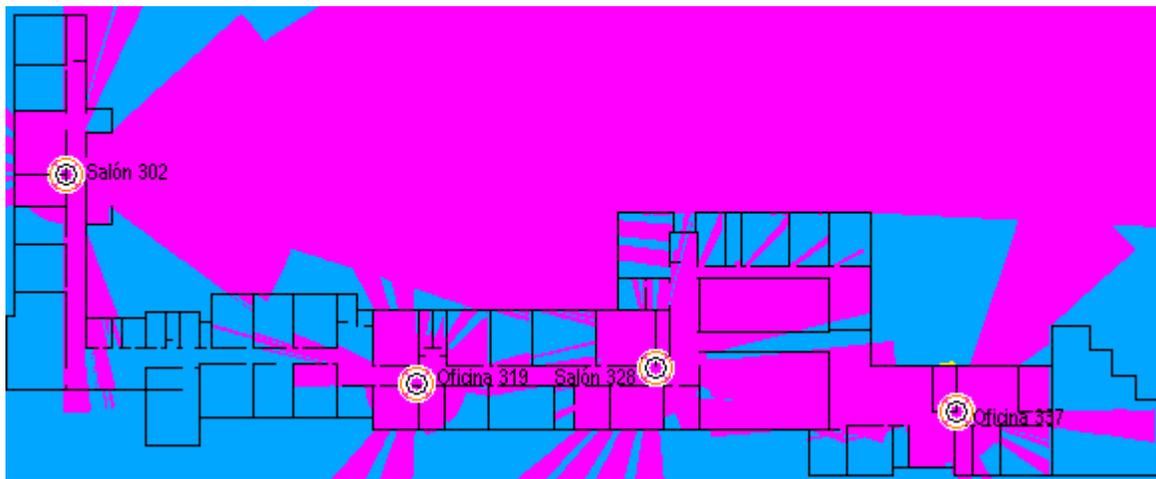


Figura 24. Segundo piso – Mejor AP.

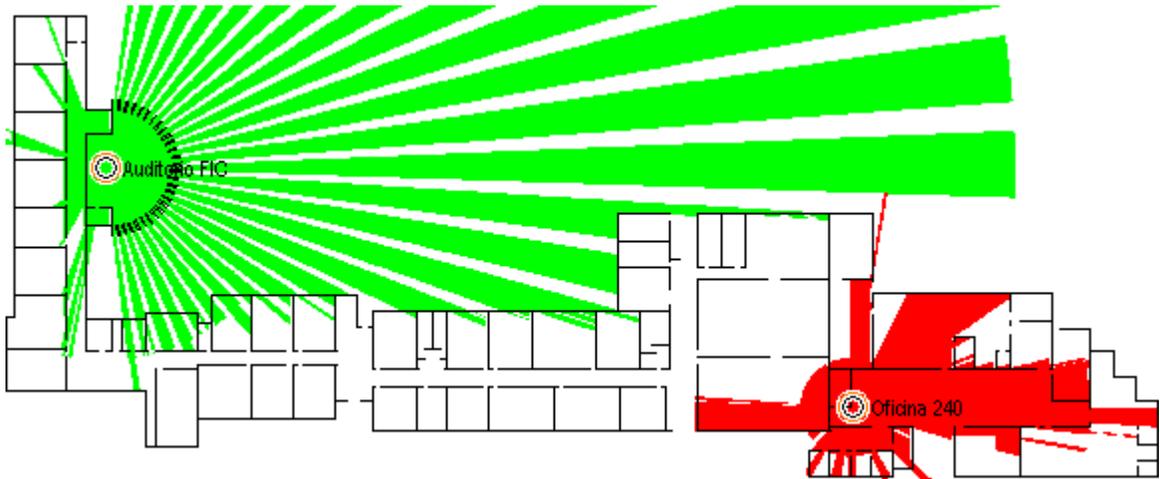


Figura 25. Segundo piso – Número de canales recibidos.

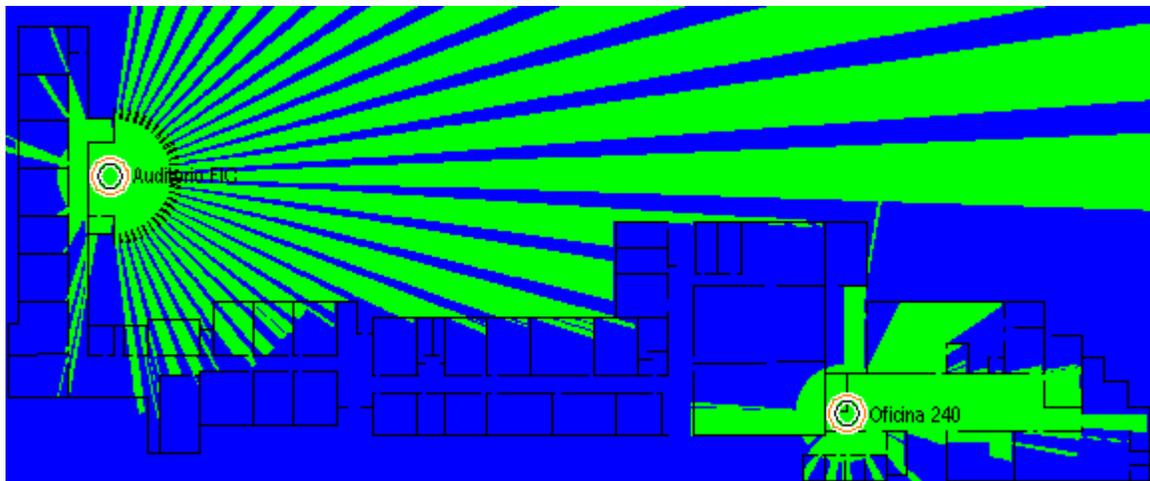


Figura 26. Segundo piso – Probabilidad de recepción.

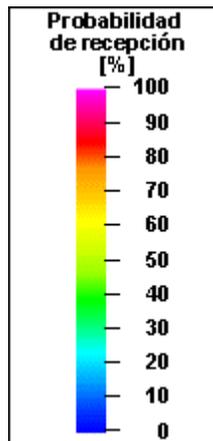
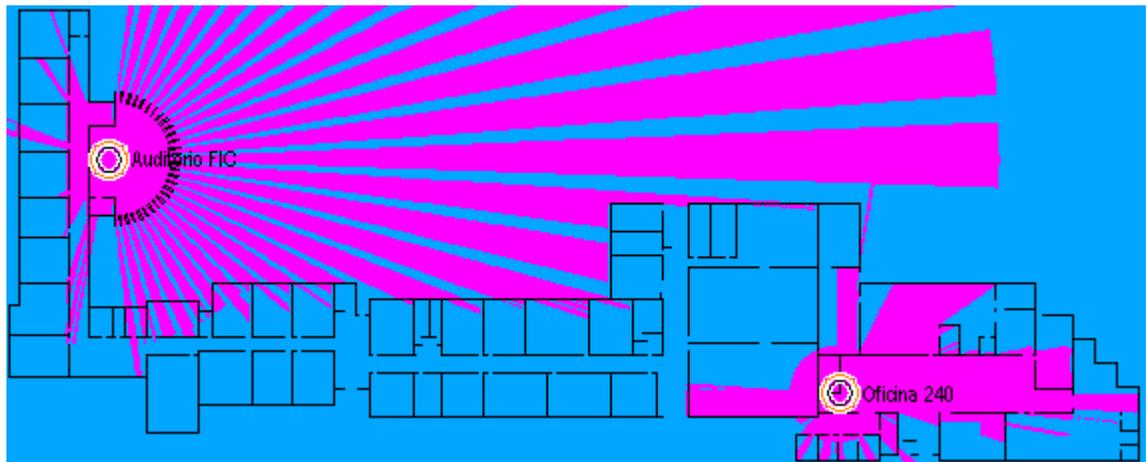


Figura 27. Primer piso – Mejor AP.

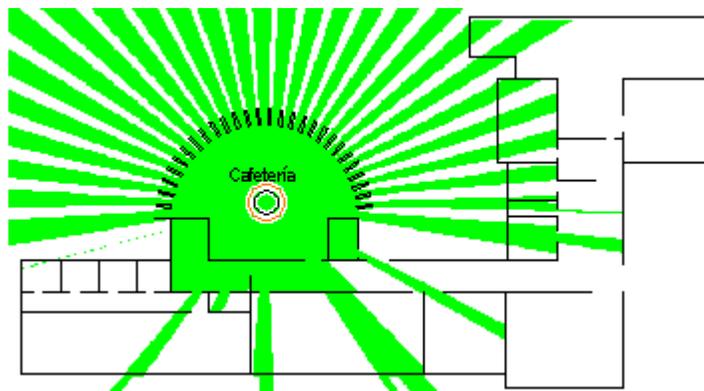


Figura 28. Primer piso – Número de canales recibidos.

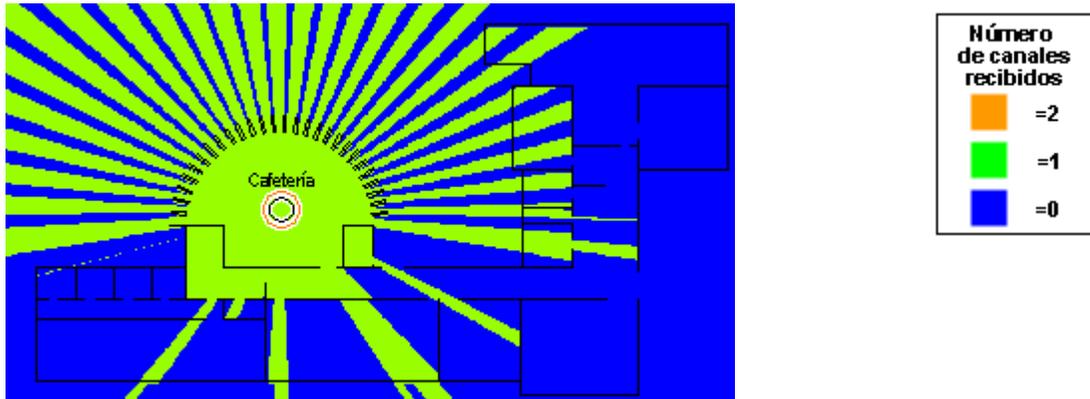


Figura 29. Primer piso – Probabilidad de recepción.

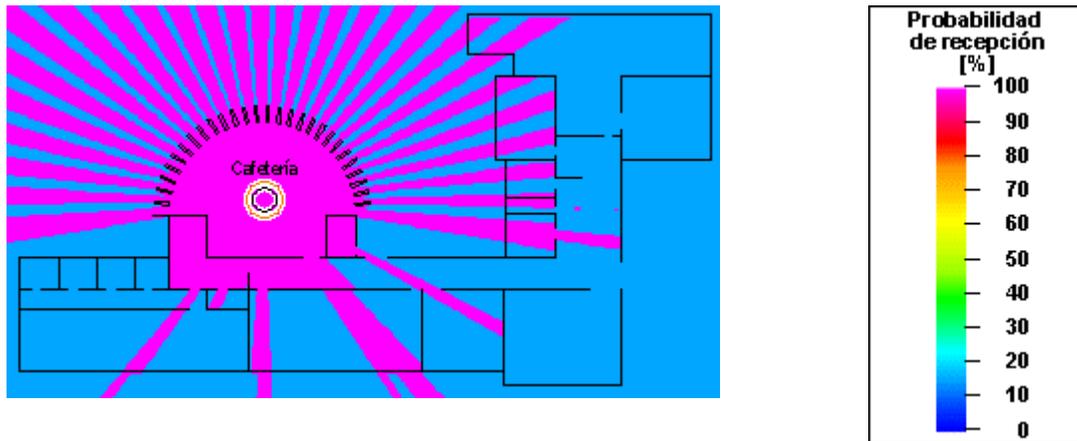


Figura 30. Sótano – Mejor AP.



Figura 31. Sótano - Número de canales recibidos.



Figura 32. Sótano – Probabilidad de recepción.

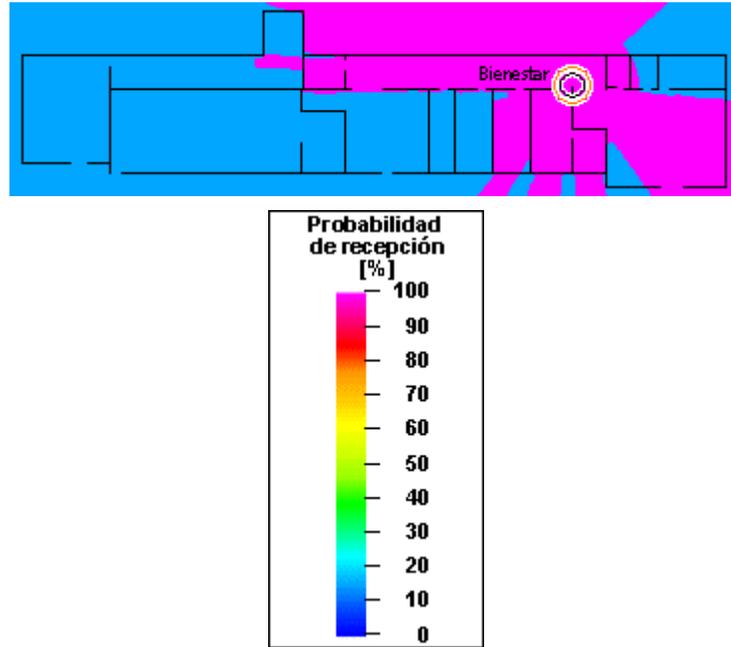


Figura 33. Postgrados – Mejor AP.

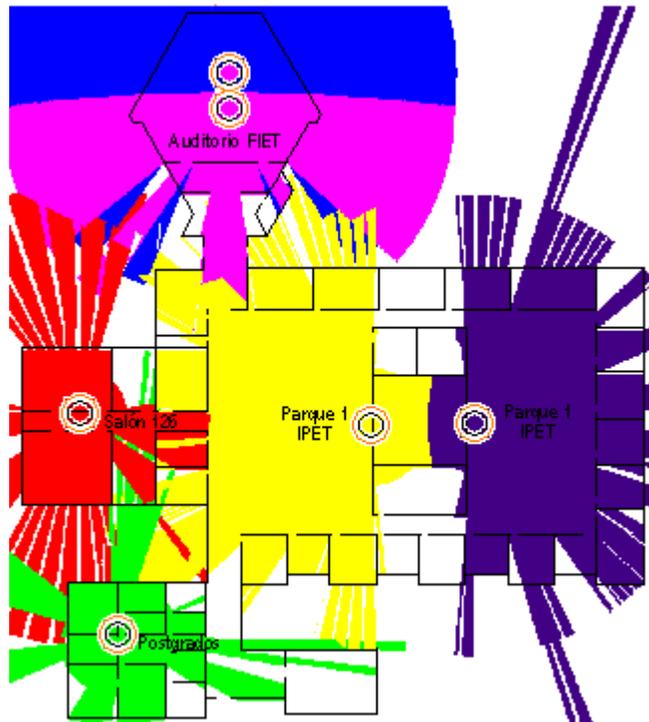


Figura 34. Postgrados – Número de canales recibidos.

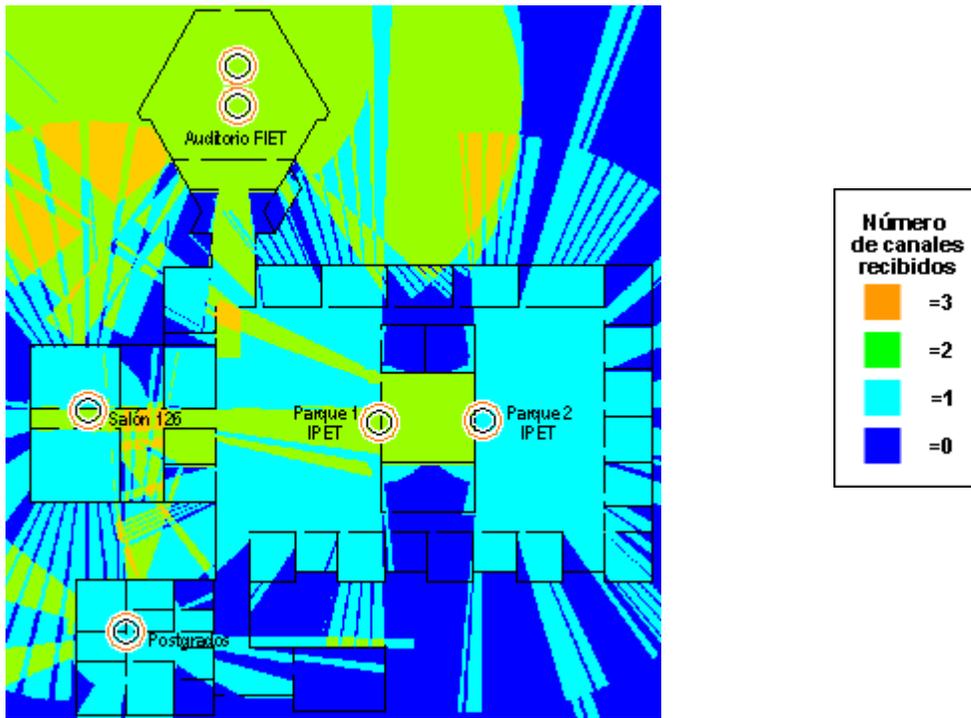


Figura 35. Postgrados – Probabilidad de recepción.

