

ANÁLISIS DE INTERFERENCIA ENTRE ENLACES DE MICROONDAS



PROYECTO DE FIN DE CARRERA

**Facultad de Ingeniería
Universidad de la República**

Octubre 2005

Ma. del Rosario Almeyda Barrales
Pablo C. Lucerna Márquez
Ma. Florencia Zanetti Giannetto

Tutor: Ing. José Acuña

Prólogo

Este es el documento del proyecto de fin de carrera de los alumnos Ma. del Rosario Almeyda, Pablo Lucerna y Ma. Florencia Zanetti del Instituto de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República. El objetivo de este proyecto es el análisis de interferencia entre enlaces de microondas, "AIEM", obteniendo como resultado un software que implemente dicho análisis.

Hoy en día existe una gran cantidad de usuarios del espectro radioeléctrico, y cada vez es un problema mayor, saber en qué canales ubicar nuevos enlaces de manera que no interfieran a los existentes. Para resolver esto, se debe realizar un análisis de las interferencias que pueden provocar los nuevos enlaces a instalar, frente a la topología de enlaces existentes como lo recomiendan las autoridades competentes en el tema.

El SW implementado se desarrolló en lenguaje de programación Java, el cual implementa un análisis de datos de varios enlaces existentes de un cliente, con sus respectivos parámetros de antenas, junto con datos de posibles enlaces que se agregan sin que se interfiera con los ya existentes, en un mismo formato común.

El programa calcula la potencia interferente entre los enlaces existentes y los enlaces nuevos, calculando la interferencia que recibe cada antena de cada una de las otras antenas externas a su enlace. Si hay más de una antena que se encuentra en un mismo canal de frecuencia, se suman las potencias interferentes transmitidas por ese canal hacia la misma antena. Estas interferencias obtenidas, se comparan con umbrales de potencia interferente según las diferencias de frecuencias a las que se encuentran las antenas. Estos factores de decisión se obtienen de una tabla provista por el cliente.

El SW posee una interfaz gráfica que permite interactuar con el cliente, y éste puede decidir los archivos que desee cargar con los enlaces a analizar. Como resultado del programa se obtiene, qué antena interfiere a cuál, con qué nivel de potencia interferente y también el nivel de potencia máximo tal que no interfiera.

En una optimización del problema, se genera una posible combinación de frecuencias para los enlaces nuevos donde no se produzcan interferencias entre ningún enlace. Para esta elección de nuevas frecuencias el programa se basa en una gama de frecuencias provistas por el cliente.

Para lograr una mejor planificación y evaluación del proyecto, se decide dividirlo en cuatro etapas. Esta división en etapas también se debe a su complejidad, ya que los lenguajes a utilizar en este proyecto son dos; uno muy conocido por los alumnos y que tiene varias herramientas matemáticas como es Matlab, y otro desconocido a los alumnos, pero con gran expansión a nivel profesional y comercial, como es Java. También la dificultad se presenta en el momento de pasar de un par de enlaces de microondas a múltiples enlaces, y ver de qué manera la interferencia entre sus antenas afecta a la

transmisión. Como resultado, en la primera etapa se realiza un programa en Matlab que analiza la interferencia entre dos antenas de dos enlaces diferentes de microondas; en la segunda un programa desarrollado en Java que analiza también la interferencia entre dos enlaces de microondas; la tercera etapa consiste en un programa en Matlab que analiza la interferencia entre múltiples enlaces de microondas; el programa final, o cuarta etapa, realiza lo mismo pero en un entorno de Java.

En este documento, primero se explican los objetivos más generales, hipótesis, restricciones y especificaciones del problema. Luego se da una explicación teórica de lo que significa la propagación, la teoría de antenas, cual es el entorno regulatorio y otros datos que pueden interesar a los efectos del análisis. A continuación se explica cómo procede el programa en el análisis de dos antenas, es decir una explicación de los cálculos que el mismo realiza definiendo algunas variables utilizadas. Luego se pasa a analizar múltiples enlaces simultáneamente describiendo el procedimiento detallado de los cálculos que realizan los programas tanto de Matlab, en la tercera etapa, como de Java, en la etapa final. También se profundiza en el programa resultado final, refiriéndose a algunas de sus hipótesis y restricciones y una descripción de la arquitectura del software. Por último se enuncia la verificación de resultados, líneas futuras y conclusiones. Como apéndices se ofrece un detallado manual de usuario para ejecutar el programa sin problemas, algunas tablas utilizadas en la validación de resultados y un resumen de las normas y recomendaciones utilizadas.

Agradecimientos

A nuestras familias, que nos apoyaron durante toda la carrera y alentaron a seguir adelante en todo momento; soportándonos en tantas horas de trabajo.

A nuestro tutor, José, por guiarnos a lo largo del proyecto, brindarnos sus conocimientos técnicos y opiniones críticas.

A Ana y Cecilia, por el tiempo dedicado y la ayuda prestada en la realización del proyecto.

A nuestros respectivos trabajos, por la paciencia y consideración que nos tuvieron.

A la gente que nos prestó su apoyo: Marta, Rosario, Gabriela, Diego y María Clara, Victoria, Natalia, Eufemia, Roberto, Sylvia, Tita, Héctor y Alfredo.

A todos nuestros amigos y compañeros por estar junto a nosotros en este camino.

Contenido

Capítulo 1	
Introducción	10
1.I Descripción del Proyecto	10
1.I-A Introducción	10
1.I-B Descripción	10
1.II Objetivos	11
1.III Especificación del Proyecto	11
1.III-A Hipótesis	11
1.III-B Fronteras y restricciones	12
1.IV Descripción del documento	12
Capítulo 2	
Entorno teórico	14
2.I Introducción	14
2.II Las antenas y sus propiedades	15
2.II-A Clasificación de antenas	15
2.II-B Parámetros de antenas	15
2.II-B.1 Diagrama de radiación	15
2.II-B.2 Polarización	17
2.II-B.3 Ganancia	17
2.II-B.4 Polarización cruzada	18
2.II-B.5 Relación frente espalda	18
2.II-B.6 Ancho de banda	18
2.II-B.7 Campo cercano y lejano	19
2.II-C Antenas de microondas	20
2.II-C.1 Zonas de Fresnel	20
2.II-C.2 Bandas de frecuencia en microondas	21
2.III Propagación de interferencia	22
2.IV Propagación en espacio libre	24
2.IV-A Atenuación en espacio libre	24
2.IV-B Atenuaciones adicionales	25
2.IV-C Ecuación de Friis	26
2.V Marco regulatorio	29
2.V-A Reglamento de licencias de telecomunicaciones	29
2.V-B Reglamento de administración y control del espectro radioeléctrico	30

Capítulo 3	
Análisis de interferencia para dos enlaces	31
3.I Consideraciones previas	31
3.II Cálculo de la interferencia	32
3.II-A Cálculo de las ganancias G_1 y G_2	34
3.II-A.1 Cálculo del ángulo correspondiente a la proyección del patrón sobre el plano horizontal	35
3.II-A.2 Cálculo del ángulo correspondiente a la proyección del patrón sobre el plano vertical	36
3.II-A.3 Aproximación al valor de la ganancia	38
3.III Primera etapa en Matlab	38
3.III-A Entorno Matlab	39
3.III-B Ejemplo de cálculo	39
3.III-C Procedimiento de ejecución del programa	42
Capítulo 4	
Análisis de interferencia para múltiples enlaces	45
4.I Cálculos y decisiones de interferencia	45
4.I-A Consideraciones para el análisis de múltiples enlaces punto a punto	45
4.I-B Cálculos previos	46
4.I-B.1 Distancia entre antenas	46
4.I-B.2 Ángulo azimutal	47
4.I-B.3 Ángulo beta	47
4.I-C Cálculo en campo lejano	49
4.I-C.1 Cálculo de interferencia	50
4.I-C.2 Decisión de interferencia	53
4.I-D Cálculo en antenas de una misma torre	53
4.I-D.1 Cálculo de interferencia	54
4.I-D.2 Decisión de interferencia	54
4.I-E Reelección de frecuencias	55
4.II Formato de los datos de entrada	56
Capítulo 5	
Producto final: Software AIEM	60
5.I Preliminares del software	60
5.I-A Elección del lenguaje de programación a utilizar	60
5.I-B Condiciones que debe cumplir el software	61
5.I-C Restricciones del software para el usuario	61
5.II Arquitectura del Software	62
5.II-A Paquete topología	64
5.II-A.1 La clase Enlace	65
5.II-A.1-a Principales atributos de la clase Enlace	65

	5.II-A.1-b	Métodos de acceso	65
	5.II-A.1-c	Constructor de la clase Enlace	65
5.II-A.2	La clase Antena		65
	5.II-A.2-a	Principales atributos de la clase Antena	66
	5.II-A.2-b	Métodos de acceso y definición de parámetros	67
	5.II-A.2-c	Constructor de la clase Antena	67
	5.II-A.2-d	Métodos de la clase Antena	67
5.II-A.3	La clase Interferencia		69
	5.II-A.3-a	Métodos de la clase Interferencia	69
	5.II-A.3-b	Principales atributos de la clase Interferencia	69
	5.II-A.3-c	Constructor de la clase Interferencia	69
5.II-A.4	La clase ListaDeInterferencia		70
	5.II-A.4-a	Métodos de la clase ListaDeInterferencia	70
5.II-A.5	La clase Ubicación		71
	5.II-A.5-a	Atributos de la clase Ubicación	71
	5.II-A.3-b	Métodos de acceso y definición de parámetros	71
	5.II-A.3-c	Constructor de la clase Ubicación	71
5.II-A.6	La clase Enlacekl		71
5.II-B	Paquete lógica		72
	5.II-B.1	La clase Correr	72
	5.II-B.2	La clase FrecPosibles	73
	5.II-B.3	La clase CalcFrecPosibles	73
5.II-C	Paquete datos		76
5.II-D	Paquete interfazUsuario		78
	5.II-D.1	Modo de uso de la interfaz usuario	78
5.II-E	Paquete de excepciones		81
	5.II-E.1	Manejo de excepciones	81
	5.II-E.2	Excepción DatoErróneo	83
	5.II-E.3	Excepción DatoErróneoPatrón	83
	5.II-E.4	Excepción ErrorArchivoAbierto	84

Capítulo 6 Validación de resultados 85

6.I	Criterios de validación	85
6.II	Análisis de resultados de la forma canónica	86
	6.II-A Consideraciones generales	86
	6.II-B Un enlace existente y un enlace nuevo en campo lejano	87
	6.II-B.1 Cálculos previos	87
	6.II-B.1-a Distancias	88
	6.II-B.1-b Ángulos acimutales	88
	6.II-B.1-c Ángulos beta	89
	6.II-B.2 Cálculo de interferencia	89
	6.II-B.2-a Ganancias	89
	6.II-C Un enlace existente y un enlace ubicados en una misma torre	94
	6.II-D Varios enlaces existentes y varios enlaces nuevos	96

6.III	Comparación de resultados de cálculo de interferencia	104
6.III-A	Criterios de cálculo de interferencia de empresa A vs criterios de cálculo de interferencia de AIEM	104
6.III-A.1	Similitudes	104
6.III-A.2	Diferencias	105
6.III-A.2-a	Cálculo de interferencia	105
6.III-A.2-b	Decisión de interferencia	106
6.III-B	Cálculos de interferencia de empresa A vs cálculos de interferencia de AIEM	107
6.III-B.1	Análisis de interferencia de interferencia de enlaces Cerrito – Rincón de la Bolsa	107
6.III-C	Análisis de Resultados	114
 Capítulo 7		
Conclusiones		115
7.I	Conclusiones generales	115
7.II	Líneas futuras	118
 Apéndice A		
Manual de usuario		120
 Apéndice B		
Tablas utilizadas en la validación		122
B.I	Ejemplo de la forma canónica	122
B.II	Comparación de resultados de cálculo de interferencia	124
 Apéndice C		
Recomendación UIT-R P.452-11		126
 Apéndice D		
Recomendaciones de disposición de radiocanales para microondas		127
D.I	Recomendación UIT-R F.385-8T	127
D.II	Recomendación UIT-R F.386-6T	128
D.III	Recomendación UIT-R F.387-9T	129

Apéndice E	
Reglamentos de la URSEC	130
E.I Reglamenteo de licencias de telecomunicaciones	130
E.II Reglamenteo de administración y control del espectro radioeléctrico	132
Apéndice F	
Contenido del CD	138
Bibliografía	139

Capítulo 1

Introducción

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1-A Introducción.

EN este mundo cada vez más urbanizado, las comunicaciones inalámbricas están teniendo un papel fundamental. En principio, para poder lograr una buena comunicación se deben tener en cuenta no sólo los obstáculos sino también las transmisiones de distintos enlaces a la misma frecuencia.

Es muy importante, en el momento de instalar un nuevo enlace de microondas, tener presentes los enlaces existentes para una correcta comunicación en el enlace, ya que los enlaces existentes pueden ser fuente de interferencias. Y no hay duda de que cada vez existe una mayor demanda para el espectro radioeléctrico, por lo que se necesita realizar una planificación inteligente de la red de comunicaciones para que sea ordenada y eficiente. Ésta además beneficiará el desarrollo de las empresas de telecomunicaciones en el contexto del mercado. Asimismo, la inversión en el negocio de las telecomunicaciones como en cualquier otro, debe ser lo más rentable posible y una red más inteligente repercutirá también sobre esto.

1.1-B Descripción

El proyecto tiene como objetivo desarrollar un análisis del cálculo de interferencias que, considerando una banda de frecuencia dada, tenga como entrada todos los parámetros de los enlaces a analizar. En un modelo simplificado se consideran todos los enlaces como punto a punto. Se ingresan sus coordenadas geográficas y datos de las antenas como: frecuencia de transmisión y recepción, potencia de transmisión, ganancia, polarización, patrón de radiación, entre otros.

Tomando como válida la Ecuación de Friis (ver Capítulo 2) se considera que el mecanismo de propagación de la interferencia es de visibilidad directa con la primera zona de Fresnel libre de obstáculos.

La banda de frecuencias a analizar es la que corresponda a microondas, por lo que está incluida entre los 700 KHz y los 30 GHz [1].

El punto de partida de este análisis, es hoy en día y cada vez más, en cada país, la necesidad de aprovechar mejor el espacio radioeléctrico haciendo una correcta elección de las bandas de frecuencias.

El marco legal de Uruguay en el área de las telecomunicaciones está dado por la URSEC (Unidad reguladora de servicios de comunicaciones), y ésta posee una serie de reglamentos para la

distribución radioeléctrica que se basa en las normas de la UIT (Unión internacional de telecomunicaciones).

Como resultado, la versión final del software despliega una planilla con los enlaces que intervienen, los valores de las señales interferentes entre cada una de las antenas y los umbrales de interferencias para cada caso. También realiza una comparación entre estos valores y muestra si cada enlace está interferido o no, y en caso de que esté, quién o quiénes son los “culpables”.

En una primera aproximación al problema, se calcula la interferencia entre dos enlaces a través de dos antenas en un entorno de Matlab. Luego, desarrollando el problema, se logra un software que considera múltiples enlaces.

1.II OBJETIVOS

Para el diseño del programa de software que realiza el análisis de la interferencia en enlaces de microondas se establecen los siguientes objetivos generales:

- Estudio de las teorías de propagación y aplicación de las mismas.
- Análisis de los distintos diagramas de radiación de antenas y otros datos pertinentes a las antenas, como factores y constantes.
- Interpretación de una norma reguladora de telecomunicaciones.
- Realización de una propuesta de corrección de la frecuencia de los enlaces para los casos de interferencia.

1.III ESPECIFICACIÓN DEL PROYECTO

1.III-A Hipótesis

Las hipótesis que se tienen en cuenta para el estudio del problema son:

- a) Se toma como marco legal de referencia el dado por la URSEC y las Recomendaciones de la UIT.
- b) Los enlaces se consideran de línea vista con la primera zona de Fresnel libre de obstáculos.
- c) No se considera como factor de atenuación el vapor de agua en la atmósfera ni otros factores de difracción o reflexión.
- d) Los enlaces entre antenas son punto a punto.
- e) Las frecuencias a considerar están entre los 700 kHz y los 30 GHz.
- f) Los cálculos realizados son los sugeridos por la norma de la UIT-R P.452-11. De ella se toman variables y constantes a utilizar.
- g) Dependiendo de la distancia entre las antenas a las que se analicen, se evalúan dos tipos de interferencia: de campo lejano y de antenas situadas en la misma torre.
- h) Se consideran interferencias puntuales las de antena a antena y globales las de un conjunto de antenas con frecuencias cocanales a otra antena.
- i) Los patrones de las antenas se suponen de revolución con respecto a la dirección de máxima ganancia de la antena.

- j) Los ángulos considerados en los patrones están entre 0° y 360° .
- k) Los cálculos del ángulo acimutal en la norma ITU-R P.452-11 son para el hemisferio norte, por lo que se hace la corrección correspondiente para el hemisferio sur.
- l) En caso de enlaces interferentes e interferidos, se da la posibilidad de hallar una alternativa a la frecuencia de los enlaces nuevos de manera que no interfieran, siempre que esta configuración exista.

1.III-B Fronteras y restricciones

Para el estudio del análisis de interferencia, también se encuentran algunas restricciones y fronteras que es preciso tomar en cuenta y a continuación se especifican.

Es importante que el usuario que desee realizar el análisis cuente con suficientes datos de los enlaces ya que algunos son restrictivos para el cálculo que el programa realiza. También es restrictivo, el formato en que se ingresan estos datos.

Se realizan dos versiones finales del programa en diferentes lenguajes de programación, uno en Matlab y otro en Java. Ambos programas tienen restricciones fuertes respecto a las herramientas que necesitan para ejecutarse: son dependientes de Excel, por lo tanto de Office (se garantiza el correcto funcionamiento a partir de Office 2000) y el sistema operativo en estas versiones debe ser Windows 98, 2000 o XP. Además, el programa en formato Matlab se debe correr sobre Matlab en su versión 6.5 (como mínimo), contando con aplicaciones de cálculo e imágenes determinadas. En cuanto a la versión en Java es independiente de la plataforma de trabajo. Los estudiantes no tuvieron en consideración el tema de licencias o costos de los programas necesarios para correr el SW.

Se considera positivo que el programa pueda hallar una nueva configuración para los enlaces nuevos de manera que no se produzcan interferencias entre ellos y hacia los enlaces existentes. Para esto, se toma en cuenta la posibilidad de cambiar sus frecuencias y polarizaciones, ya que es algo viable. Sin embargo, no lo es, cambiar la ubicación de los enlaces en algunos casos. El tiempo de ejecución del programa para esta reelección de frecuencias, puede ser considerable en el caso de varios enlaces, y aumenta casi exponencialmente con la cantidad de enlaces y de combinaciones de frecuencias.

1.IV DESCRIPCIÓN DEL DOCUMENTO

Se busca en este documento, que constituye el fundamento de este proyecto fin de carrera, que sea lo más funcional posible. Se realiza entonces la descripción del problema desde lo más simple y se aumenta la complejidad hasta llegar al programa final.

En el capítulo 1 se describen los objetivos generales, hipótesis y restricciones que corresponden en gran medida a todas las etapas del proyecto.

El capítulo 2 presenta el entorno teórico, como la definición de los parámetros de las antenas y la clasificación de los tipos de propagación descritos en la norma de la UIT-R P.452-11. También incluye el

marco regulatorio en que se encuentra Uruguay respecto al espacio radioeléctrico y las telecomunicaciones en general, dado por dos recomendaciones de la URSEC. Luego presenta el análisis de la propagación en el espacio libre y otros factores que pueden influir en la misma.

En el capítulo 3 se comenta el primer acercamiento realizado al problema en el caso del análisis de interferencia entre dos antenas pertenecientes a distintos enlaces. También explica la herramienta de programación utilizada en esta parte y un ejemplo de cálculo.

El capítulo 4 analiza el problema de la interferencia entre antenas de varios enlaces, existentes y nuevos y algunas características que se debieron tener en cuenta en el momento de realizar el programa. Por ejemplo, cuál es la mejor manera de organizar los datos de entrada para luego generalizar su formato. También se presentan cálculos realizados por el programa cuyo origen puede ser de interés del usuario.

En el capítulo 5 se presenta el resultado final del programa en Java, se analiza la solución que éste hace del problema y también se describe la arquitectura del software.

El capítulo 6 analiza resultados dados por el programa verificando su correcto funcionamiento. Se realizan ejemplos de cálculos donde se consideran varios casos modelo para poder verificar la eficacia del programa.

En el capítulo 7 se plantean a la luz de los resultados obtenidos, las conclusiones del trabajo realizado. También se explican aplicaciones futuras que puede tener el proyecto.

En el apéndice A se presenta el índice del manual de usuario del SW AIEM versión 1.2.

Se anexan las tablas utilizadas para la validación de resultados realizada en el capítulo 6, en el apéndice B.

Es de gran importancia la inclusión de los apéndices C, D y E donde se introducen las Recomendaciones de la UIT y las Reglamentaciones de la URSEC, que fueron de gran ayuda en el diseño del programa.

Capítulo 2

Entorno teórico

Resumen— En este capítulo se realiza el estudio teórico de los elementos más significativos de una comunicación en radiofrecuencia para la comprensión posterior del análisis de interferencia realizado. Este estudio abarca aspectos técnicos, como: definiciones, parámetros de los elementos y modelos; como también aspectos jurídicos y legales, tan importantes como los primeros para realizar un estudio de interferencia.

2.1 INTRODUCCIÓN

Si bien el cometido de este proyecto no es el estudio de cómo se realiza la transmisión en radiofrecuencia ni de cuáles son los elementos que intervienen en la misma; es de vital importancia la comprensión de los agentes y elementos que hacen posible esta clase de comunicación.

Los elementos más importantes para establecer una comunicación en radiofrecuencia son: un transductor de salida que transforme la información conocida a ser enviada, una antena que emita la información transformada por el transductor hacia la atmósfera terrestre, la atmósfera terrestre, una antena que capte las señales emitidas por la antena antes mencionada y un transductor que nuevamente transforme la señal recibida a información conocida [15].

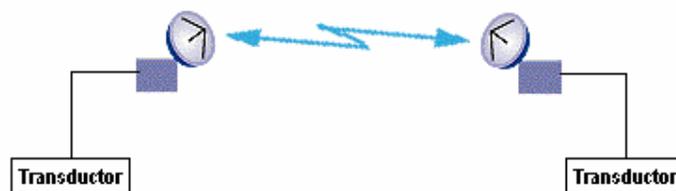


Figura 2.1 Esquema de una comunicación en radiofrecuencia

El nivel de interferencia que adquiere una comunicación tiene íntima relación con las características de las antenas, y por lo tanto es conveniente el estudio de los parámetros más relevantes de éstas con el fin de realizar un correcto análisis posterior.

2.II LAS ANTENAS Y SUS PROPIEDADES

Las antenas son dispositivos que convierten señales eléctricas en campos electromagnéticos y viceversa [12,16].

La antena de referencia, ideal por definición, es la antena isotrópica. La emisión hipotética de esta antena es homogénea e isotrópica en todas las direcciones del espacio [17].

2.II-A Clasificación de antenas

Las antenas pueden clasificarse según dos categorías [12,16]:

- Forma de construcción.
- Según diagrama de radiación.

Según las formas de las antenas se encuentran:

Antenas de cable: es el tipo más común de antena. Están constituidas por medio de un cable o varilla de caño recto, en bucle o helicoidal.

Antena de parche: están formadas por un parche metalizado sobre un sustrato aterrado.

Antenas de arreglos: Estas antenas son agrupaciones de varias antenas de los tipos anteriores. Por lo general estas antenas se utilizan para lograr una mayor ganancia en determinada dirección y disminuirla en otra.

Antenas parabólicas: Estas antenas son antenas reflectoras que permiten aumentar la ganancia. Por medio de un reflector parabólico permiten concentrar la potencia en un punto foco, dónde se ubica el alimentador. Estas antenas son las que se utilizan por lo general para la transmisión punto a punto en microondas. Por lo tanto, tiene especial interés el estudio de las propiedades de estas antenas para obtener un correcto análisis de interferencia en este proyecto.

La segunda categoría se refiere a una distinción de antenas mediante las propiedades de transmisión-recepción de las antenas. El análisis de estas antenas se realiza a medida que se avanza en la descripción de los parámetros de las antenas.

2.II-B Parámetros de antenas

2.II-B.1 Diagrama de radiación

La radiación puede entenderse como la propagación de la energía a través del espacio en forma de ondas. Esta radiación electromagnética constituye el conjunto de campo eléctrico (E) y campo magnético (H) que se desplazan conjuntamente por el espacio libre, generados por el movimiento de

cargas eléctricas en las antenas [10,19]. El plano que contiene al campo E y la dirección de propagación se denomina plano de polarización [8].

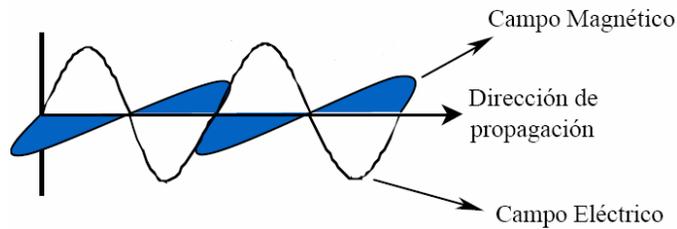


Figura 2.2 Onda electromagnética de propagación [7]

Las variaciones en el espacio de la onda electromagnética dan origen al diagrama de radiación. El diagrama de radiación determina el nivel de potencia emitido en un ángulo respecto a la dirección de máxima radiación. Este diagrama de radiación se representa por medio del patrón de la antena, parámetro que provee el fabricante de la misma. El patrón de radiación de la antena es una función matemática o una representación gráfica de las propiedades de radiación, en función de las coordenadas espaciales [18].

Por ejemplo, los diagramas de radiación más comunes son:



a- Antena ISOTRÓPICA

b- Antena OMNIDIRECCIONAL

c- Antena DIRECCIONAL

Figura 2.3 Diagramas de radiación más comunes.

Como se puede observar en la Figura 2.3-a, el diagrama de radiación de la antena isotrópica es homogéneo para todas las direcciones del espacio. En la figura 2.3-b se muestra una antena con diagrama omnidireccional correspondiente por ejemplo a un dipolo, en el cual para un plano en particular se emite la misma potencia en todas las direcciones. Por último, se observa en la Figura 2.3-c una antena directiva cuyo diagrama representa por ejemplo a las antenas reflectoras utilizadas en los enlaces de microondas punto a punto.

Si se analiza la propagación de una onda, por ejemplo para una antena omnidireccional como en la Figura 2.4, se pueden observar las direcciones de propagación de los campos generados en relación al patrón de radiación:

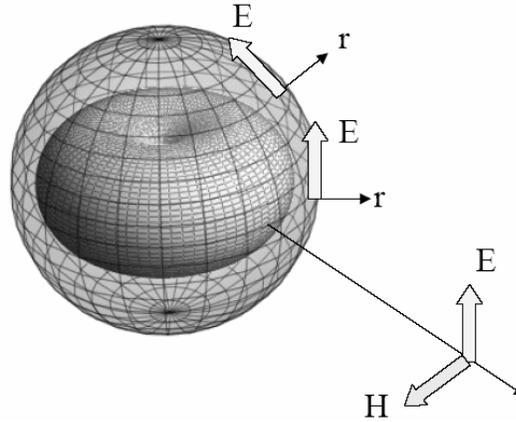


Figura 2.4 Diagrama de radiación y campos de propagación.

2.II-B.2 Polarización.

Se denomina polarización de una antena al plano de polarización del diagrama de radiación de la antena que contiene el campo eléctrico y la dirección de propagación. La polarización más común de una antena es la lineal, que puede ser a su vez vertical u horizontal [22].

Por ejemplo en la Figura 2.4, la antena transmite en polarización vertical.

2.II-B.3 Ganancia

La ganancia de una antena se define como la relación entre la intensidad en una dirección dada y la intensidad de radiación que sería obtenida si la potencia aceptada por la antena fuera radiada isotrópicamente, siendo la intensidad de radiación en una dirección dada la potencia radiada por unidad de ángulo sólido [2,13].

La máxima ganancia de una antena corresponde a la ganancia en la dirección de máxima intensidad de radiación. Este parámetro es provisto por el fabricante.

Para el cálculo de la ganancia de la antena en otra dirección que no sea la dirección de máxima ganancia, se utiliza la información del patrón de radiación, que también es dado por el fabricante. Por ejemplo, si se quiere obtener la ganancia de la antena a 30° de la dirección de máxima ganancia, cuyo patrón responde a lo presentado en la Figura 2.5, basta con observar que en este ángulo la antena tiene una potencia de radiación de la mitad de la que tiene en la dirección de máxima ganancia (o sea, en dB, la ganancia disminuye 3 dB) [20].

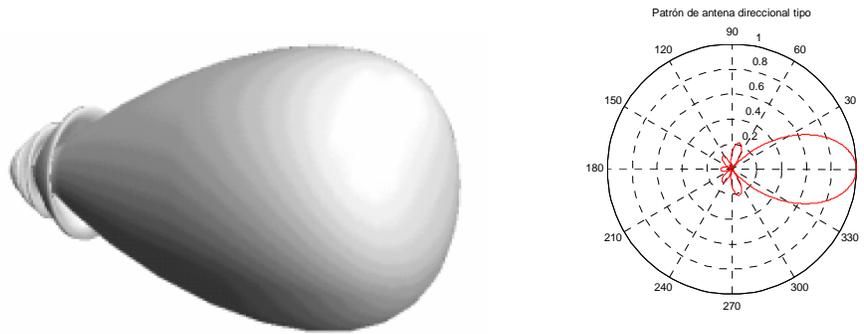


Figura 2.5 Patrón de antena direccional

2.II-B.4 Polarización cruzada

Teóricamente, si un enlace trabaja a una determinada polarización, éste no recibiría ninguna señal de otra antena que transmitiera en la polarización opuesta. Esto en la realidad no ocurre por dos razones: las antenas no son ideales, es decir, reciben parte de la energía de la polarización opuesta, y el medio de propagación tampoco es ideal lo que produce una degradación de la señal transmitida [2,11].

Debido a estas no idealidades de las antenas se define un parámetro provisto por el fabricante que indica la capacidad de la antena para rechazar la polarización cruzada [20, 21].

En el programa realizado en este proyecto, como se explica en el capítulo 4, se utiliza el parámetro de polarización cruzada en el cálculo de interferencias de antenas ubicadas en una misma torre. En el caso del análisis de interferencias para antenas en campo lejano de diferente polarización se utiliza un patrón que contempla la diferencia de polarizaciones.

2.II-B.5 Relación frente espalda (FtB)

Este parámetro indica la relación entre la ganancia de la antena en la dirección de máxima ganancia y la diametralmente opuesta [13, 20].

Este parámetro se utiliza en el programa para el cálculo de interferencias en la misma torre como se explica en la sección 4.II.

2.II-B.6 Ancho de banda

El ancho de banda de una antena es el rango de frecuencias dentro del cual la antena, a ambos lados de una frecuencia central, trabaja en condiciones normales.

Este parámetro se establece en base a estándares existentes de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones). El ancho de una banda se establece según el fin de la información que se maneje y la banda de frecuencia utilizada [13].

2.II-B.7 *Campo cercano y lejano*

El espacio que rodea una antena es generalmente dividido en tres regiones según la estructura de los campos en cada una. Éstas se denominan: 1) Región de campo cercano reactivo, 2) Región de campo cercano radiante y 3) Región de campo lejano [2, 22].

Si bien no hay cambios abruptos en las configuraciones de los campos en las fronteras de las regiones, estas configuraciones son básicamente distintas en cada región como se verá a continuación.

1) Región de campo cercano reactivo

Se define como la porción del campo cercano que rodea inmediatamente a la antena y se caracteriza por el predominio del campo reactivo.

2) Región de campo cercano radiante (Zona de Fresnel)

Se define como aquella región del campo entre la zona de campo cercano reactivo y la de campo lejano, dentro de la cual predominan los campos de radiación y donde la distribución de campo angular depende de la distancia a la antena.

3) Región de campo lejano (Zona de Fraunhofer)

Se define como la región donde la distribución de campo angular es esencialmente independiente de la distancia de la antena. En esta región las componentes de los campos son transversales a la dirección de propagación y la distribución angular es independiente de la distancia radial.

El límite teórico entre campo lejano y campo cercano es $R > \frac{2D^2}{\lambda}$, donde D es la dimensión mayor de la antena en el caso de antenas dipolares y λ es la longitud de onda [14].

Para el caso de antenas parabólicas, a una distancia mayor al valor de la longitud de onda, el campo se hace transversal y mucho más lejos es un campo plano. A éste se lo denomina **campo lejano** el cual considera despreciable la diferencia de fase de las ondas que arriban desde los distintos puntos del radiador. Las características de radiación del dipolo se reducen con factor igual al coseno del ángulo respecto de la dirección de máxima directividad (perpendicular al dipolo).

En este proyecto se aproxima este límite [4.I-C] y se utilizan los patrones de radiación en la región de campo lejano por ser válida la hipótesis de que las ganancias de las antenas son independientes de la distancia hacia ellas.

2.II-C Antenas de microondas

Estas antenas son usadas en comunicaciones de radiofrecuencia punto a punto utilizando por lo general antenas reflectoras para obtener una mayor ganancia en la dirección de propagación, y disminuir al máximo la propagación en otras direcciones [20, 22]. Además estas antenas tienen un gran ancho de banda dependiendo de la aplicación y permiten que la distancia entre antenas pueda superar los 30 kilómetros.

Una de las principales restricciones que tienen estas antenas es que deben tener visibilidad directa entre ellas. Además de cumplirse esta última condición se debe cumplir la visibilidad de la primera zona de Fresnel [9].

2.II-C.1 Zonas de Fresnel

Una antena emite un frente de onda en expansión. De acuerdo con el principio de Huygen¹, cada elemento del frente de la onda produce un frente de onda secundario. Es decir que, a la antena receptora llega una señal desde cada punto del frente de onda (señal difractada); existen entonces infinitos caminos que unen las antenas. Como los rayos así difractados recorren un camino más extenso, llegan con un cierto retardo que puede producir una interferencia que se suma o se resta de acuerdo con la fase relativa. El efecto queda determinado por una familia de elipsoides de Fresnel² con focos en las antenas [23]. En la Figura 2.6 se observa un elipsoide genérico correspondiente a dicha familia.

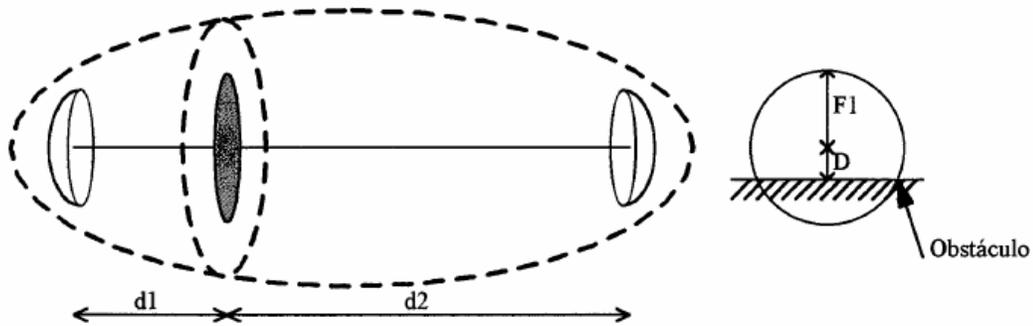


Figura 2.6 Elipsoide de Fresnel.

Se denominan zonas de Fresnel a las coronas circulares concéntricas determinadas por los rayos difractados que se suman en fase y en contrafase en forma alternada. Dentro del elipsoide de revolución, la primera zona de Fresnel se caracteriza por el radio $F1$ a una determinada distancia de la antena.

Según la norma UIT-R I.715 la relación entre los distintos elementos que intervienen es [9, 11]:

¹ Físico holandés del siglo XVII

² Matemático francés del siglo XIX

$$R_n = 550 \sqrt{\frac{n d_1 d_2}{(d_1 + d_2) f}} \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde d_1 y d_2 corresponden a las distancias en km entre transmisor y receptor al punto donde es calculado el radio del elipsoide, f es la frecuencia en MHz y n es el número del elipsoide. El valor de R_n resulta en metros.

Las zonas pares ($n= 2,4,6,$ etc.) tienen una contribución sustractiva de potencia, pues el rayo directo y el difractado se suman en contratasen, y las zonas impares tienen una contribución aditiva. La potencia de recepción es la suma de todas las contribuciones; las amplitudes de estas contribuciones disminuyen a medida que se incrementa el orden n . Las zonas de Fresnel aportan una intensidad de campo proporcional a la superficie de la zona y a un factor de oblicuidad. A causa de este factor el aporte de cada zona disminuye con el orden de la zona. En conjunto el aporte combinado desde la zona 2 en adelante es sólo la mitad del aporte de la primera zona.

2.II-C.2 Bandas de frecuencia en microondas

Las antenas de microondas trabajan en el rango de frecuencia comprendido entre 1GHz y 300GHz [8]. Este rango de frecuencias se encuentra dividido en tres categorías:

- UHF: Ultra alta frecuencia (Ultra High Frequency). Esta categoría abarca desde 300MHz hasta 3GHz.
- SHF: Súper alta frecuencia (Super High Frequency). En este caso se abarca las frecuencias entre 3GHz y 30GHz.
- EHF: Extremadamente alta frecuencia (Extremely High Frequency). Por último esta categoría responde al rango comprendido entre 30GHz y 300GHz [5,8].

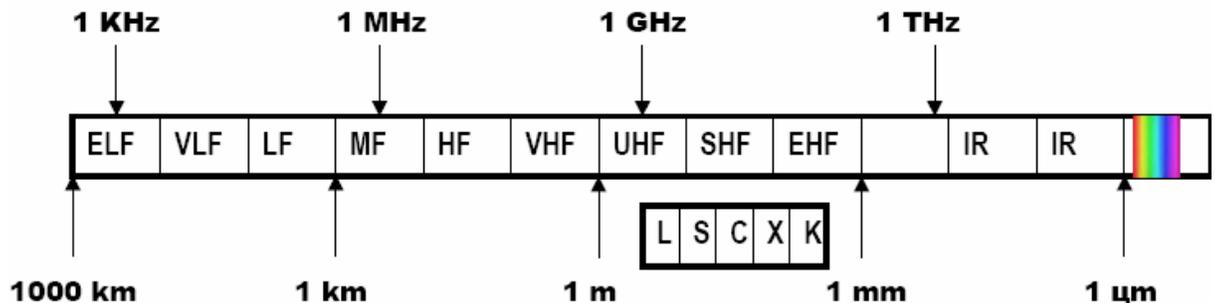


Figura 2.7 Diagrama del espectro

Si bien el rango de frecuencias en microondas es bastante amplio, en el proyecto se utilizan enlaces de frecuencias desde 700MHz hasta 30GHz. Esta restricción viene dada por la norma que se utiliza como referencia para los cálculos, UIT-R P.452-11 [1].

2.III PROPAGACIÓN DE INTERFERENCIA

El espectro radioeléctrico es un recurso natural y limitado. La congestión de este espectro radioeléctrico ha determinado la necesidad de compartir muchas bandas de frecuencias de microondas entre diferentes servicios radioeléctricos y entre las diferentes entidades de servicios similares. Para garantizar la coexistencia satisfactoria de los sistemas terrenos y terreno-espaciales existentes, es importante estar en condiciones de predecir con una precisión razonable la interferencia potencial que pueda existir entre ellos, utilizando procedimientos y modelos de predicción aceptables a todas las partes implicadas, y de precisión y fiabilidad demostradas [25].

Pueden existir muchos tipos y combinaciones de trayectos de interferencia entre estaciones situadas en la superficie de la Tierra, siendo precisos métodos de predicción para cada situación. Este proyecto en particular aborda uno de los grupos de problemas de interferencia más importantes, a saber el de las situaciones en las que hay posibilidad de interferencia entre estaciones radioeléctricas de microondas ubicadas en la superficie de la Tierra.

La propagación de la interferencia en microondas puede presentarse mediante diversos mecanismos y el predominio de cualquiera de ellos depende de factores tales como el clima, la distancia y la topografía del trayecto. En cualquier momento puede darse un único mecanismo o más de uno. A continuación se presentan los principales mecanismos de propagación de la interferencia [1]:

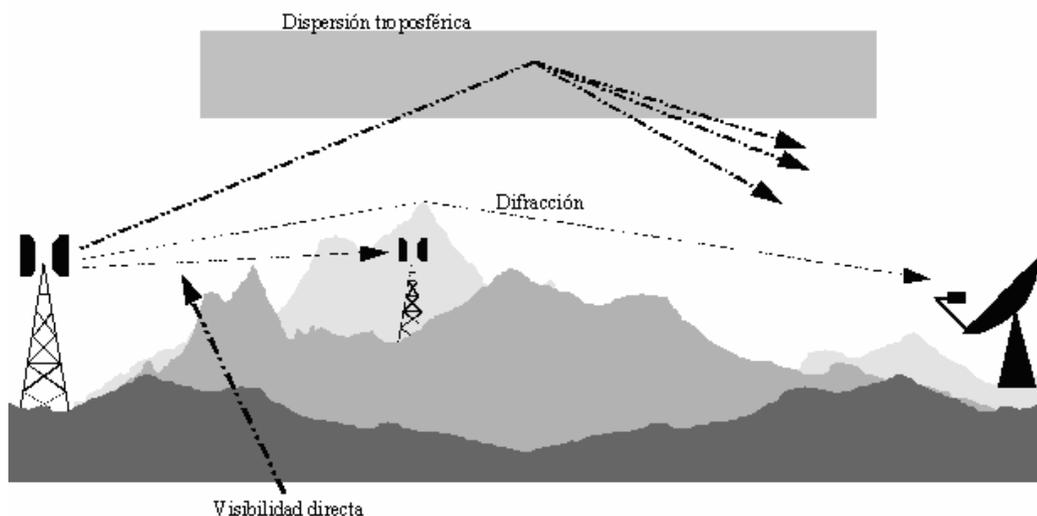


Figura 2.8 Mecanismos de propagación de la interferencia

i) *Visibilidad directa* (figura 2.8): El mecanismo más directo de propagación de la interferencia es aquel en que existe un trayecto de visibilidad mutua en condiciones atmosféricas de equilibrio. Este mecanismo de propagación de interferencia es el que se analiza en este proyecto.

ii) *Difracción* (figura 2.8): A partir de la situación de visibilidad directa y en condiciones normales, los efectos de difracción suelen ser dominantes cuando aparecen niveles significativos de la señal. La difracción aparece por varios motivos, entre los cuales los más importantes son los obstáculos y la propia atmósfera, debiendo tenerse en cuenta los días húmedos.

iii) *Dispersión troposférica* (figura 2.8): Este mecanismo define el nivel de interferencia para trayectos más largos (por ejemplo, 100-150 km) en los que el campo de difracción se hace muy débil. No obstante, con excepción de algunos pocos casos especiales en los que intervienen estaciones terrenales sensibles o fuentes de interferencia de muy alta potencia (por ejemplo, sistemas de radar), la interferencia a través del mecanismo de dispersión troposférica tendrá un nivel demasiado reducido como para ser considerado significativo.

iv) *Propagación por conductos de superficie* (figura 2.9): Éste es el mecanismo de interferencia de corta duración más importante sobre el agua y en zonas de tierra costeras planas, y puede dar lugar a niveles de señal elevados en distancias largas (más de 500 km sobre el mar).

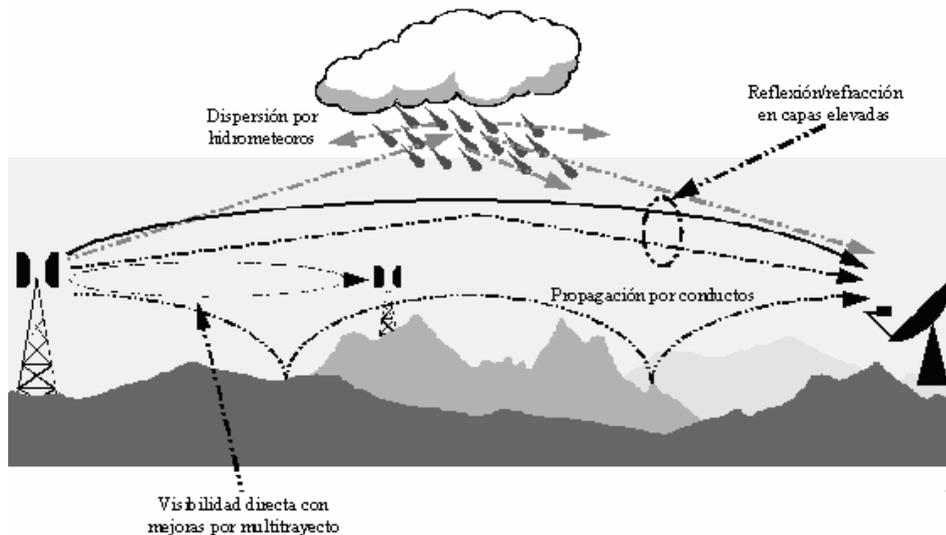


Figura 2.9 Mecanismos de propagación de la interferencia (corta duración)

v) *Reflexión y refracción en capas elevadas* (figura 2.9): El tratamiento de la reflexión y/o la refracción en capas de alturas de hasta algunos cientos de metros tiene gran importancia pues estos mecanismos pueden hacer que las señales superen las pérdidas de difracción del terreno en situaciones favorables de

geometría del trayecto. Una vez más, la repercusión puede ser significativa en distancias bastante largas (hasta 250-300 km).

vi) *Dispersión por hidrometeoros* (figura 2.9): La dispersión por hidrometeoros puede ser una fuente potencial de interferencia entre transmisores de enlaces terrenales y estaciones terrenas porque puede actuar prácticamente de forma omnidireccional y por tanto, puede tener una repercusión más allá del trayecto de interferencia del círculo máximo. No obstante, los niveles de señal de interferencia son bastante reducidos y no suelen representar un problema significativo.

Un problema fundamental en la predicción de la interferencia es la dificultad de establecer un conjunto coherente y unificado de métodos prácticos, que abarquen lo que ocurre en la atmósfera real. En ésta, un mecanismo que predomina se mezcla gradualmente con otro a medida que cambian las condiciones meteorológicas y/o del trayecto. Especialmente en estas regiones de transición, puede producirse un nivel determinado de señal durante un porcentaje del tiempo total que se deba a la suma de los distintos mecanismos.

En este proyecto se estima la interferencia que se propaga según el modelo de visibilidad directa ya que es el más relevante de todos y permite despreciar topografías del terreno, condiciones climáticas o del día o mes más desfavorable.

2.IV PROPAGACIÓN EN ESPACIO LIBRE

En las hipótesis de campo lejano se cumple la Ecuación de Friis que relaciona la potencia transmitida con la potencia recibida para dos antenas separadas por una distancia d [10, 13].

2.IV-A Atenuación en espacio libre

Si la antena emisora es isotrópica la potencia emitida por unidad de área de la superficie de una esfera (densidad de potencia) es [10]:

$$P_d = \frac{P_t}{4\pi d^2} \quad \text{Ec. 2.2}$$

donde P_t es la potencia transmitida por la antena y d es la distancia entre las antenas.

El área efectiva de una antena receptora se define como la superficie del frente de onda plano con densidad de potencia P_d que dispone de una potencia equivalente a la entregada por la antena. Para la antena isotrópica el área eficaz es:

$$Ae = \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad \text{Ec. 2.3}$$

donde λ es la longitud de onda del campo radioeléctrico. Relacionando ambos elementos se dispone de la potencia de recepción P_r en función de la P_t para antenas isotrópicas:

$$P_r = Ae.P_d \Rightarrow P_r = P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad \text{Ec. 2.4}$$

La potencia recibida es inferior a la transmitida debido a la imposibilidad de captar toda la potencia generada. Se puede expresar como una atenuación (por la propagación en el espacio libre de obstáculos) entre antenas isotrópicas. De acuerdo con el UIT-R Rec. 525 y Rec. 341 el valor de la atenuación por espacio libre se expresa como:

$$A_0 = 10 \cdot \log \left(\frac{P_t}{P_r} \right) = 32,5 \text{ dB} + 20 \cdot \log(f \cdot d) \quad \text{Ec. 2.5}$$

con la frecuencia f en MHz, la distancia d en Km y la atenuación A_0 en dB.

2.IV-B Atenuaciones adicionales

La propagación atmosférica, como ya se describe en 2.III, produce atenuaciones ocasionadas por diferentes efectos [10]:

- refracción en la atmósfera (levantamiento del horizonte);
- difracción por zonas de Fresnel (atenuación por obstáculos);
- atenuación por reflexiones en el terreno;
- desvanecimiento por múltiple trayectoria (formación de ductos);
- absorción por arboledas cercanas a la antena;
- absorción por gases o hidrometeoros (lluvia, nieve, etc);
- dispersión de energía debido a precipitaciones;
- desacoplamiento de la polarización de la onda.

2.IV-C Ecuación de Friis

La ecuación de Friis para el haz directo tiene la forma [1, 14]:

$$P_r = P_t \frac{G_r G_t \lambda^2}{(4\pi d)^2} \quad \text{Ec. 2.6}$$

donde P_r es la potencia recibida, P_t es la potencia transmitida, G_r es la ganancia de la antena receptora, G_t es la ganancia de la antena transmisora, λ es la longitud de onda y d es la distancia entre transmisor y receptor. En este caso se consideran ideales el resto de las pérdidas.

Para incluir las pérdidas ocasionadas por la polarización, se agrega el factor $|\rho_t \rho_r|^2$. Las pérdidas debidas a la desadaptación de impedancias en la antena se pueden incluir tanto en la antena receptora como en la transmisora como $(1 - |\Gamma_t|)^2 (1 - |\Gamma_r|)^2$. De esta manera, la ecuación de Friis se puede describir como:

$$P_r = P_t \frac{G_r G_t \lambda^2}{(4\pi d)^2} |\rho_t \rho_r|^2 (1 - |\Gamma_t|)^2 (1 - |\Gamma_r|)^2 \quad \text{Ec. 2.7}$$

A los efectos de simplificar los cálculos anteriores se puede considerar que las antenas se encuentran perfectamente acopladas en impedancia.

Considerando que las antenas trabajan con polarización vertical u horizontal, se puede considerar dos posibilidades en cuanto al cálculo de la potencia de recepción de una antena:

- i) Las antenas trabajan en la misma polarización; es decir, la antena transmisora y la receptora tienen la misma polarización.
- ii) Las antenas trabajan con distinta polarización; es decir, una de ellas tiene polarización vertical y la otra polarización horizontal.

Considerando los parámetros de las antenas presentados en la sección 2.II de este capítulo, en el primer caso la potencia que recibirá una antena viene dada por dos fuentes:

- Las antenas al trabajar en una misma polarización, la señal transmitida por una de ellas es directamente recibida por la otra. Por tanto, la potencia de recepción de la ecuación 2.7 obtenida en dB es:

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_o \quad \text{Ec. 2.8}$$

Donde L_0 es la pérdida de espacio libre $L_0 = 20 \log \left[\frac{4\pi d_{km} f_2}{c} \right]$.

- Debido a la no idealidad de las antenas, la antena trasmisora puede transmitir en su polarización opuesta con un factor de polarización cruzada (C_t), y la antena receptora debido al mismo efecto puede recibir esta señal y volverla a pasar a su polarización horizontal con un factor de polarización cruzada (C_r). Por tanto la potencia de recepción en este caso de considerar estas no idealidades se obtiene:

$$P_r = P_t + G_t + G_r - C_t - C_r - L_0 \quad \text{Ec. 2.9}$$

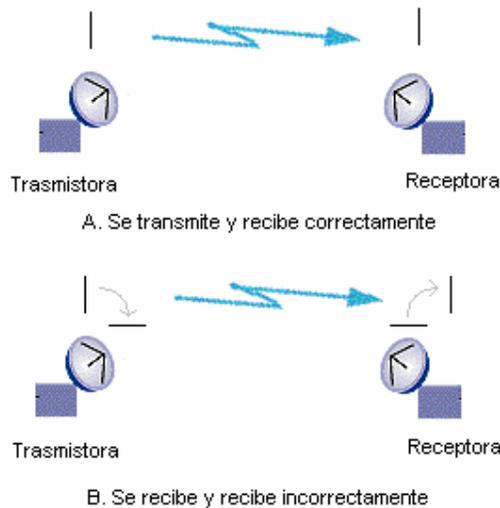


Figura 2.10 Señal RF para antenas con misma polarización

Entonces para obtener la potencia de recepción en la antena, en la configuración de la figura 2., se debe sumar estos dos casos considerados, obteniendo:

$$P_r = P_t + G_t + G_r - C_t - C_r - L_0 + 10 \log \left[1 + 10^{\frac{C_t + C_r}{10}} \right] \quad \text{Ec. 2.10}$$

Los factores de polarización cruzada para las antenas microondas son mayores de 20dB. Por lo tanto, el último término de la ecuación 2.13 se puede aproximar a:

$$10 \log \left[1 + 10^{\frac{C_t + C_r}{10}} \right] \approx 10 \log \left(10^{\frac{C_t + C_r}{10}} \right) = C_t + C_r \quad \text{Ec. 2.11}$$

Entonces, la potencia de recepción que se obtiene en el caso de que las antenas trabajen en la misma polarización es:

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_o \tag{Ec. 2.8}$$

Se puede concluir que en este caso, el efecto producido por la no idealidad de las antenas, representado por sus factores de polarización cruzada, es despreciable. Por lo tanto, cuando se halle la potencia de recepción de una antena desde otra que transmite a la misma polarización, sólo se considerará el cálculo del primer caso, cuando transmite y recibe directamente.

Por otro lado, si las antenas trabajan en distinta polarización, la potencia recepción sobre la antena se puede dar según estos dos casos:

- La antena transmisora transmite en la misma polarización y la antena receptora cambia la polarización debido a la polarización cruzada (C_r) que ésta tiene, como se observa en la figura 2.11, obteniendo:

$$P_r = P_t + G_t + G_r - C_r - L_o \tag{Ec. 2.12}$$

- La antena transmisora por el efecto de polarización cruzada transmite en su polarización opuesta, y la antena receptora recibe en la misma polarización, obteniendo:

$$P_r = P_t + G_t + G_r - C_r - L_o \tag{Ec. 2.13}$$

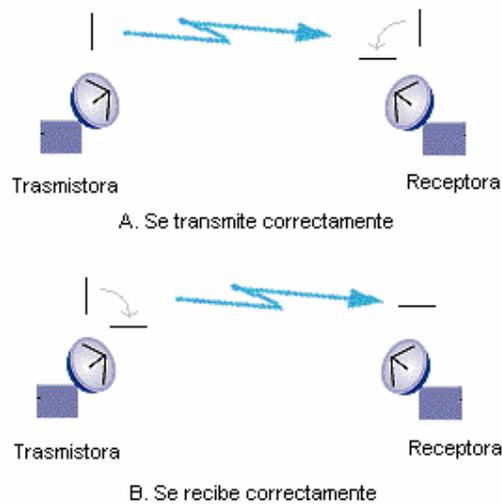


Figura 2.11 Señal RF para antenas con distinta polarización

Considerando estos dos casos, la potencia de recepción obtenida es:

$$P_r = P_t + G_t + G_r - C_t - C_r - L_o + 10 \log \left(10^{\frac{C_t}{10}} + 10^{\frac{C_r}{10}} \right) \quad \text{Ec. 2.14}$$

Entonces, en el caso de trabajar en distinta polarización no se puede despreciar los factores de polarización cruzada de las antenas.

A modo de conclusión, en el resto de este proyecto se considera que la señal interferente de una antena se calcula según la ecuación 2.8, para el caso de trabajar en misma polarización, y según la ecuación 2.14 en el caso de trabajar en distinta polarización.

2.V MARCO REGULATORIO

Un tema importante dentro del análisis de interferencias entre enlaces, es el marco regulatorio. El marco regulatorio está constituido por leyes establecidas por organismos internacionales o propios de cada país que establecen reglamentos a fin de controlar el sistema de telecomunicaciones. En Uruguay este organismo es la URSEC (Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones) la cual reglamenta en su conjunto el área de las telecomunicaciones. A continuación se enuncian dos reglamentos donde se describen temas de interés para el proyecto de análisis de interferencia. Estos son [26, 27]:

- Reglamento de licencias de telecomunicaciones.
- Reglamento del uso del espectro radioeléctrico

Estos reglamentos permiten la coordinación y el control del espectro radioeléctrico para lograr un uso eficiente del mismo. Este control permite la coexistencia de las diferentes entidades de explotación de servicios radioeléctricos similares.

A continuación se realiza un breve resumen de los reglamentos antes mencionados.

2.V-A Reglamento de licencias de telecomunicaciones

Para poder hacer uso de las bandas del espectro, se necesita tener autorización de parte del Poder Ejecutivo en la mayoría de los sistemas de telecomunicaciones. Esta autorización es llamada *licencia*.

Como se analiza en este reglamento, hay varias restricciones para el otorgamiento de una *licencia* y entre ellas se encuentra la garantía de no interferir en los sistemas de telecomunicaciones existentes.

2.V-B Reglamento de administración y control del espectro radioeléctrico

Establece los criterios generales utilizados para realizar la administración y control del espectro radioeléctrico del Uruguay, con el fin de tener un uso eficiente del mismo.

El objetivo de este reglamento es:

- propiciar el uso eficiente del espectro radioeléctrico procurando limitar el número de frecuencias y la extensión del espectro utilizado, para asegurar el funcionamiento satisfactorio de los servicios y sistemas;
- promover el uso del espectro radioeléctrico como factor de desarrollo económico y social;
- propiciar el acceso equitativo a los recursos radioeléctricos, mediante procedimientos abiertos, transparentes y no discriminatorios;
- promover el desarrollo y la utilización de nuevos servicios radioeléctricos, redes y tecnologías y el acceso a ellos de todos los ciudadanos, impulsando la aplicación a la mayor brevedad posible de los últimos adelantos de la técnica;
- contribuir a la planificación estratégica del sector de las telecomunicaciones.

En los apéndices de esta documentación se encuentran estos reglamentos en forma más completa, específicamente capítulos que son relevantes para este proyecto.

Capítulo 3

Análisis de interferencia para dos enlaces

Resumen— En este capítulo se desarrolla el análisis de interferencias en campo lejano. En este caso se consideran dos antenas pertenecientes a distintos enlaces y se calculan las señales interferentes entre ellas, tomando algunas estimaciones que se explican a lo largo del capítulo. También se hace una introducción a Matlab, lenguaje de programación utilizado, y un ejemplo de cálculo para la mejor comprensión del mismo.

3.1 CONSIDERACIONES PREVIAS

TODO producto final requiere la realización de una primera aproximación. En este proyecto, el caso más simple es considerar dos antenas pertenecientes a dos enlaces diferentes, ubicadas en una determinada zona geográfica, tomando un punto en el espacio como origen de coordenadas y considerando la ubicación de las antenas en coordenadas cartesianas.

Luego de investigada la teoría existente en el tema de interferencias, se comenzó a pensar cómo calcular la interferencia de una antena sobre otra no perteneciente a su enlace. Se hicieron varias teorías, acerca de qué parámetros, qué planos de transmisión, y qué patrones de radiación considerar. Algunas hipótesis fueron claras desde el comienzo, como por ejemplo las siguientes consideraciones: la transmisión se produce en microondas, los enlaces son de línea vista, la atenuación principal es la debida al espacio libre, las antenas son direccionales, etc. No fue tan sencillo, sin embargo, precisar los planos de transmisión, la determinación de las ubicaciones de las antenas, las direcciones de propagación, y el estado de los diagramas de radiación entre otras cosas.

El resultado de esta etapa fue un programa en Matlab que analiza la interferencia entre dos antenas realizando una serie de consideraciones para su cálculo, que serán explicadas a continuación.

Al finalizar esta etapa se encontró que algunas de las consideraciones tomadas en cuenta no eran las más acertadas, por eso será importante nombrarlas y dejar en claro cuáles son en este capítulo. Por este motivo también, no se realizó la versión de esta etapa en Java, como se había pensado, ya que pareció más importante corregir estos temas en la versión con múltiples enlaces.

Algunas consideraciones de esta versión del SW son: los datos proporcionados de los patrones de antenas se suponen de revolución considerando como eje de revolución a la dirección de máxima

ganancia de la antena; los ángulos considerados en los patrones son siempre desde 0 a 360°. Los datos de entrada tomados en consideración para el programa realizado en esta etapa son los siguientes parámetros de cada antena: frecuencia a la que transmite, ubicación en el plano horizontal respecto a eje x y eje y, altura relativa a algún punto en común de las antenas, tipo de polarización, direccionamiento en el plano horizontal y en el vertical, ángulo de máxima ganancia del patrón, polarización cruzada, potencia de transmisión, umbral de interferencia mínima y patrones de polarización o valores promedios en torno al valor que se desea interpolar.

3.II CÁLCULO DE LA INTERFERENCIA

Considerando un enlace punto a punto, el cual está formado por dos antenas que se están comunicando con otras dos antenas como muestra la figura 3.1, se analiza la interferencia causada por la antena 1 sobre la antena 2 y la interferencia causada por la antena 2 sobre la antena 1.

Dado que ambos cálculos son semejantes se describe en detalle solamente el primer caso. A la antena 1 se le llamará antena interferente y a la antena 2 antena interferida.

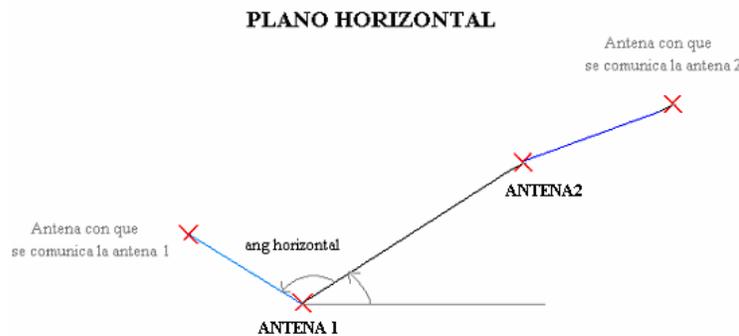


Figura 3.1 Antenas 1 y 2

A partir de la ecuación de Friis se debe hallar la potencia que recibe la antena interferida, en este caso la antena 2, como ya se analizó en el capítulo 2.

En teoría, si una antena se comunica con una determinada polarización no podría transmitir ni recibir señal con una polarización cruzada a aquella con la que está trabajando. Pero, debido a que las antenas no son ideales, las antenas transmiten y reciben parte de la señal con polarización opuesta a la que les corresponde. El fabricante proporciona el parámetro de “crosspolarization” o polarización cruzada que indica cuánto menos de la ganancia de la antena se transmite en la polarización opuesta.

Se pueden diferenciar dos casos para el cálculo de la ecuación de Friis, según las antenas transmitan con igual o distinta polarización.

Si tienen la misma polarización, la potencia recibida por la antena 2 viene dada por:

$$P_{recib2} = -20 \log \left(\frac{4\pi df}{c} \right) + G_1 + G_2 + P_{TX1} \quad (\text{dB}) \quad \text{Ec. 3.1}$$

Donde:

- P_{recib2} : es la potencia recibida por la antena 2 (dBm).
- d : distancia entre las antenas (km).
- f : frecuencia a la cual trabaja el enlace (Hz).
- c : velocidad de la luz en km/s ($3.0 \times 10^5 \text{ km/s}$).
- G_1 : ganancia de la antena 1 (dBi).
- G_2 : ganancia de la antena 2 (dBi).
- P_{TX1} : potencia transmitida por la antena 1 (dBm)

En el caso de que las antenas se comuniquen con polarizaciones diferentes, existen dos posibilidades: que la antena 1 transmita con polarización horizontal y la antena 2 vertical, o viceversa.

Por ejemplo, en el caso de que la antena 1 transmita horizontalmente con una ganancia G_1 , estará transmitiendo verticalmente con una ganancia $G_1 - C_1$. Ocurre lo mismo en cuanto a la antena receptora: si ésta recibe con polarización vertical, entonces recibirá horizontalmente una ganancia $G_2 - C_2$.

Por tanto, la potencia total recibida por la antena 2 viene dada por dos fuentes:

En el primer caso, la antena 1 de polarización horizontal, transmite verticalmente ($G_1 - C_1$) debido a las imperfecciones mencionadas y la antena 2 recibe correctamente (polarización vertical) esta señal emitida verticalmente por la antena 1. Por tanto, la potencia recibida será:

$$P_{(r2)1} = -20 \log \left(\frac{4\pi df}{c} \right) + G_1 - C_1 + G_2 + P_{TX1} \quad \text{Ec. 3.2}$$

El segundo caso surge a raíz de que la antena 1 transmita correctamente (polarización horizontal) y la antena 2 debido a las imperfecciones de recepción, reciba horizontalmente con una ganancia $G_2 - C_2$. Entonces, la potencia de recepción viene dada por:

$$P_{(r2)2} = -20 \log \left(\frac{4\pi df}{c} \right) + G_1 + G_2 - C_2 + P_{TX1} \quad \text{Ec. 3.3}$$

Se obtiene la potencia total de recepción, como la suma de las potencias recibidas:

$$P_{r2} = P_{(r2)1} + P_{(r2)2} = -20 \log \left(\frac{4\pi df}{c} \right) + G_1 + G_2 - C_1 - C_2 + P_{TX1} + 10 \log \left(10^{\frac{C_1}{10}} + 10^{\frac{C_2}{10}} \right)$$

Ec. 3.4

Luego se establece que la antena 1 está interfiriendo a la antena 2, si cumple la siguiente desigualdad:

$$P_{recibida2} > I_{máx adm}$$

Ec. 3.5

Es decir, la antena 1 interfiere a la antena 2 si supera un determinado umbral de interferencia máxima admitida, que es determinado por el usuario del programa. Este umbral puede ser proporcionado por el fabricante del enlace, ya que depende de las características del mismo y del tipo de comunicación que se desee establecer en él.

3.II-A Cálculo de ganancias G_1 y G_2

Para poder implementar las ecuaciones anteriores resta calcular las ganancias G_1 y G_2 . Donde G_1 es la ganancia de la antena 1 en la dirección de la antena 2 y G_2 es la ganancia de la antena 2 en la dirección de la antena 1.

Analíticamente, se debe ubicar la ganancia de cada antena a partir del patrón de radiación de la antena en forma tridimensional. Dado que no se dispone de la expresión analítica del patrón, se utiliza un método alternativo.

Partiendo de que las antenas tienen un diagrama de radiación de revolución en torno a la dirección de máxima ganancia, y se dispone del mismo en forma de tabla con los valores de las ganancias para distintos ángulos en relación al direccionamiento de la antena, se calculan los ángulos de las antenas en la dirección de la otra antena. Para obtener este ángulo de direccionamiento a partir de los datos que se tienen, se calculan las proyecciones de este ángulo sobre el plano horizontal y vertical y luego se realiza una aproximación entre ambos.

Una vez obtenido este ángulo de direccionamiento, se obtiene la ganancia en el patrón de radiación. En caso de no encontrarse el valor del ángulo deseado, se obtiene la ganancia buscada, por medio de una interpolación de primer orden, lineal.

3.II-A.1 Cálculo del ángulo correspondiente a la proyección del patrón sobre el plano horizontal.

En primer lugar, se proyecta la dirección de la antena 1 a la antena 2 sobre el plano horizontal, y se halla el ángulo formado por esta dirección con la dirección de máxima ganancia de la antena 1.

Uno de los datos que se conoce de la antena es el ángulo de máxima ganancia, que está dado por la dirección entre ella y la otra antena con la que está comunicándose en un enlace punto a punto. Este direccionamiento se da con dos ángulos, que son su proyección horizontal y vertical.

Considerando en el plano horizontal el eje x como referencia, se calcula el ángulo desde la dirección de la antena 1 a la 2 con respecto al eje x del plano horizontal.

Considerando el plano x-y existen varios casos posibles para hallar este ángulo, dependiendo en qué posición se encuentre la antena 2 respecto a la antena 1.

- Si $x_2 > x_1$ y $y_2 > y_1$:

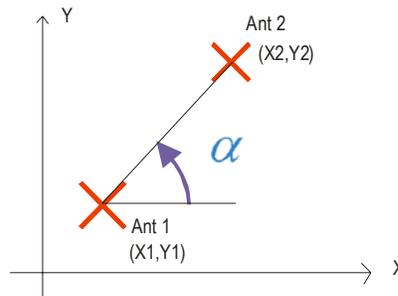


Figura 3.2 Ángulo alfa de 1 a 2

En el caso de la figura 3.2, se puede observar que el ángulo de direccionamiento de la antena 1 hacia la antena 2 viene dado por la siguiente ecuación:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}\right) \tag{Ec. 3.6}$$

- Si $x_1 > x_2$ y $y_2 > y_1$ ó $x_1 > x_2$ y $y_1 > y_2$ se cumple:

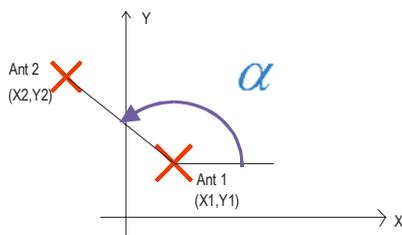


Figura 3.3 Ángulo alfa

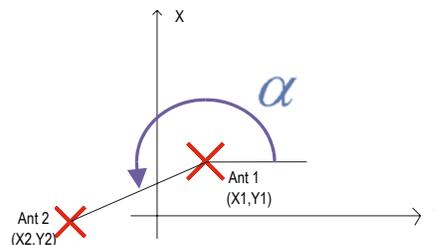


Figura 3.4 Ángulo alfa

$$\alpha = \arctan\left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}\right) + 180^\circ$$

- Si $x_2 > x_1$ y $y_1 > y_2$ se cumple:

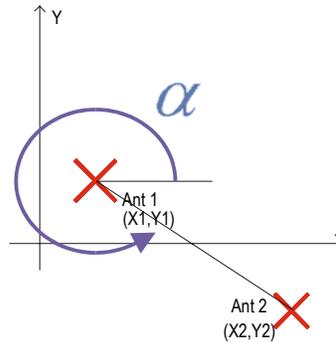


Figura 3.5 Ángulo alfa

$$\alpha = \arctan\left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}\right) + 360^\circ$$

Se halla entonces el ángulo horizontal buscado como:

$$ang_horizontal = \alpha - ang_dir_horizontal \tag{Ec. 3.7}$$

Como tomamos ángulos comprendidos entre 0 y 360°, si ocurre que este resultado sea menor que cero, se corrige sumándole a lo obtenido, 360°. Si es mayor que 360°, se corrige restándole 360°.

3.II-A.2 Cálculo del ángulo correspondiente a la proyección del patrón sobre el plano vertical

Análogamente al caso anterior, se debe hallar el ángulo vertical que sea la proyección de la dirección de una antena a la otra sobre el plano vertical. El plano vertical considerado es el plano ortogonal al plano horizontal y que contiene las dos antenas.

En primer lugar, se busca el ángulo vertical de una antena a la otra, ahora con respecto al eje del plano vertical. Sobre este eje se estima la distancia vertical entre las antenas como lo dice la ecuación 3.8:

$$d_{horizontal} = \sqrt{((x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2)} \tag{Ec. 3.8}$$

Tomando como referencia la antena 1 se pueden distinguir también varios casos según la ubicación de la antena 2.

- Si $h_2 > h_1$:

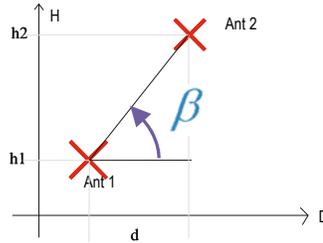


Figura 3.6 Ángulo beta

Se obtiene:

$$\beta = \arctan\left(\frac{h_2 - h_1}{d_{horizontal}}\right) \tag{Ec. 3.9}$$

- Si $h_1 > h_2$:

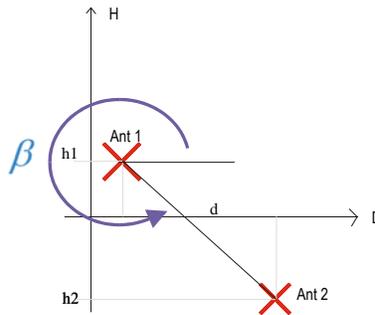


Figura 3.7 Ángulo beta

En este caso se obtiene:

$$\beta = \arctan\left(\frac{h_2 - h_1}{d_{horizontal}}\right) + 360$$

Se halla entonces el ángulo buscado como:

$$ang_vertical = \beta - ang_dir_vertical \quad \text{Ec. 3.10}$$

Si ocurre que este resultado sea menor que cero, se corrige sumándole a lo obtenido, 360: si es mayor que 360°, se corrige restándole 360°.

3.II-A.3 Aproximación al valor de la ganancia

A partir de los ángulos obtenidos se estima el ángulo de la ganancia de la antena 1 a la antena 2 por medio de una aproximación no lineal entre los ángulos, como:

$$ang_{dirección} = \arctan \sqrt{((\tan(ang_horizontal))^2 + ((\tan(ang_vertical))^2)} \quad \text{Ec. 3.11}$$

Se observa que si uno de los ángulos de las proyecciones es mucho menor que el otro, el resultado es representativo del mayor. Es decir que, por ejemplo, si dos antenas están a una distancia horizontal de 10 metros y a una diferencia de alturas de 50 metros, influirá más en el cálculo la ganancia calculada en el plano vertical. En cambio si la distancia entre antenas es 30 km y tienen una diferencia de alturas relativa a algún punto en común de 60 metros, es claro que tendrá más influencia el cálculo en el plano horizontal.

Del ángulo calculado se tiene la dirección desde la máxima ganancia de la antena 1 a la dirección de la antena 2.

Los patrones de radiación considerados para el programa de este capítulo, poseen las ganancias de radiación de la antena para cada ángulo con respecto a la dirección de otra antena. Para saber ubicar estos ángulos, se toma el parámetro *ángulo de máxima ganancia del patrón* y se ubica el ángulo de direccionamiento a la otra antena en el patrón de la siguiente manera:

$$ang_G = ang_{dirección} + ang_{max\ gan_patron} \quad \text{Ec. 3.12}$$

En el caso de no disponer de los ángulos en el patrón, se realiza una interpolación lineal.

3.III PRIMERA ETAPA EN MATLAB

A continuación se describe el lenguaje de programación que se utiliza en esta primera etapa del proyecto, donde se realiza un programa en Matlab que lleva a cabo los cálculos detallados en la sección 3.II. También se especifica un ejemplo de cálculo y una reseña de la interfaz usuario de este programa.

3.III-A Entorno Matlab

MATLAB es un entorno de desarrollo de aplicaciones totalmente integrado, orientado para llevar a cabo proyectos en donde se encuentren implicados elevados cálculos matemáticos y la visualización gráfica de los mismos.

MATLAB nace como una solución a la necesidad de mejores y más poderosas herramientas de cálculo para resolver problemas de cálculos complejos en los que es necesario aprovechar las capacidades de procesamiento de datos de los computadores.

Hoy es usado en una variedad de áreas de aplicación, incluyendo procesamiento de señales e imágenes, diseño de sistemas de control, ingeniería financiera e investigación. La arquitectura abierta facilita usar MATLAB y los productos que lo acompañan, para explorar datos y crear herramientas personalizadas que proveen ventajas competitivas.

El lenguaje flexible e interactivo de MATLAB permite a ingenieros y científicos expresar sus ideas técnicas con simplicidad. Los poderosos y amplios métodos de cómputos numéricos y gráficos permiten la prueba y exploración de ideas alternativas con facilidad, mientras que el ambiente de desarrollo integrado posibilita la obtención de resultados prácticos.

3.III-B Ejemplo de cálculo

Para un mejor entendimiento de esta primera etapa del programa, a continuación se muestra un ejemplo típico y la descripción de sus cálculos.

Supongamos que se quiere realizar el análisis de interferencia de un enlace en el cual participan antenas con los siguientes requerimientos:

Antena 1		Antena 2	
Frecuencia (kHz)	2000	Frecuencia (kHz)	2000
Ubicación en el eje x (km)	0	Ubicación en el eje x (km)	50
Ubicación en el eje y (km)	0	Ubicación en el eje y (km)	50
Altura relativa a la otra antena (z) (km)	0.04	Altura relativa a la otra antena (z) (km)	0.03
Ángulo de máxima propagación en eje xy (°)	80	Ángulo de máxima propagación en eje xy (°)	245
Ángulo de máxima propagación en eje yz (°)	0	Ángulo de máxima propagación en eje yz (°)	0
Tipo de polarización	Horizontal	Tipo de polarización	Vertical
Crosspolarization (dB)	30	Crosspolarization (dB)	30
Potencia de transmisión (dBm)	5	Potencia de transmisión (dBm)	3
Umbral de recepción (dB)	-50	Umbral de recepción (dB)	-100
Ángulo de máxima ganancia (°)	180	Ángulo de máxima ganancia (°)	180

Tabla 3.1 Datos de antenas

Patrón antena 1		Patrón antena 2	
Angulo (°)	Ganancia (dBi)	Angulo (°)	Ganancia (dBi)
0	0	0	0
45	2	45	4
90	6	90	5
125	8	125	10
150	25	150	12
180	45	180	45
210	25	210	12
235	8	235	10
270	6	270	5
315	2	315	4
360	0	360	0

Tabla 3.2 Patrones de antenas

Lo primero a calcular es la distancia entre las antenas:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (h_2 - h_1)^2} = 70.7 \text{ km} \cong d_{horizontal}$$

El ángulo que forman las antenas con respecto al eje x es:

$$\alpha_{12} = \arctan\left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}\right) = 45^\circ$$

El ángulo desde la dirección de máxima ganancia de la antena 1 hacia la antena 2 es:

$$ang_horizontal_{12} = \alpha_{12} - ang_dir_horizontal_1 = 45 - 80 + 360 = 325^\circ$$

El ángulo que forman las antenas con respecto al eje y es:

$$\beta_{12} = \arctan\left(\frac{h_2 - h_1}{d_{horizontal}}\right) = 0.008^\circ$$

El ángulo vertical desde la dirección de máxima ganancia de la antena 1 hacia la antena 2 es:

$$ang_vertical_{12} = \beta_{12} - ang_dir_vertical_1 = 0.008^\circ$$

Vemos que el ángulo vertical es despreciable frente al horizontal.

Considerando que el ángulo del patrón para la máxima ganancia es 180°, se tiene:

$$ang_{G12} = ang_{direccion12} + ang_{max\ gan_patron} = 325 + 180 - 360 = 145^\circ$$

En la antena 1, el patrón no tiene valores para 145° , por lo que se realiza una interpolación entre valores más próximos, por lo tanto se obtiene:

$$G_{ant1_145^\circ} = G_{125^\circ} + \left(\frac{G_{150} - G_{125}}{ang_{150} - ang_{125}} \right) (ang_{145} - ang_{125}) = 21.6\ dB$$

De forma análoga para la antena 2, se obtiene:

$$ang_horizontal_{21} = \alpha_{21} - ang_dir_horizontal_2 = 45 + 180 - 245 + 360 = 340^\circ$$

$$ang_{G21} = ang_{direccion21} + ang_{max\ gan_patron} = 340 + 180 - 360 = 160^\circ$$

$$G_{ant2_160^\circ} = G_{150^\circ} + \left(\frac{G_{180} - G_{150}}{ang_{180} - ang_{150}} \right) (ang_{160} - ang_{150}) = 23\ dB$$

Las antenas tienen polarizaciones distintas por lo que la potencia recibida en la antena 2 es:

$$P_{r2} = -20 \log \left(\frac{4\pi df}{c} \right) + G_1 - C_1 + G_2 - C_2 + 10 \log \left(10^{\frac{C_1}{10}} + 10^{\frac{C_2}{10}} \right) + P_{TX1} = -52.8\ dB$$

Como se puede apreciar, la potencia de recepción interferente ($-52.8\ dB$) es mayor al umbral de potencia de recepción de la antena 2, $-100\ dB$, por lo que la antena 1 está interfiriendo a la antena 2.

El cálculo de interferencia desde la antena 2 hacia la antena 1 es similar, y el resultado de la potencia receptada por la antena 1 debido a la antena 2 es:

$$P_{r1} = -20 \log \left(\frac{4\pi df}{c} \right) + G_1 - C_1 + G_2 - C_2 + 10 \log \left(10^{\frac{C_1}{10}} + 10^{\frac{C_2}{10}} \right) + P_{TX2} = -54.8\ dB$$

En este caso, la antena 2 no interfiere a la antena 1 ya que el umbral de potencia de recepción de la antena 1 es $-50\ dB$.

3.III-C Procedimiento de ejecución del programa

Para un correcto funcionamiento se deben realizar los siguientes pasos:

1. Extraer archivo Proyecto antenas v 1-2.zip en un nuevo directorio de la computadora.
2. Abrir Matlab (versión 6.5, con herramientas de imágenes).
3. Cambiar el Path (ruta) de Matlab hacia la carpeta creada en el paso 1.
4. En este instante se debe generar los archivos de entrada, o utilizar los ejemplos que se poseen.
5. Ejecutar desde la consola de Matlab el archivo *present_pri_entregable.m*
6. Debe aparecer una ventana similar a la de la figura 3.8.

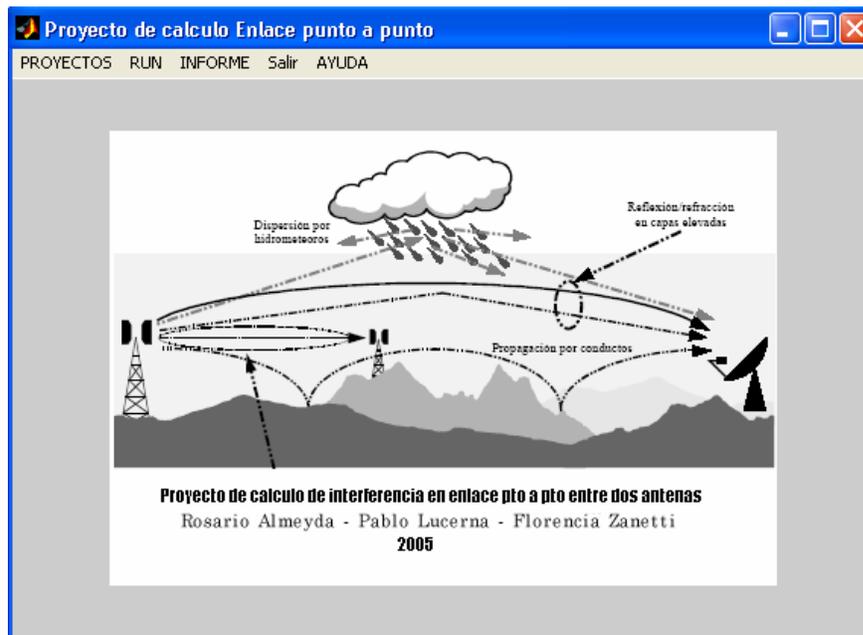


Figura 3.8 Ventana principal

En esta ventana se debe seleccionar el menú PROYECTO ó AYUDA. En la opción AYUDA, aparece en la ventana, este procedimiento de ejecución del programa.

En caso de seleccionar PROYECTO se despliegan los submenús: Nuevo, donde se elige un nuevo proyecto de datos de entrada; o ABRIR ÚLTIMO PROYECTO EJECUTADO, que carga en memoria el último proyecto ejecutado (pasar a 10).

7. Si se elige Tipo de Proyecto, aparece la ventana de la figura 3.9.

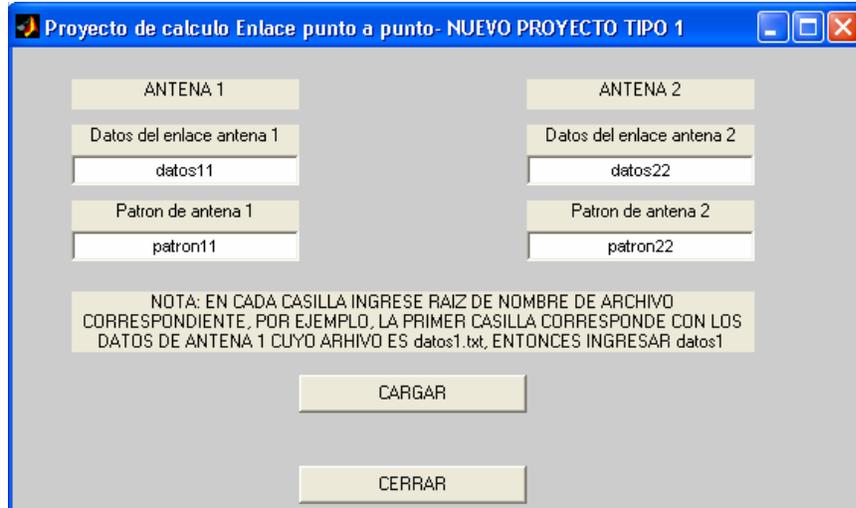


Figura 3.9 Ventana de carga de datos y patrones

En esta ventana se deben ingresar los nombres de los archivos que tienen los distintos parámetros de las antenas. Una vez ingresados, presionar CARGAR y luego CERRAR para cerrar la ventana.

8. Luego de cargados los valores de los enlaces, en el menú principal presionar RUN, lo cual realiza el cálculo de interferencia sobre la antena 1 y sobre la antena 2. Luego de presionar RUN, aparece un gráfico similar a este que representa la ubicación relativa de las antenas similar a éste:

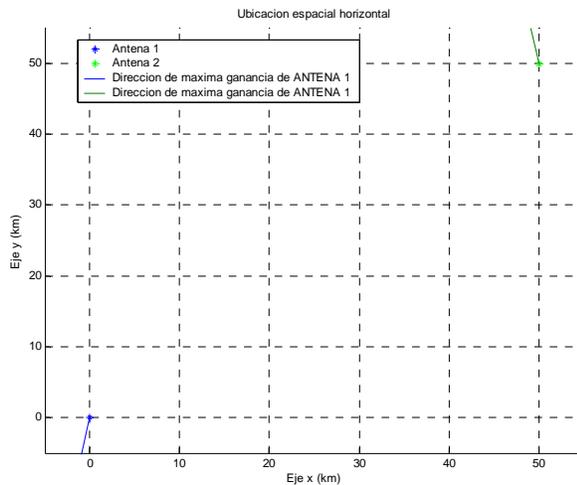


Figura 3.10 Ubicación relativa de las antenas

9. Cuando aparece una imagen similar a la de la figura 3.10, presionar cualquier tecla. En el caso de que el enlace no esté interferido, queda la imagen anterior. En el caso de que el enlace esté interferido aparece una imagen similar pero con una línea roja indicando *enlace interferido*.

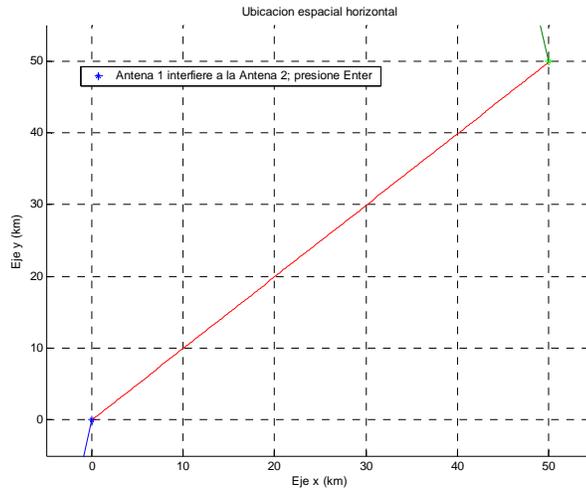


Figura 3.11 Enlace interferido

- En la pantalla inicial, elegir en el menú la opción INFORME, que despliega en una nueva ventana un informe de cada antena y su estado con respecto a la otra.
El formato es similar a:

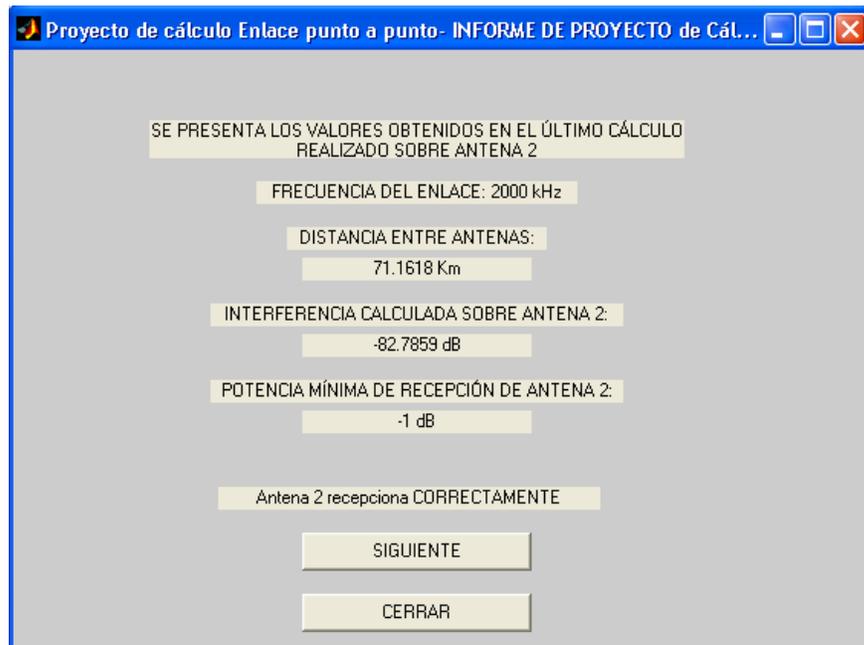


Figura 3.12 Visualización de resultados

Estos pasos se pueden repetir tantas veces como se desee sin salir del programa.

En el caso de que se quiera modificar alguno de los archivos de datos, se debe crear un proyecto nuevo.

Si al iniciar el programa, presiona INFORME o RUN sin haber cargado en memoria un proyecto nuevo o el último ejecutado, ocurrirá un error. Si selecciona el último proyecto ejecutado, sólo se podrá visualizar el informe, no permitiendo la acción de RUN.

Capítulo 4

Análisis de interferencia para múltiples enlaces

Resumen— En este capítulo se explica la transición del análisis de interferencia en un par de antenas de diferentes enlaces a múltiples enlaces. Se detallan los pasos realizados para este caso, determinando cálculos y propiedades de los enlaces. También se da una breve descripción del formato de los datos de entrada que el usuario debe proporcionar para el análisis.

4.1 CÁLCULOS Y DECISIONES DE INTERFERENCIAS

UNA de las características fundamentales del uso de radiofrecuencia, es la posibilidad de reutilizar frecuencias en una zona geográfica, permitiendo un mejor aprovechamiento del espectro radioeléctrico. Esto implica que varios enlaces compartan la misma configuración de frecuencias, lo que aumenta la probabilidad de interferencias entre ellos.

Se debe analizar entonces la interferencia entre varios enlaces puntuales en simultáneo para establecer si una antena está interferida. Si bien este cálculo aparenta ser el analizado en el capítulo anterior, aunque iterado tantas veces como antenas se encuentre en la topología, en esta sección se agregan algunos criterios no considerados hasta el momento.

4.1-A Consideraciones para el análisis de múltiples enlaces punto a punto

En el capítulo anterior se considera una determinada zona geográfica en la cual se ubican las antenas a estudiar a partir de un punto de origen y de coordenadas cartesianas xyz. El uso de este sistema de coordenadas es práctico para la comprensión y el análisis de los resultados en una primera aproximación al problema. Pero según la normativa nacional e internacional vigente al momento de la realización del proyecto, la ubicación de cada antena debe estar presentada por sus coordenadas polares terrestres.

En la sección 4.1-B se realiza el estudio de los cálculos de distancias y ángulos entre las antenas, necesarios para calcular el nivel de interferencia entre éstas.

Al analizar múltiples enlaces surge un caso no considerado hasta el momento: antenas de distintos enlaces pueden estar situadas en una misma torre. En esta situación, no se puede aplicar la ecuación de Friis, ya que por hipótesis ésta sólo es válida para campo lejano. Es por esto que el análisis de enlaces en la misma torre será considerado separadamente dentro del análisis de múltiples enlaces.

En el capítulo 3, se llegó a la conclusión de que cuando la distancia entre antenas se encuentra en el entorno de varios km, la ganancia de la propagación en la dirección del plano vertical es despreciable en comparación con la ganancia de la propagación en la dirección del plano horizontal.

A su vez, la gran mayoría de los patrones del tipo de antenas considerado, son de revolución, por lo que se considera únicamente un patrón. Como las variaciones de la ganancia en la dirección vertical son despreciables en comparación con las variaciones en la dirección horizontal, se toma en SW el patrón del plano horizontal.

Se consideró importante agregar a este proyecto, que en el análisis de interferencia entre múltiples enlaces se realizara la reelección de frecuencias. Esta reelección consiste en, a partir de una base de datos de frecuencias conocida a priori y proporcionada por el usuario, elegir las frecuencias de cada enlace nuevo de manera que no se produzcan interferencias entre ningún enlace.

4.1-B Cálculos previos

Como se mencionó al comienzo de este capítulo, en el análisis de interferencia de múltiples enlaces se trabaja utilizando coordenadas polares terrestres. De manera que, es necesario presentar los cálculos previos requeridos para el análisis en este tipo de coordenadas, para luego presentar los cálculos de interferencia en campo lejano y en la misma torre, con sus respectivos criterios de decisión de interferencia.

4.1-B.1 Distancia entre antenas

De acuerdo a la norma UIT-R P.452-11 [1], para calcular la distancia entre dos antenas se puede considerar el planeta Tierra como una esfera. De esta manera, la distancia entre antenas se calcula como la distancia superficial entre dos puntos de una esfera.

Esta misma norma, establece el radio terrestre como el correspondiente al radio medio volumétrico de la Tierra, igual a 6371 km.

La distancia angular se define entonces como:

$$d_{\theta} = \cos^{-1}(\sin(\varphi_1)\sin(\varphi_2) + \cos(\varphi_1)\cos(\varphi_2)\cos(\phi_1 - \phi_2)) \quad (rad) \quad \text{Ec. 4.1}$$

Donde:

φ_1 : latitud de antena 1,

φ_2 : latitud de antena 2,

ϕ_1 : longitud de antena 1,

ϕ_2 : longitud de antena 2.

Mientras que la distancia en kilómetros se define como:

$$d_{km} = 6371 \times d_{\theta} \quad (\text{km}) \quad \text{Ec. 4.2}$$

4.1-B.2 Ángulo acimutal

El ángulo acimutal de un enlace es aquel que se forma entre: la dirección determinada por dos antenas y la determinada entre una de ellas y el norte, tomando esta última como el vértice. Por conveniencia se tomará como vértice a la antena 1 del enlace a considerar como se muestra en la figura 4.1:

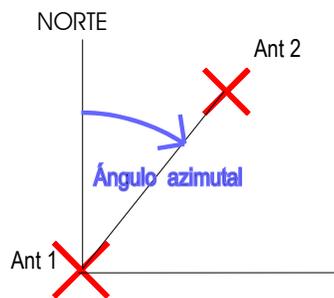


Figura 4.1 Ángulo acimutal

El ángulo acimutal se calcula como:

$$ang\ azim_{12} = \cos^{-1} \left[\frac{\text{sen}(\phi_2) - \text{sen}(\phi_1) \cos(d_{\theta})}{\text{sen}(d_{\theta}) \cos(\phi_1)} \right] \quad (\text{rad}) \quad \text{Ec. 4.3}$$

Y, si $\phi_2 - \phi_1 < 0$ entonces:

$$ang\ azim = 2\pi - ang\ azim \quad (\text{rad})$$

4.1-B.3 Ángulo beta

El ángulo beta es el ángulo que se forma entre un enlace en comunicación y la dirección a otra antena externa al enlace, utilizando como vértice una de las antenas del enlace.

Se calcula el ángulo beta como la resta del ángulo acimutal desde la antena 1 del enlace hacia la antena externa, y el ángulo acimutal del enlace, es decir:

$$ang_beta = ang\ azim_{antext} - ang\ azim_{enlace} \quad (\text{rad}) \quad \text{Ec. 4.4}$$

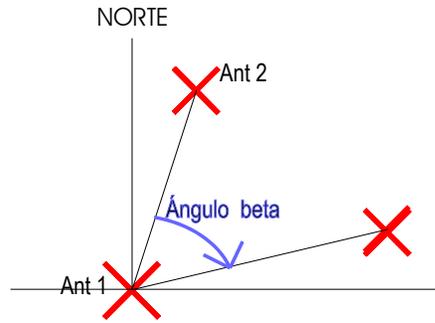


Figura 4.2 Ángulo beta

En caso de que la resta de la ecuación 4.4 sea negativa se le debe sumar 360°.

Este ángulo permite calcular la ganancia de la antena 1 del enlace hacia la antena externa al enlace, como se estudia en la sección 4.1-C.1.

Se presentan a modo de ejemplo, para una antena 1 de un enlace 1, los cálculos de los ángulos betas necesarios para hallar las ganancias de recepción y transmisión, con respecto a las antenas 1 y 2 de un enlace 2:

El ángulo beta de la antena 1 del enlace 1 hacia la antena 1 del enlace 2, como se muestra en la figura 4.3 está dado con la Ec. 4.4 por:

$$ang_beta_{12} = ang_azim_{12} - ang_azim_{1En1} + 360^\circ$$

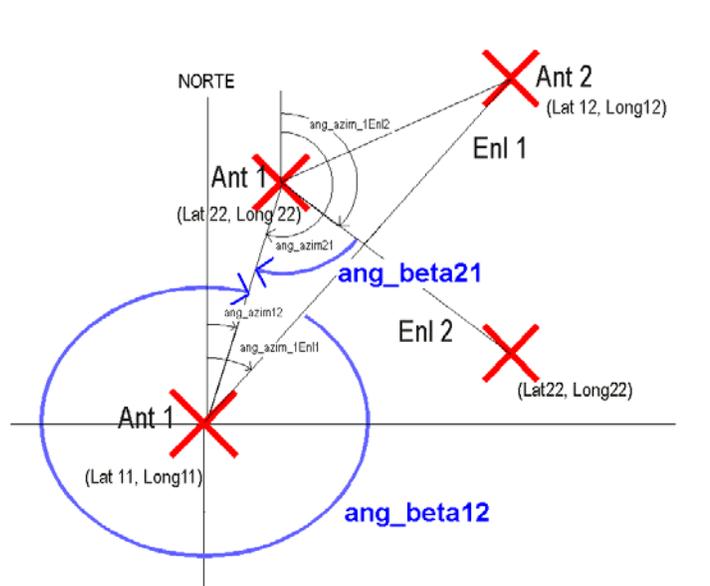


Figura 4.3 Ángulos beta entre la antena 1 del enlace 1 y la antena 1 del enlace 2

Y, el ángulo beta de la antenna 1 del enlace 2 hacia la antenna 1 del enlace 1 es:

$$ang_beta_{21} = ang_azim_{21} - ang_azim_{1Enl2}$$

El ángulo beta de la antenna 1 del enlace 1 a la antenna 2 del enlace 2, se calcula, como se puede observar en la figura 4.4:

$$ang_beta_{12} = ang_azim_{12} - ang_azim_{1Enl1}$$

Y, el ángulo beta desde la antenna 2 del enlace 2 a la antenna 1 del enlace 1, queda determinado por:

$$ang_beta_{21} = ang_azim_{21} - ang_azim_{2Enl2} + 360^\circ$$

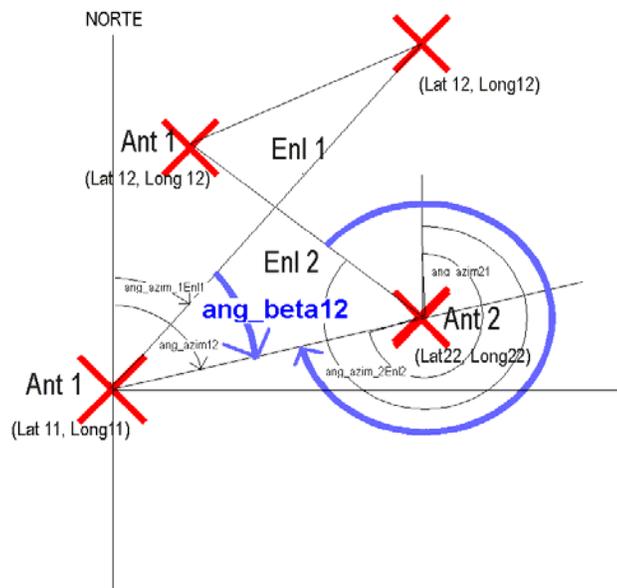


Figura 4.4 Ángulos beta entre la antenna 1 del enlace 1 y la antenna 2 del enlace 2.

4.1-C Cálculo en campo lejano.

Se considera que dos antenas parabólicas operan en campo lejano si se sitúan a una distancia mayor a una longitud de onda [2.III-B]. Si bien habitualmente se considera que una antena comienza a transmitir en campo lejano, a unos pocos metros de distancia, el programa considera un mínimo de 30 m entre antenas para establecer que se está en campo lejano. Dado que es poco probable encontrar dos antenas que transmitan en microondas y se sitúen a una distancia menor de 30 metros en torres

separadas, se considerarán estos casos como antenas en la misma torre. De todos modos este criterio es arbitrario, pues se podría considerar que la distancia para diferenciar el caso de presencia en la misma torre sea la mínima.

4.1-C.1 Cálculo de interferencia

Como se mencionó en la sección 2.IV-C del capítulo 2 para realizar el cálculo de la potencia recibida por una antena desde una antena interferente, se deben considerar dos casos: que ambas antenas trabajen a la misma polarización o que trabajen a distinta polarización.

En el primer caso, ambas antenas transmitiendo a la misma polarización, se tiene la ecuación de Friis expresada en decibeles, dada por la ecuación 2.16:

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_o \quad \text{Ec. 2.8}$$

Tanto la ganancia de transmisión G_t como la ganancia de recepción G_r se calculan a partir de los patrones de radiación y las ganancias máximas de las antenas, siendo éstos datos de entrada ingresados por el usuario como se explica en la sección 4.II de este capítulo:

$$G_t = G_{m\acute{a}x} - G_{patr\acute{o}n=pol} \quad \text{Ec. 4.5}$$

$$G_r = G_{m\acute{a}x} - G_{patr\acute{o}n=pol} \quad \text{Ec. 4.6}$$

Donde:

- G_t : ganancia máxima de transmisión (dBi),
- G_r : ganancia máxima de recepción (dBi),
- $G_{patr\acute{o}n=pol}$: disminución de la ganancia desde una antena a otra antena (obtenida del patrón de radiación a partir del ángulo de orientación, ángulo beta) (dBi),

Utilizando la ecuación 4.5 y la ecuación 4.6 en la ecuación 2.16, se obtiene el nivel de interferencia producido por una antena 2 sobre una antena 1, trabajando a una misma polarización:

$$I_{12} = G_{ant1} + G_{ant2} + G_{patr\acute{o}n1} + G_{patr\acute{o}n2} + P_{tx2} - L_o \quad (\text{dB}) \quad \text{Ec. 4.7}$$

Donde:

- G_{ant1} : ganancia máxima de la antena 1 interferida (dBi),
- G_{ant2} : ganancia máxima de la antena 2 interferente (dBi),
- $G_{patr\acute{o}n1=pol}$: disminución de la ganancia desde la antena 1 hacia la antena 2 (obtenida del patrón de

radiación a partir del ángulo de orientación, ángulo beta) (dBi),

$G_{patron2=pol}$: disminución de la ganancia desde la antena 2 hacia la antena 1 (dBi),

P_{tx2} : potencia de transmisión de la antena 2 (dBm),

L_0 : pérdida en espacio libre: $L_0 = 20 \log \left[\frac{4\pi d_{km} f_2}{c} \right]$, siendo f_2 la frecuencia de transmisión de la antena interferente y c la velocidad de la luz (dB).

En el segundo caso, si las antenas están transmitiendo a distinta polarización, la potencia interferente recibida por la antena 1, está dada por dos fuentes de interferencia:

- La antena 2 transmite correctamente y la antena 1 cambia la polarización debido a la polarización cruzada (C_1) que ésta tiene, obteniendo:

$$P_r = P_t + G_t - C_t + G_r - L_0 \quad \text{Ec. 2.12}$$

La disminución de la ganancia a una dirección determinada, cuando las antenas en estudio trabajan a distinta polarización es proporcionada, como se explica en la sección 4.II, por el patrón de radiación a distinta polarización.

De esta manera, se obtiene el nivel de interferencia de esta fuente por la ecuación 4.8:

$$I_{12} = G_{ant1} + G_{ant2} + G_{patron1=pol} + G_{patron2\neq pol} + P_{tx2} - L_0 \quad \text{Ec.4.8}$$

- La antena 2 por el efecto de la polarización cruzada trasmite con su polarización opuesta y la antena receptora recibe correctamente, obteniendo:

$$P_r = P_t + G_t + G_r - C_r - L_0 \quad \text{Ec. 2.13}$$

Obteniendo así, el segundo nivel de interferencia dado por la ecuación 4.7:

$$I_{12} = G_{ant1} + G_{ant2} + G_{patron1\neq pol} + G_{patron2=pol} + P_{tx2} - L_0 \quad \text{Ec. 4.9}$$

Considerando estos dos casos, la potencia de recepción obtenida es:

$$I_{12} = P_{tx2} + G_1 + G_2 - L_0 + 10 \log \left(10^{\frac{G_{patron1=pol} + G_{patron2\neq pol}}{10}} + 10^{\frac{G_{patron1\neq pol} + G_{patron2=pol}}{10}} \right) \quad \text{Ec.4.10}$$

Para efectuar los cálculos anteriores de interferencia sobre la antena 1 (interferida) desde la antena 2 (interferente) se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones, para los dos casos anteriores:

- i) Tanto las ganancias máximas de la antena 1 (G_{ant1}) y de la antena 2 (G_{ant2}) como la potencia de transmisión (P_{tx2}) son parámetros conocidos a priori, ingresados por el usuario como se explica la sección 4.II de este capítulo.
- ii) Para el cálculo de las disminuciones de ganancia ($G_{patron1}$ y $G_{patron2}$) es necesario conocer las direcciones relativas de ambas antenas con respecto a las direcciones de máxima ganancia de éstas, es decir, hallar el ángulo beta para las dos antenas, como se explicó en la sección anterior.
- iii) Por último, para obtener la interferencia sobre la antena 1 se debe calcular la pérdida de espacio libre entre las antenas.

Una vez hallado el valor de interferencia desde la antena 2 hacia la antena 1, se debe comparar el valor obtenido con un determinado nivel de interferencia permitido (umbral). Si el valor de interferencia es mayor a este umbral, la antena 2 está interfiriendo a la antena 1 con nivel de interferencia I_{12} , es decir:

$$\text{Sí } I_{12} > \text{umbral} \Rightarrow \text{ENLACE 1 INTERFERIDO} \quad \text{Ec. 4.11}$$

Este umbral es conocido a priori, y se extrae de una tabla que contiene valores permitidos de interferencia para las distintas bandas, como se explica en la sección 4.I-C.2. Cabe destacar, que para cada diferencia de frecuencia, $|f_{Tx} - f_{Rx}|$ se tiene un valor de umbral diferente.

En esta topología de múltiples enlaces, cada antena puede ser interferida por cualquiera de las demás antenas, excluyendo la otra antena del enlace en cuestión. Por lo tanto, para cada antena se debe calcular la interferencia desde las antenas restantes utilizando el procedimiento anterior. En base a este cálculo se establece que una antena está interferida si alguna de las antenas restantes la interfiere.

Por otro lado, no sólo se deben analizar las interferencias puntuales sobre las antenas sino también las globales. Es decir, las interferencias obtenidas desde las antenas con frecuencias cocanales³ entre sí, se suman. Por ejemplo, en el caso que la frecuencia de una antena p sea cocanal con la frecuencia de una antena q , el nivel de interferencia sobre la antena interferida será $I_p + I_q$, siendo I_p el nivel de interferencia producido por la antena p e I_q el nivel de interferencia producido por la antena q .

El procedimiento anterior se debe iterar para cada una de las antenas pertenecientes a la topología en cuestión.

³ Consideramos que las frecuencias de las antenas son cocanales si la mitad de la diferencia de frecuencia es menor a la suma de la mitad de cada ancho de banda de cada antena.

4.1-C.2 Decisión de interferencia

Siguiendo con la idea del cálculo de interferencia esbozado en la sección anterior, se puede decir que una antena se encuentra interferida en las siguientes dos situaciones:

- otra antena en particular la interfiere
- un conjunto de antenas con frecuencias cocanales entre ellas la interfiere.

Una antena es interferida por otra antena si el nivel de potencia recibido de ésta, es mayor al valor de interferencia permitido. Este valor permitido se obtendrá de una tabla provista por el usuario del programa, que cuenta con los umbrales de interferencias permitidas a ciertas Δf dadas y a la misma o distinta polarización, donde Δf es la diferencia de frecuencias entre la antena interferida y la interferente.

Entonces, se debe cumplir para que exista interferencia que:

$$I_{obtenido} > I_{máxadm(\Delta f)} \quad \text{Ec. 4.12}$$

Una antena puede estar interferida además a causa de la contribución de interferencias de varias antenas que se encuentran a frecuencias cocanales. En este caso, se suma cada interferencia aportada por cada antena, y el valor obtenido se compara con el umbral correspondiente a la diferencia de frecuencias entre el canal al cual pertenecen las antenas interferentes y la frecuencia de la antena interferida, teniendo en cuenta además si tienen igual o distinta polarización. Es decir:

$$\sum_i I_{ij}(\text{cocanal}) > I_{máxadm(\Delta f)} \quad \text{Ec. 4.13}$$

Siendo:

I_{ij} : interferencia de la antena i a la antena j

$I_{máxadm(\Delta f)}$: nivel máximo admisible de interferencia

4.1-D Cálculo en antenas en la misma torre

Se considera que dos antenas se encuentran en una misma torre si la distancia horizontal entre ellas es menor a 30 metros. Si bien en la realidad esta distancia es mucho menor se asume esta convención para establecer una diferencia con las antenas en campo lejano. Igualmente –como se menciona en la sección 4.1-c- es muy poco probable que se encuentren torres con antenas de las características que se consideran en este proyecto, a una distancia menor de 30 metros.

4.1-D.1 Cálculo de interferencia

Al analizar la interferencia producida desde una antena 2 hacia una antena 1 pertenecientes a la misma torre no se puede considerar la ecuación de Friis dado que no se está bajo las hipótesis de campo lejano. En su lugar, se utiliza una ecuación donde las disminuciones de la ganancia se deben a los parámetros de relación frente-espalda. También en este caso debe distinguirse si las antenas transmiten con igual o distinta polarización, para lo cual se agrega el factor de polarización cruzada.

Cuando la antena 1 y la antena 2 transmiten en la misma polarización:

$$I_{12} = G_{ant1} + G_{ant2} - FtB_1 - FtB_2 + P_{Tx2} \quad \text{Ec. 4.14}$$

Cuando la antena 1 y la antena 2 transmiten en distinta polarización, se deben considerar las polarizaciones cruzadas de las dos antenas.

$$I_{12} = G_{ant1} + G_{ant2} - FtB_1 - FtB_2 + P_{Tx2} - C_1 - C_2 + 10 \log \left(10^{\frac{C_1}{10}} + 10^{\frac{C_2}{10}} \right) \quad \text{Ec. 4.15}$$

Donde:

- G_{ant1} : ganancia máxima de la antena 1 (dBi)
- G_{ant2} : ganancia máxima de la antena 2 (dBi)
- FtB_1 : relación frente a espalda de la antena 1 (dBi)
- FtB_2 : relación frente a espalda de la antena 2 (dBi)
- P_{tx1} : potencia de transmisión de la antena 1 (dBm)
- C_1 : polarización cruzada de la antena 1 (dBi)
- C_2 : polarización cruzada de la antena 2 (dBi)

4.1-D.2 Decisión de interferencia

Se dice que una antena está interferida por otra antena ubicada en la misma torre si el valor de interferencia producido sobre ella es mayor al umbral de interferencia permitido. Este umbral debe ser provisto por el usuario en una tabla, como se explica en la sección 4.11, con niveles de interferencia para antenas en la misma torre según los distintos Δf , donde Δf es la diferencia de frecuencias entre la antena interferida y la interferente.

4II-E Reelección de frecuencias

Habiendo realizado el análisis de interferencia y encontrado que hay enlaces que se encuentran interferidos por otros enlaces, surge la necesidad de buscar una combinación de frecuencias para los enlaces nuevos a la cual ningún enlace se encuentre interferido. Es decir, para cada enlace nuevo se debe intentar hallar una frecuencia a la que el enlace no se encuentre interferido y no interfiera a los demás.

El usuario debe ingresar las combinaciones de frecuencias (frecuencia de transmisión y recepción) posibles a elegir, en el formato que se explica en la sección 4.II. Por cada par candidato de frecuencias existen cuatro posibles combinaciones por enlace, dependiendo de la polarización que se utilice. Si se considera la pareja de frecuencias f_1 y f_2 , para las antenas 1 y 2 de un determinado enlace, se tienen las siguientes cuatro posibilidades:

Antena	FrecTx	FrecRx	Polarización
1	f_1	f_2	H
2	f_2	f_1	H

Antena	FrecTx	FrecRx	Polarización
1	f_1	f_2	V
2	f_2	f_1	V

Antena	FrecTx	FrecRx	Polarización
1	f_2	f_1	H
2	f_1	f_2	H

Antena	FrecTx	FrecRx	Polarización
1	f_2	f_1	V
2	f_1	f_2	V

Tabla 4.1 Combinación de frecuencias

De esta manera, con cada enlace deberán probarse estas cuatro configuraciones de frecuencias por cada pareja candidata de frecuencias, hasta encontrar la combinación de frecuencias que asegure la ausencia de interferencia en la topología.

4.II FORMATO DE LOS DATOS DE ENTRADA

Luego de haber explicado el funcionamiento del programa, respecto a los cálculos que realiza para el análisis de la interferencia en múltiples enlaces, es importante pasar a describir el formato de los datos de entrada que el usuario debe proveer para el correcto funcionamiento del mismo.

Se deben ingresar dos archivos *.xls (archivos Excel), con el siguiente formato:

- Un primer archivo en el cual se ingresen los datos de los enlaces existentes y nuevos, las decisiones de interferencia puntuales, globales y en la misma torre; y las parejas de frecuencias candidatas para la reelección de frecuencias de los enlaces nuevos en ausencia de interferencia.
- Un segundo archivo que contenga los patrones de las antenas que se utilizan en la topología de los enlaces.

El primer archivo consta de cinco hojas. No importa el orden de las mismas pero sí el nombre de cada una de éstas. A continuación se enumeran estas cinco hojas:

Hoja EnlExis y Hoja EnlNue: En estas dos hojas se deben ingresar los datos de las antenas de los enlaces existentes y los enlaces nuevos respectivamente. Algunos de estos datos son imprescindibles para el análisis de interferencia y otros son simplemente descriptivos. Los datos deben ingresarse en el siguiente orden:

- Banda (banda de frecuencia a la cual pertenece el enlace).
- Antena A
 - i. Frecuencia estación A: frecuencia de transmisión de la antena A y de recepción de la antena B expresada en MHz.
 - ii. Ubicación estación A: descripción de la ubicación.
 - a. Departamento/ Localidad.
 - b. Latitud (°): coordenadas de latitud en grados de la antena A.
 - c. Latitud ('): coordenadas de latitud en minutos de la antena A.
 - d. Latitud ("): coordenadas de latitud en segundos de la antena A.
 - e. Longitud (°): coordenadas de longitud en grados de la antena A.
 - f. Longitud ('): coordenadas de longitud en minutos de la antena A.
 - g. Longitud ("): coordenadas de longitud en segundos de la antena A.
 - iii. Pot. RF: potencia de salida del transmisor, expresada en dBm
 - iv. G. Ant.: ganancia de la antena transmisora, expresada en dBi, en la dirección de máxima ganancia.
 - v. Patrón: nombre raíz del patrón de la antena (se explicará mas adelante).
 - vi. Ant.: modelo de la antena.
 - vii. Diam.: diámetro de la antena.

- viii. Pol.: polarización de la antena, vertical u horizontal.
 - ix. Ancho: ancho de banda del canal, expresado en MHz.
 - x. Crosspolarization: coeficiente de polarización cruzada de la antena A expresada en dB.
 - xi. FtB: relación frente a espalda de la antena A expresada en dB.
 - xii. Cota terreno: altura del terreno con respecto al nivel del mar.
 - xiii. Altura de antena: altura de la antena con respecto al nivel del suelo.
 - xiv. Altura total: altura de la antena con respecto al nivel del mar.
- Antena B (estación B)
 - i. Frecuencia estación B: frecuencia de transmisión de la antena B y de recepción de la antena A expresada en MHz.
 - ii. Ubicación estación B: descripción de la ubicación.
 - a. Departamento/ Localidad.
 - b. Latitud (°): coordenadas de latitud en grados de la antena B.
 - c. Latitud ('): coordenadas de latitud en minutos de la antena B.
 - d. Latitud ("): coordenadas de latitud en segundos de la antena B.
 - e. Longitud (°): coordenadas de longitud en grados de la antena B.
 - f. Longitud ('): coordenadas de longitud en minutos de la antena B.
 - g. Longitud ("): coordenadas de longitud en segundos de la antena B.
 - iii. Pot. RF: potencia de salida del transmisor, expresada en dBm.
 - iv. G. Ant.: ganancia de la antena transmisora, expresada en dBi, en la dirección de máxima ganancia.
 - v. Patrón: nombre raíz del patrón de la antena (se explicará mas adelante).
 - vi. Ant.: modelo de la antena.
 - vii. Diam.: diámetro de la antena.
 - viii. Pol.: polarización de la antena, vertical u horizontal.
 - ix. Ancho: ancho de banda del canal, expresado en MHz.
 - x. Crosspolarization: coeficiente de polarización cruzada de la antena B expresada en dB.
 - xi. FtB: relación frente a espalda de la estación B expresada en dB.
 - xii. Cota terreno: altura del terreno con respecto al nivel del mar.
 - xiii. Altura de antena: altura de la antena B con respecto al nivel del suelo.
 - xiv. Altura total: altura de la antena con respecto al nivel del mar.
 - Expediente: N°. de gestión en URSEC.
 - Resolución: N°. de resolución de consolidación.
 - Fecha: de la resolución de consolidación.
 - Asignatario.
 - Tipo: tipo de sistema: D = digital; A = analógico.
 - Observaciones.

Hoja IntCampLej: Para establecer si un enlace está interferido o no, es necesario comparar el nivel de potencia recibido por cada antena con un umbral predefinido por la diferencia de las frecuencias de

trabajo. Para esto, el usuario debe indicar en esta hoja los niveles de interferencia deseables en campo lejano para ciertos Δf 's para la transmisión-recepción como se muestra en la siguiente tabla 4.2.

La primera columna indica la diferencia de frecuencia entre la antena transmisora y la antena receptora. La segunda columna corresponde a la interferencia máxima permitida.

Δf	Int. =pol
Δf_1	I_{mp1}
Δf_2	I_{mp2}
Δf_3	I_{mp3}
...	...
Δf_{n-1}	$I_{mp(n-1)}$
Δf_n	$I_{mp(n)}$

Tabla 4.2 Tabla de decisión de interferencia en campo lejano

Hoja IntMisTorre: Es importante también, ingresar una tabla similar a la anterior pero para antenas que se ubiquen en una misma torre. La planilla tendrá el siguiente formato:

Δf	Int. =pol
Δf_1	I_{mp1}
Δf_2	I_{mp2}
Δf_3	I_{mp3}
...	...
Δf_{n-1}	$I_{mp(n-1)}$
Δf_n	$I_{mp(n)}$

Tabla 4.3 Tabla de decisión de interferencia para antenas en la misma torre

Hoja frecPosibles: Como se mencionó en la sección 4.1-E, el SW debe intentar hallar la combinación de frecuencias para que no exista interferencia. Para esto, el usuario debe ingresar en esta hoja las parejas de frecuencias candidatas para la búsqueda de la combinación.

En el segundo archivo se deben ingresar las planillas de todos los patrones de las antenas a utilizar.

Siendo la idea de este proyecto trabajar con antenas de microondas, y dado que los patrones de éstas son por lo general de revolución, se toma un único patrón. Como se mostró en el capítulo 3, para hallar la ganancia para una dirección dada en un patrón de revolución tridimensional, es necesario interpolar los ángulos proporcionados por los planos horizontal y vertical. Sin embargo, dado que este tipo de antenas trabajan a grandes distancias, se puede desprestigiar la ganancia en el plano vertical. De esta manera, se trabaja con un único patrón para hallar las ganancias: el patrón horizontal.

Por cada patrón se ingresan dos hojas, una para el caso en que las antenas a las que se calcula la interferencia sean de igual polarización, y otra para el caso en que su polarización sea distinta.

Los patrones proporcionados por el usuario indican las disminuciones de la ganancia máxima en distintas direcciones. Por ejemplo, siendo la ganancia máxima de una antena 40 dBi, se puede observar en las siguientes tablas los patrones de radiación para igual y distinta polarización respectivamente:

Ángulo (°)	Ganancia (dBi)	Ángulo (°)	Ganancia (dBi)
0	0	0	-30
1,5	-8	2,2	-34,5
5	-28	2,5	-35
14,4	-36	11,5	-45
18,5	-42	13	-45
20	-43	15	-49
30	-45	20	-56
85	-47	55	-57
105	-62	85	-60
110	-64	180	-65
180	-64	275	-57
250	-62	305	-56
255	-47	340	-49
320	-45	345	-45
332,5	-43	346	-45
340	-42	347	-45
345,6	-34	348,5	-43
348	-33,1	349,8	-43
353,6	-28	355,5	-35
355	-26	357,5	-30
358,5	-2,8	357,8	-30
360	0	360	-30

Tabla 4.2 Patrones de radiación

Para un ángulo de 20°, se obtiene la ganancia en esta dirección:

- para antenas trabajando a igual polarización:

$$G_{20^\circ} = G_{\max} - G_{\text{patrón}=pol(20^\circ)} \Rightarrow G_{20^\circ} = 40dB_i - 43dB_i = -3dB_i,$$

- y para antenas trabajando a distinta polarización:

$$G_{20^\circ} = G_{\max} - G_{\text{patrón}\neq pol(20^\circ)} \Rightarrow G_{20^\circ} = 40dB_i - 56dB_i = -16dB_i.$$

En caso de que no se encuentre el ángulo buscado en los patrones, se debe realizar una interpolación lineal.

Capítulo 5

Producto Final: Software AIEM

Resumen—En este capítulo se describe la arquitectura del software, se justifica la elección del lenguaje utilizado, se establecen las condiciones que deben cumplir el programa mismo y las restricciones que debe tener en cuenta el usuario al utilizarlo.

5.1 PRELIMINARES DEL SOFTWARE

5.1-A Elección del lenguaje de programación a utilizar

COMO se menciona al comienzo de la documentación, el producto final de este proyecto es una herramienta de SW que, dado un número de enlaces existentes y un número de enlaces nuevos, encuentra cuáles enlaces se encuentran interferidos y cuáles son los que interfieren. En otras palabras, debe buscar las “víctimas” y los “culpables” de las interferencias existentes en una determinada topología de enlaces. Un segundo cometido del SW es hallar, en el caso de existir interferencia, una combinación de frecuencias para los enlaces nuevos con la cual ésta no exista.

Para una primera aproximación al problema, como se menciona en capítulos anteriores, la herramienta elegida es Matlab. Sin embargo, éste puede resultar un entorno de desarrollo un poco lento que además no es ejecutable en otro entorno que no sea él mismo. Es por esto que surge la necesidad de un lenguaje de programación de más alto nivel.

La opción fue Java, un lenguaje de programación orientado a objetos que posee varias ventajas frente a otros lenguajes también orientados a objetos, tales como C y C++.

Una de las razones más atractivas para elegir Java es que, a pesar de ser éste un lenguaje muy complejo, su entorno de programación es bastante simple, en comparación con los lenguajes anteriormente mencionados [35].

Este lenguaje fue creado tomando a C y C++ como base, pero modificando todos aquellos aspectos que no eran útiles o eran dificultosos en la programación. Es decir, se creó con el cometido de que incluyera interfaces cómodas, y que fuera fiable y fácil de desarrollar. A su vez, Java reduce el número de errores más comunes en la programación y realiza un descubrimiento de la mayor parte de los errores durante el tiempo de compilación.

Otra ventaja que motiva la elección de Java para la programación, es que permite que las aplicaciones sean fácilmente transportables de un sistema a otro, sin ningún tipo de problema. En Java se desarrolla un código “neutro”, el cual está preparado para ser ejecutado sobre una “máquina hipotética o

virtual”, denominada Java Virtual Machine (JVM). Esta JVM, es entonces la encargada de interpretar el código neutro convirtiéndolo a código particular del entorno de desarrollo utilizado [37].

Otra ventaja de este lenguaje es que cualquier aplicación que se desarrolle, se apoya en otras clases preexistentes. Algunas pueden haber sido realizadas por el programador en anteriores ocasiones y otras pueden ser comerciales (en formato de librerías .jar), pero siempre hay un número de clases que forma parte del propio lenguaje (el API o Application Programming Interface de Java). Este aspecto permite manejar el lenguaje más fácilmente.

5.1-B Condiciones que debe cumplir el software

Luego de elegido el lenguaje de programación a utilizar, es necesario plantear las condiciones o requisitos esenciales que debe cumplir el SW a realizar.

La primera condición a tener en cuenta es que los cálculos que se realizan dentro de la lógica del programa sean transparentes (invisibles) al usuario. Siendo el análisis de interferencia entre enlaces de microondas tan complejo, no es de interés del usuario del programa conocerlo, ya que podría generar confusiones.

Un segundo requisito, es la elaboración de un software que tenga una plataforma de trabajo sencilla y agradable para el usuario. La plataforma de trabajo más difundida y conocida para cualquier usuario es la de ventanas. Ésta permite la utilización de barras de herramientas con diferentes menús, donde se pueden especificar las distintas tareas que el programa realiza.

A su vez, es importante que el SW, dado que agrega robustez, controle los posibles errores que pueda cometer el usuario al ingresar los datos.

Otra condición no fundamental pero deseable, es que el programa realice los cálculos en un tiempo aceptable, aunque es evidente que el tiempo de ejecución estará estrechamente relacionado con la cantidad de enlaces existentes y nuevos que se ingresen.

Un último requisito que se plantea es el de permitir flexibilidad al producto final respecto a implementaciones futuras ya sea por parte de los propios creadores o de otros interesados en el mismo.

5.1-C Restricciones del software para el usuario

La mayoría de los SWs que existen en el mercado imponen al usuario limitaciones de uso, o exigen determinadas características respecto a la plataforma de trabajo. Éstas generalmente se indican en los tutoriales de los programas. AIEM no es una excepción, y también impone ciertas restricciones al usuario que se describen a continuación.

Para el ingreso de los datos de los enlaces existentes y nuevos -como los criterios a tomar para la interferencia o los patrones de las antenas- se utilizan dos archivos Excel. Estos dos archivos deben tener un determinado formato, el cual se especifica en el tutorial del SW. El uso de estos archivos en el programa, hace imprescindible que la plataforma de trabajo sea Windows y que tenga cargado el

programa Excel. Dado que ambas implementaciones, Windows y Office, son de uso habitual, se considera que es probable que el usuario los tenga.

Es importante también que el usuario respete el formato de ingreso de los archivos Excel. Si éste no es el indicado para el programa, como se indica en el tutorial, no se podrá ejecutar el SW.

Por otro lado, otra restricción del programa es que los enlaces se encuentren ubicados en el hemisferio sur, dado que los cálculos del análisis de interferencia fueron considerados para este hemisferio.

5.II ARQUITECTURA DEL SOFTWARE

Teniendo en cuenta los puntos anteriores, se hace necesario dividir el problema en paquetes, o como se le llama en Java, *packages*, independientes entre sí. La división en paquetes se realiza con el fin de dividir las clases según las distintas funcionalidades del programa [32]. A su vez esta separación del problema, da una mayor flexibilidad para realizar futuras implementaciones en el SW.

Se utilizan seis *packages* para realizar el SW. Un primer *package topología*, que contiene las clases que definen totalmente los enlaces existentes y nuevos; un segundo *package lógica* en donde se realiza los cálculos para resolver el problema. Luego un *package datos*, que maneja los datos de entrada ingresados por el usuario en formato de archivo Excel y presenta los resultados obtenidos en el análisis con el mismo formato.

Éstos se encuentran complementados por un cuarto *package excepciones*, que sirve de contingencia ante posibles errores que puedan ocurrir en la ejecución del programa.

Existe también un quinto *package interfazUsuario*, que contiene toda la implementación de interacción con el usuario.

Se utilizan seis *packages* para realizar el SW. Un primer *package topología*, el cual contiene las clases que definen totalmente los enlaces existentes y nuevos, un segundo *package lógica* en donde se realizan los cálculos para resolver el problema. Luego un *package datos*, el cual maneja los datos de entrada ingresados por el usuario en formato de archivo Excel y presenta los resultados obtenidos en el análisis con el mismo formato.

Éstos se encuentran complementados por un cuarto *package excepciones*, que sirve de contingencia ante posibles errores que puedan ocurrir en la ejecución del programa.

Existe también un quinto *package interfazUsuario*, el cual contiene toda la implementación de interacción con el usuario.

Para que el usuario pueda acceder en forma práctica al tutorial del SW, se implementa en el programa una ventana que abra un archivo HTML con el mismo. Para la realización de esto, se crea un último *package tutorial*.

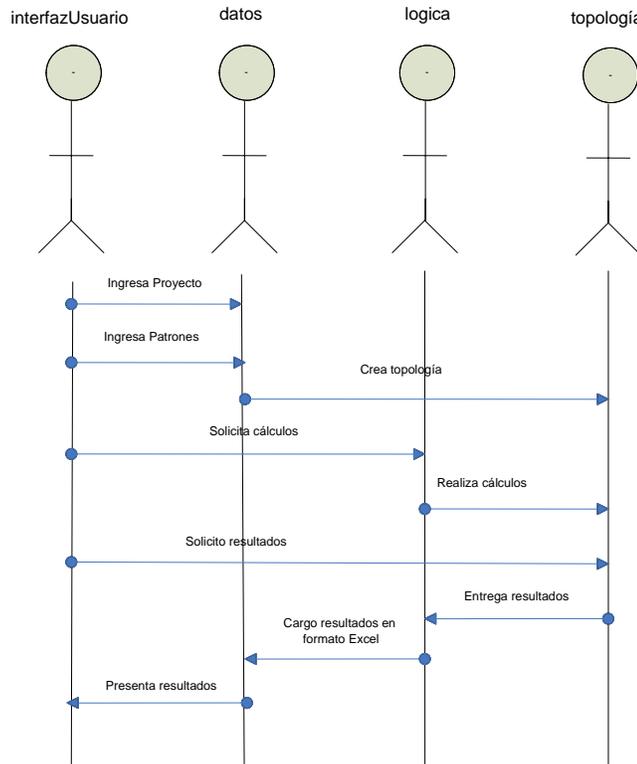


Figura 5.1 Diagrama de interacción entre los distintos paquetes

En el diagrama de la figura anterior se aprecia el papel que desempeña cada *package*. El usuario crea dos archivos Excel, un primer archivo Proyecto el cual contiene los datos de todos los enlaces existentes y nuevos, las decisiones de interferencia puntuales, globales y en la misma torre, junto con las parejas de frecuencias posibles para la búsqueda de una configuración libre de interferencia; y un segundo archivo Patrones, con los patrones de las antenas de los enlaces, a ingresar. El *package datos* crea la topología de enlaces a analizar. Luego el usuario solicita que se realicen los cálculos que son realizados por el *package lógica* con la colaboración del *package topología*.

El usuario pide que se presenten los resultados al *package datos*, y éste se los pide a *topología*. Por último, la interfaz usuario se encarga de presentar los resultados obtenidos.

A continuación se realiza una descripción de cada *package* y sus distintas funcionalidades.

La descripción de los paquetes lógica y topología se desarrolla en forma detallada, explicando cada clase y cada método que los componen, ya que éstos constituyen la parte neurálgica del análisis.

Tanto el *package datos* como el *package interfazUsuario* se describen en forma más breve, enfatizando sí en las utilidades que le proporcionan al SW.

Finalmente se describe el *package excepciones* junto con las clases que lo conforman y el uso de éstas.

5.II-A Paquete topología

El usuario debe ingresar al programa el conjunto de enlaces existentes y nuevos a los cuales desea analizar la interferencia. Para una implementación práctica y ordenada del SW, el mismo debe generar una estructura en la cual cada elemento de la topología de los enlaces (antenas o enlaces) quede completamente definido por todas sus propiedades. Es decir, el SW debe realizar una representación fiable del conjunto de enlaces existentes y nuevos a analizar a través de clases en lenguaje Java.

Basándose en las características y propiedades que definen a cada elemento de la topología, se decide formar este paquete con las clases que se muestran en el diagrama UML de la figura 5.2:

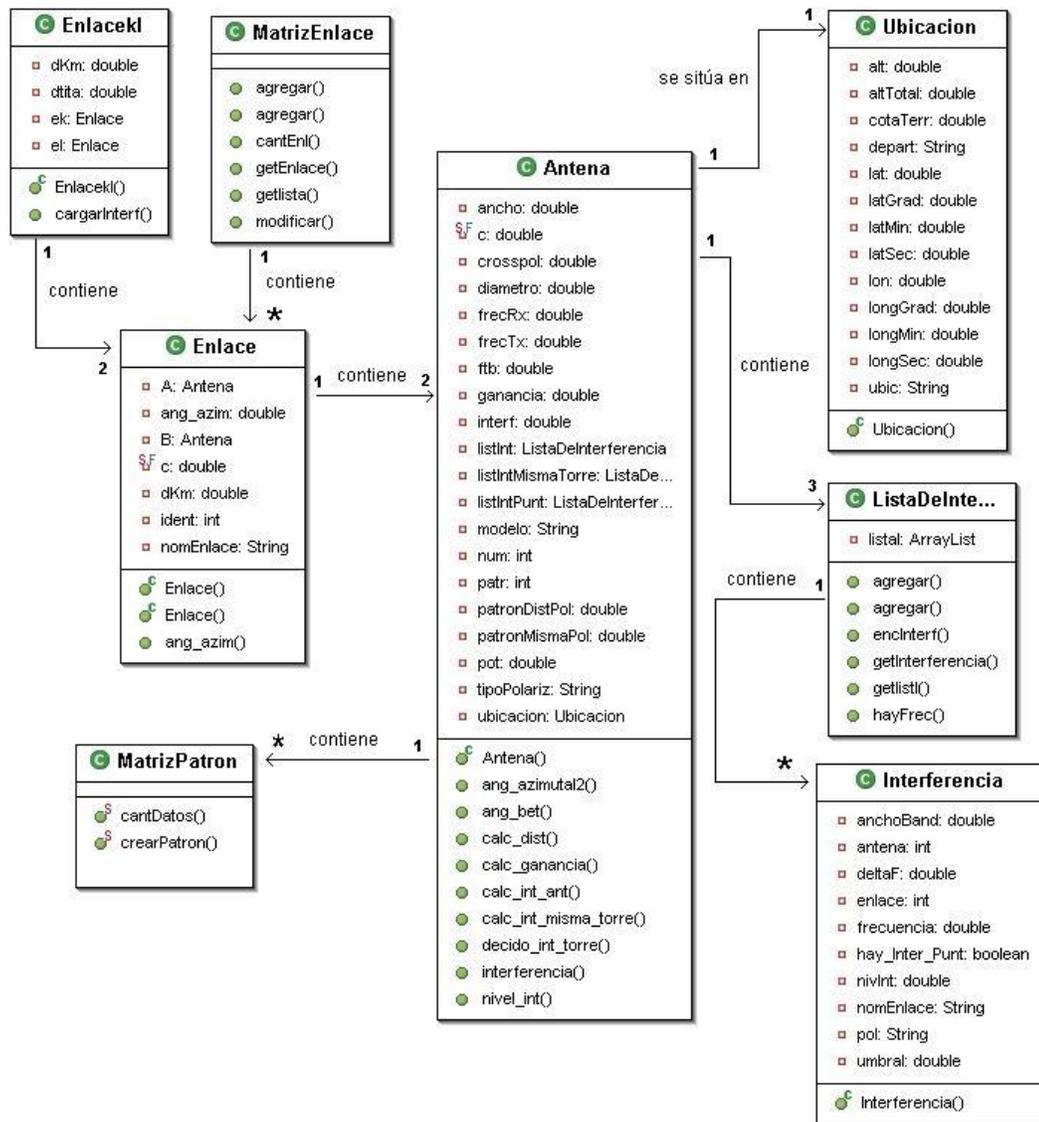


Figura 5.2 Diagrama UML del paquete *lógica*

En este paquete se realiza todo el análisis de interferencia entre los enlaces de la topología. Es por esto que, en la siguiente sección se explican detalladamente las clases que lo componen con sus respectivos métodos y principales atributos.

5.II-A.1 *La clase Enlace*

Los enlaces son los elementos fundamentales en el análisis de interferencia, porque son los que le dan sentido al mismo análisis. El objetivo del proyecto es la búsqueda de los enlaces que se encuentran interferidos y de los enlaces que son interferentes.

5.II-A.1-a Principales atributos de la clase Enlace

a1, a2: Cada instancia de la clase Enlace debe referenciar a las dos antenas que tiene cada enlace (antena 1, a1 y antena 2, a2).

ident: En este campo se almacena el número de enlace, correspondiente a la posición que se encuentre en la planilla Excel. Este campo es de uso exclusivo para la lógica del programa, e irrelevante para el usuario.

nomEnlace: Indica si el enlace es existente ("ee") o es un enlace nuevo ("en").

5.II-A.1-b Métodos de acceso

Para cada uno de los parámetros de la clase Antena se definieron los métodos que recuperan los valores de los mismos (métodos get).

5.II-A.1-c Constructor de la clase Enlace

La clase Enlace tiene un único constructor, donde se inicializan las referencias a las antenas del enlace, el identificador y el tipo de enlace.

5.II-A.2 *La clase Antena*

La antena es el elemento básico de este proyecto y es por esto que la clase Antena es la clase central en este primer paquete. Dado que cada enlace está formado por dos antenas, para hallar la interferencia existente en cada enlace es necesario llevar un registro de ciertos parámetros de las antenas que proporciona el fabricante. Algunos de estos son fundamentales para el desarrollo de la lógica (por ejemplo: potencia, ganancia, tipo de polarización) y otros meramente de identificación (por ejemplo: modelo de la antena, nombre del lugar donde se encuentra la antena).

Es por estas razones, que en esta clase se realizan la mayor parte de los cálculos y se almacenan los niveles de interferencias puntuales, globales y en la misma torre, con sus respectivos umbrales.

5.II-A.2-a Principales atributos de la clase Antena

Hay dos tipos de atributos: los que ingresa el cliente en formato de planilla Excel y los que genera el SW.

número: Dado que cada enlace, nuevo o existente, se compone de dos antenas, es necesario diferenciarlas con un número que las identifique. Se utiliza, de modo arbitrario, el número 1 para la primera antena ingresada en la planilla Excel de cada enlace, y el número 2 para la segunda antena ingresada en la planilla. Es simplemente una identificación interna de la lógica, que resulta transparente al usuario.

ubicación: Cada instancia de la clase antena contiene una referencia a la clase Ubicación, que es la que determina la posición geográfica de la antena.

frecTx y frecRx: En estos campos se almacenan respectivamente, las frecuencias de transmisión y recepción, en las que trabaja la antena.

tipoPolariz: Cada instancia de antena debe tener un registro del tipo de polarización que utiliza para la comunicación con la otra antena del enlace, quedando registrada en este atributo.

potencia: En este campo se guarda la potencia de transmisión de la antena.

patrón: La instancia antena lleva un registro del número de patrón de radiación en este campo. El usuario debe ingresarlo como dato de cada antena, para que en el constructor se carguen los patrones correspondientes en los campos `patron_mismaPol` y `patron_distPol`.

patron_mismaPol y patron_distPol: En estos dos campos se cargan los patrones de la antena cuando la misma está transmitiendo con igual polarización o distinta, respectivamente, a la antena a la que se le está analizando la interferencia.

crospol: El valor de polarización cruzada en decibeles que proporciona el fabricante de la antena, se almacena en este campo.

ftb: En este campo se guarda el valor en decibeles de la relación frente espalda que provee el fabricante.

listInt, listIntPunt y listIntMismaTorre: Cada antena contiene tres referencias a la clase ListaDeInterferencia, una para cada tipo de interferencia que se considera (global, puntual y en la misma torre).

5.II-A.2-b Métodos de acceso y definición de parámetros de la clase Antena

Para cada uno de los parámetros de la clase Antena se definieron sus correspondientes métodos que permiten asignar y recuperar los valores de los mismos (métodos get y set).

5.II-A.2-c Constructor de la clase Antena

La clase Antena cuenta con un único constructor, al cual se le ingresan todos los parámetros mencionados anteriormente. El constructor inicializa los diferentes campos y almacena los patrones de la antena (*patron_mismaPol* y *patron_distPol*) según el número de patrón que se ingrese.

5.II-A.2-d Métodos de la clase Antena

calc_dist

Para el cálculo de interferencia entre enlaces, uno de los principales requerimientos, es la distancia existente entre las antenas; tanto para calcular la pérdida en espacio libre, como para el cálculo del ángulo que determina la ganancia según el patrón.

El método *calc_dist* determina la distancia angular (en grados) y la distancia lineal (en km) entre dos antenas a partir de sus coordenadas geográficas (latitud y longitud).

ang_azimutal

El método *ang_azimutal* calcula el ángulo acimutal de un enlace a partir de las distancias angulares de las antenas y sus coordenadas geográficas.

ang_beta

Para hallar las ganancias de la antena interferente y de la antena interferida, y utilizar la ecuación de Friis, se debe calcular a cuántos grados se encuentra cada antena desde la dirección de máxima ganancia hasta la dirección de la otra antena, es decir el ángulo beta definido en la sección 4.I-B.3. Este método se encarga del cálculo de este ángulo.

calc_ganancia

A partir del ángulo beta y la polarización de las antenas del enlace, este método busca la ganancia de una antena en la dirección de la otra antena en el patrón correspondiente a esta última. Dependiendo de que ambas antenas coincidan o no en la polarización se utiliza la hoja *patron-m* o *patron-d* respectivamente.

En el caso de que el ángulo beta buscado no se encuentre en el patrón, se realiza una interpolación de primer grado (interpolación lineal).

calc_int_ant

El método `calc_int_ant` halla el nivel de potencia recibido por la antena interferida desde la antena interferente. Para esto, el mismo invoca a los métodos mencionados anteriormente siguiendo el algoritmo presentado en el capítulo 4 y halla las pérdidas en espacio libre para luego aplicar la ecuación de Friis.

nivel_int

El usuario debe proporcionar una tabla, en formato Excel, con los niveles de interferencia que considera aceptables para diferentes Δf . Este método busca el nivel de interferencia permitido en esta tabla, utilizando interpolación lineal.

calc_int_misma_torre

Como se menciona en capítulos anteriores, para el caso en que la distancia no supere los 30 metros se considera que las antenas se encuentran en la misma torre, y no se utiliza el modelo de campo lejano. Este método determina el nivel de interferencia entre la antena interferida y la interferente, considerando el modelo de antenas en la misma torre descrito en el capítulo 4.

_decido_int_torre

Para cada diferencia de frecuencia entre la antena interferida y la interferente existe cierto nivel de interferencia permitida, que el usuario debe ingresar en formato Excel junto con los demás datos.

Este método proporciona, a partir de la diferencia de frecuencia, el nivel de interferencia permitido correspondiente, obtenido de la tabla. El método realiza también, en caso de ser necesario, interpolación lineal.

interferencia

Este método almacena los siguientes niveles en cada instancia Antena: los niveles de interferencia puntual para cada antena interferente, los niveles de interferencia global dependiendo de las frecuencias de transmisión de las antenas interferentes y los niveles de interferencia en la misma torre. También almacena sus respectivos umbrales y un parámetro que indica si existe interferencia o no en cada caso.

5.II-A.3 *La clase Interferencia*

5.II-A.3-a *Métodos de la clase Interferencia*

La instancia Interferencia de cada Antena se utiliza para llevar un registro de los niveles de potencia de recepción.

5.II-A.3-b *Principales atributos de la clase Interferencia*

antena, enlace y nomEnlace: Estos tres campos se utilizan para almacenar el número de antena que está interfiriendo, el número de enlace al que pertenece la antena y el tipo de enlace (nuevo o existente) respectivamente.

frecuencia: Este campo indica la frecuencia a la que transmite la antena interferente.

deltaF: Es necesario almacenar la diferencia de frecuencia que existe entre la frecuencia que transmite la antena transmisora y la frecuencia que recibe la antena interferida. Es por eso que se crea este campo en la clase Interferencia.

pol: Dado que, para un mismo Δf de frecuencia, es necesario diferenciar las interferencias según sean de una antena con igual o distinta polarización que la antena interferida, es necesario almacenar la polarización de la antena interferente.

nivellnt: En este campo se guarda el nivel de potencia que está recibiendo la antena interferida, exista o no interferencia. En el caso de la interferencia global se guarda la suma de las interferencias puntuales a la misma Δf .

umbral: Este campo registra los niveles de potencia permitidos para el Δf almacenado, lo cual es útil para la decisión futura del cliente.

hayInterPunt: En el caso de que exista interferencia puntual o global de otra u otras antenas respectivamente, sobre la antena interferida, se debe registrar en este campo.

5.II-A.3-c *Constructor de la clase Interferencia*

El único método que posee esta clase es un constructor que inicializa todos los atributos de interferencia mencionados antes.

5.II-A.4 *La clase ListaDeInterferencia*

La clase *ListaDeInterferencia* es una colección creada por los autores del proyecto, que utiliza la colección de Java `ArrayList`, redefiniendo algunos métodos de ésta y creando otros que son útiles para la aplicación [32].

El cometido de esta colección es llevar tres registros de interferencias por antena de las interferencias: lista de interferencia puntual (`listIntPunt`), lista de interferencia en la misma torre (`listIntMismaTorre`) y lista de interferencia global (`listInt`); todos ubicados en la clase `Antena`. Cada una está formada por instancias de la clase `Interferencia`.

Para esto se definen los siguientes métodos:

5.II-A.4-a Métodos de la clase ListaDeInterferencia

`getListl`

Este método retorna el `ArrayList` compuesto por `Interferencias`.

`getInterferencia`

Se redefine el método `get` de la clase `ArrayList`. Al ingresarle el índice en donde se ubica la interferencia buscada (puntual, global o en la misma torre), este método devuelve su instancia.

`hayFrec`

Para el caso de interferencias globales, éstas se deben agrupar en instancias de `Interferencia`, según sus frecuencias de recepción. Dada una frecuencia y el tipo de polarización, este método realiza una búsqueda en la lista de interferencias, que encuentra la `Interferencia` correspondiente.

`enclnterf`

Para el caso de interferencias puntuales, y dados el número de la antena, del enlace y si éste es existente o nuevo, este método busca en la lista de interferencias la instancia `Interferencia`.

`agregar`

Se definen dos métodos con este mismo nombre, diferenciándose según los parámetros que se ingresen. Uno recibe una instancia `Interferencia` y la agrega al final de la lista; el otro recibe además el índice de la lista donde se quiere agregar.

5.II-A.5 *La clase Ubicación*

En esta clase se guardan las coordenadas geográficas de la antena: latitud, longitud y altura de la antena, y el lugar físico donde se encuentra la misma: localidad y departamento.

5.II-A.5-a *Atributos de la clase Ubicación*

latGrad, latMin, latSec, longGrad, longMin, longSec, alt, cotaTerr, altTotal: Estos parámetros describen la ubicación geográfica de la antena, quedando almacenadas la latitud y la longitud, ambas en grados, minutos y segundos, la altura de la antena, la cota del terreno y la altura total de cada instancia de la clase Antena.

lat, lon: En el constructor de esta clase se almacena la latitud y la longitud de la antena en grados, utilizando los atributos mencionados antes.

5.II-A.5-b *Métodos de acceso y definición de parámetros*

Para cada atributo de esta clase se tiene un método de acceso y un método de definición (get y set).

5.II-A.5-c *Constructor de la clase Ubicación*

En esta clase también es el constructor el único método que inicializa todos los atributos de Ubicación

5.II-A.6 *Clase Enlacekl*

La clase Enlacekl, se construye con dos instancias de enlaces (ek, el), y es simplemente una clase auxiliar que se utiliza para realizar los cálculos del análisis de interferencia para los ocho siguientes casos posibles, dependiendo a qué antena se le está calculando la potencia de recepción, es decir:

- análisis de interferencia de la antena 1 del enlace k desde la antena 1 del enlace l, y viceversa
- análisis de interferencia de la antena 1 del enlace k desde la antena 2 del enlace l, y viceversa
- análisis de interferencia de la antena 2 del enlace k desde la antena 1 del enlace l, y viceversa
- análisis de interferencia de la antena 2 del enlace k desde la antena 2 del enlace l, y viceversa

5.II-B Paquete lógica

El SW tiene dos cometidos: el análisis de la interferencia y la búsqueda de una combinación de frecuencias para los enlaces nuevos en ausencia de interferencia. Como se observó en el caso de uso de la figura 5.1, el *package* lógica es el que lleva a cabo la realización de los cálculos. La siguiente figura 5.3 muestra el diagrama UML del *package* lógica:

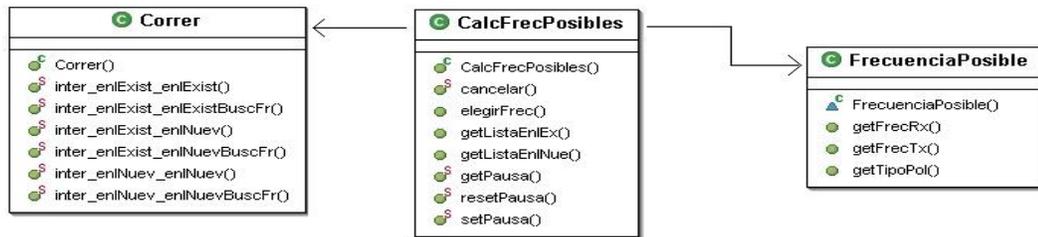


Figura 5.3 Diagrama UML del paquete lógica

Algunas de las clases que componen este *package* son: clase correr, clase calc frec posibles y clases frec posibles. Se describen a continuación.

5.II-B.1 Clase Correr

Esta clase es la encargada de realizar el análisis de interferencia entre los enlaces. Por esta razón no contiene atributos, sino únicamente métodos que se detallan a continuación.

Para la implementación del análisis se dividieron los cálculos en tres métodos que realizan los mismos procedimientos pero se aplican a distintos grupos de enlaces.

Inter_enExist_enExist

Con este método se halla el nivel de potencia recibida por cada enlace existente desde el resto de los enlaces existentes. Se asume que los enlaces existentes no se interfieren entre sí, es por esto que sólo se calcula el nivel de potencia recibida por cada antena y no se analizan interferencias.

Este método itera para hallar las potencias recibidas por cada antena, desde el resto de las antenas de los enlaces. Además, en cada iteración, crea una instancia de la clase Enlacekl, a la cual pasa como parámetros dos enlaces existentes: un enlace k y un enlace l.

Este método itera para hallar las potencias recibidas sobre cada antena, desde las antenas del resto de los enlaces. Además, en cada iteración, crea una instancia de la clase Enlacekl, pasándole como parámetros dos enlaces existentes: un enlace k y un enlace l.

`inter_enINuev_enINuev` , `inter_enExist_enINuev`

Estos métodos realizan un procedimiento similar al realizado por el método anterior, pero en este caso los enlaces que se le ingresan a la instancia del Enlacekl son: dos enlaces nuevos en el primer caso y un enlace existente y un enlace nuevo en el segundo caso. En estos métodos no sólo se halla la potencia recibida sino que se compara ésta con el umbral de interferencia proporcionado por el usuario.

5.II-B.2 Clase *FrecPosibles*

Esta clase instancia las frecuencias posibles, dependiendo de la frecuencia de transmisión, frecuencia de recepción y la polarización de la antena.

5.II-B.3 Clase *CalcFrecPosibles*

El SW permite además, realizar una reelección de las frecuencias de los enlaces nuevos para que el sistema esté libre de interferencia. Como ya se dijo, se considera que esto es una función agregada al programa, que aporta un gran valor al mismo.

La clase *CalcFrecPosibles* se compone de un único constructor, el cual crea las distintas posibilidades de frecuencias, dadas por la Tabla 5.1; y un método *elegirFrecuencia*, que halla la combinación de frecuencias para los enlaces nuevos para que no exista interferencia en el sistema.

El usuario ingresa las parejas de frecuencias candidatas en una planilla Excel, como se explicó en el capítulo 4. Por cada pareja existen cuatro posibilidades de utilización de las frecuencias para cada enlace. Con estos cuatro casos se realiza una lista con todas las posibilidades por antena, como se muestra en la tabla 5.1:

Posibilidad	FrecTx	FrecRx	Polorización
1	f_1	f_2	H
2	f_2	f_1	H
3	f_1	f_2	V
4	f_2	f_1	V
5	f_3	f_4	H
...
...

Tabla 5.1 Parejas de frecuencias candidatas

Para hallar la combinación de frecuencias buscada se deben ir cambiando las frecuencias de transmisión y recepción de los enlaces nuevos hasta encontrar una configuración en dónde no exista interferencia.

Para realizar la elección de las frecuencias a utilizar, en cada iteración se siguen los siguientes pasos:

- i) Se redefinen todas las frecuencias de transmisión y recepción de los enlaces nuevos utilizando la posibilidad de frecuencia 1 mostrada en la tabla 5.1. De esta manera, las antenas 1 de todos los enlaces transmitirán a f_1 y recibirán a f_2 con polarización horizontal, y las antenas 2 transmitirán a f_2 y recibirán a f_1 con polarización horizontal.
- ii) Si la configuración elegida no sirve, se cambian las frecuencias del enlace 1 por la posibilidad 2 de la tabla, dejando el resto de los enlaces con la misma frecuencia. Nuevamente se calcula y se chequea el nivel de interferencia.
- iii) Se continúan cambiando las frecuencias al enlace 1 según la tabla hasta llegar a la última pareja de frecuencias.
- iv) Si aún no se encuentra la configuración deseada, se define para el enlace 2 la segunda posibilidad de frecuencias y se cambia en cada iteración la frecuencia del enlace 1 siguiendo el orden de la tabla, del mismo modo que en los pasos anteriores.
- v) Este procedimiento se reitera hasta encontrar la combinación de frecuencias buscada.

A continuación se muestra la tabla 5.2 con las iteraciones descritas anteriormente:

Configuración	E _{1NUEVO}	E _{2NUEVO}	E _{3NUEVO}	E _{4NUEVO}	E _{5NUEVO}	E _{nNUEVO}
1	1	1	1	1	1		1
2	2	1	1	1	1		1
3	3	1	1	1	1		1
4	4	1	1	1	1		1
...
...
n	n	1	1	1	1		1
n+1	1	2	1	1	1		1
n+2	2	2	1	1	1		1
...
n+n	n	2	1	1	1		1
n+n+1	1	3	1	1	1		1
...

Tabla 5.2 Esquema de iteraciones para n parejas de frecuencias

Para realizar la búsqueda de la configuración de las frecuencias, se realiza el análisis de interferencia verificando primero que no exista interferencia puntual entre los enlaces nuevos, luego entre los enlaces nuevos y existentes y finalmente entre los existentes, chequeando en cada caso y en cada iteración que no se produzca interferencia. Si luego de esto, no se ha encontrado interferencia entre los enlaces, se continúa analizando la interferencia global entre los enlaces existentes y nuevos.

El diagrama de la figura 5.4 permite visualizar mejor el procedimiento explicado para una topología de n enlaces nuevos y m enlaces existentes:

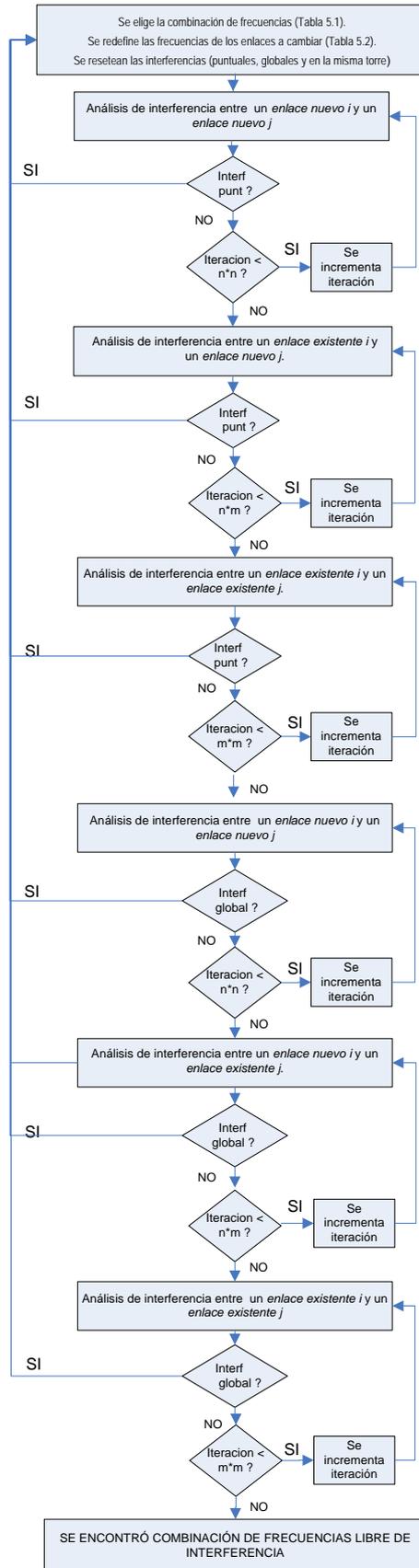


Figura 5.4 Procedimiento de búsqueda de nuevas frecuencias

5.II-C Paquete datos

Como ya se ha mencionado, el SW interactúa con el programa Excel. Esta interacción ocurre en dos situaciones: cuando el usuario ingresa archivos Excel con los datos de entrada, y cuando el SW presenta un archivo Excel con los resultados obtenidos en el análisis de interferencia.

Para que exista una autonomía entre la parte de cálculos del problema, y la lectura, almacenamiento y presentación de los resultados; se realiza este *package datos*, independiente del *package lógica*.

Tanto para la lectura como para la escritura de archivos Excel se hace uso de la librería externa *org.apache.poi.hssf.usermodel* [38]. Esta librería tiene métodos implementados para la manipulación de archivos *.xls.

El usuario ingresa al programa dos archivos Excel. Un primer archivo que contiene cinco hojas, las cuales son:

- *hoja EnExist* : datos de todos los enlaces existentes
- *hoja EnNue* : datos de todos los enlaces nuevos
- *hoja IntCampLej* : umbrales de interferencia para campo lejano
- *hoja IntMisTorre* : umbrales de interferencia para la misma torre
- *hoja FrecPosibles*: parejas de frecuencias candidatas para la búsqueda de la configuración de los enlaces nuevos en ausencia de interferencia.

Y un segundo archivo que contiene los distintos patrones de las antenas, ingresando dos patrones por cada antena. Uno para utilizar cuando el análisis de interferencia se realiza para antenas de igual polarización y otro cuando tienen distintas polarizaciones.

La lectura de los patrones se realiza cuando se crea cada instancia de Antena, y estos se almacenan al ejecutar el constructor de esta clase. Sin embargo, la lectura de las distintas hojas del archivo de datos, se hace en las clases del *package datos*.

Se crea una clase para el almacenamiento de cada hoja, como se muestra en el diagrama UML de este *package*:

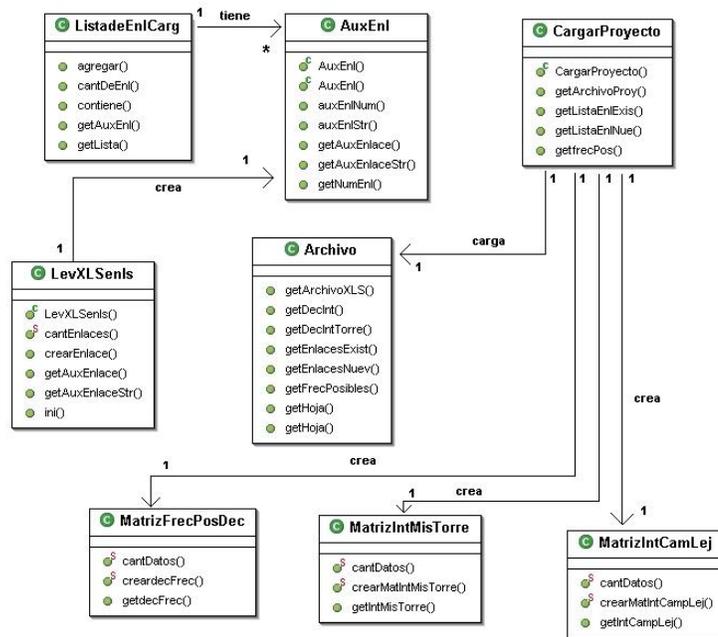


Figura 5.5 Diagrama UML del paquete datos.

Este *package* contiene también una clase que se usa para la presentación de los resultados en formato de archivo Excel. Para esto, se crea un archivo Excel con dos hojas: una contiene los niveles de interferencia puntuales por antena junto con el umbral de decisión, y la otra contiene los niveles de interferencia globales según las frecuencias de recepción con sus respectivos umbrales.

Para la exposición de los resultados es necesario extraer la información de otros elementos de la estructura del SW, como se muestra en la siguiente figura:

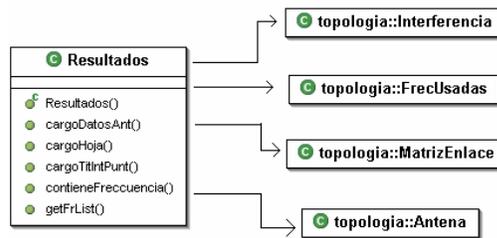


Figura 5.6 Clase Resultados y su interacción con otras clases.

5.II-D Paquete InterfazUsuario

En cuanto al diseño del programa, el objetivo es realizar una herramienta de SW que implemente una plataforma de trabajo amigable. Para esto se opta por usar una interfaz gráfica que utiliza ventanas para la interacción con el usuario., dado que éstas son comunes en el mercado de software y facilitan la tarea del usuario con la utilización de menús

Para la realización de la interfaz gráfica se utiliza el AWT (*Abstract Windows Toolkit*), además del *package javax.swing*. Ambos permiten construir interfaces gráficas de usuario [37].

Para construir una interfaz gráfica de usuario hace falta:

- Un “contenedor” o *container*, que es la ventana o parte de la ventana donde se sitúan los distintos componentes tales como botones y barras de desplazamiento.
- Los *componentes*: menús, botones de comando, barras de desplazamiento, cajas y áreas de texto, botones de opción y selección.
- Un *modelo de eventos*. El usuario controla la aplicación actuando sobre los componentes. Cada vez que el usuario realiza una determinada acción, se produce el *evento* correspondiente, y el sistema operativo lo transmite al AWT. El componente u objeto que recibe el evento debe “registrar” o indicar previamente qué objeto se va a hacer cargo de gestionar ese evento.

5.II-D.1 Modo de uso de la interfaz usuario

A continuación se describe la utilización de la interfaz usuario.

Al ejecutar el programa, se abre una primera ventana que le presenta al usuario un primer nivel de menús, como se muestra en la figura 5.7.

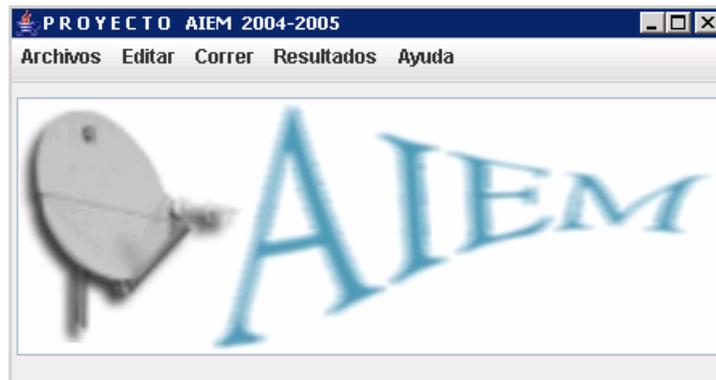


Figura 5.7 Ventana principal

El usuario debe ingresar al programa dos archivos Excel con los datos de entrada. Para esto debe desplegar el menú *Archivos*, figura 5.8, donde se brinda la opción de crear un Proyecto nuevo o abrir uno ya existente, cargado en alguna ruta dentro de la PC. También puede cargar los patrones de las antenas de los enlaces existentes y nuevos.

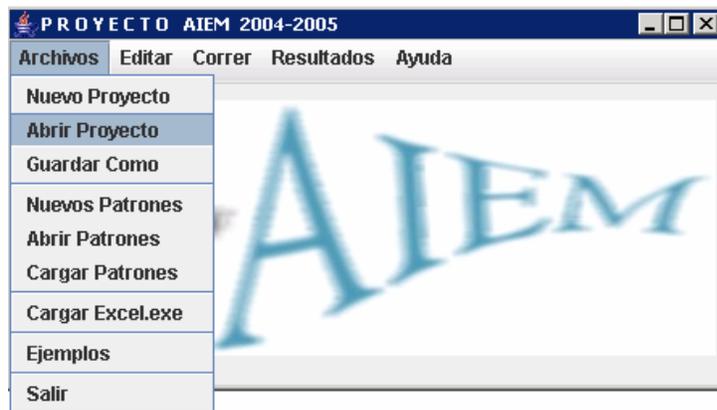
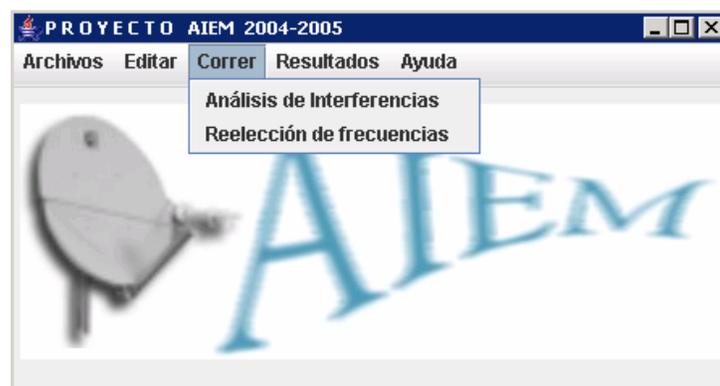


Figura 5.8 Menú Archivos de la ventana principal

Si el usuario desea ingresar un proyecto nuevo o un patrón nuevo se despliega en pantalla un archivo Excel con el formato correspondiente a lo que ha seleccionado, con las celdas vacías para ser completadas por el usuario.

Luego, el programa habilita al usuario la posibilidad de ejecutar el análisis, con la selección del menú *Correr*, dando la opción de realizar el análisis de interferencia, seleccionando *Análisis*, o la búsqueda de la combinación de frecuencias a la cual no exista interferencia, seleccionando *Reelección de frecuencias*, como se presenta en la figura 5.9.

Figura 5.9 Menú *Correr* de la ventana principal

Si la opción del usuario es *Análisis*, al finalizar la ejecución el programa el programa al finalizar la ejecución muestra un mensaje indicando la correcta ejecución del mismo. Se habilita el campo *Ver* en el menú *Resultados*, permitiendo al seleccionar esta opción el despliegue de los resultados obtenidos en una planilla Excel.

En cambio, si la opción es *Reelección de frecuencias*, se abre una ventana que indica la cantidad de iteraciones que se van realizando, y las que se estima que restan.



Figura 5.10 Ventana de estado de la reelección de frecuencias

A su vez, esta ventana, permite realizar una pausa en la búsqueda para continuar en otro momento o directamente cancelar la búsqueda.

Al finalizar la búsqueda, por haber encontrado la configuración de frecuencia o por haber realizado todas las iteraciones posibles sin éxito, se despliega un mensaje y, al igual que en el caso del análisis, se habilita el campo *Ver* en el menú *Resultados*.

Los resultados presentados pueden ser guardados en una ruta determinada de la PC accediendo al menú *Guardar de Archivos*.

Luego de finalizado el análisis, el usuario puede desear cambiar un dato o varios datos en un enlace en particular, o crear un nuevo enlace para luego volver a realizar los cálculos. Para estas dos alternativas, es necesario ingresar al menú *Editar*.

En caso querer modificar un enlace, se da la opción de elegirlo dentro de una lista de todos los enlaces nuevos e indicar cuál o cuáles parámetros se desean modificar:

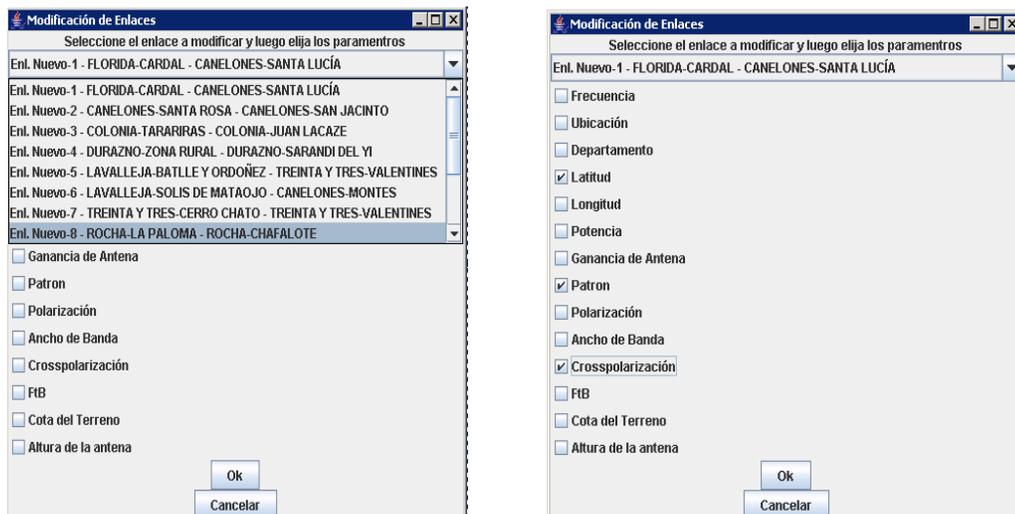


Figura 5.11 Ventana de modificación de enlaces

En caso de querer crear un nuevo enlace, se muestra en pantalla un ejemplo de enlace con todos los datos a ingresar, como se indica en la figura 4.9.

Figura 5.12 Ventana de creación de un nuevo enlace

5.II-E Paquete excepciones

5.II-E.1 Manejo de errores

Todo SW que necesite interactuar con el usuario, se encuentra propenso a todo tipo de errores. Y AIEM no es la excepción, dado que el usuario juega un papel principal al ingresar los datos.

Como se mencionó anteriormente se deben completar dos archivos Excel en la ejecución de un proyecto. Uno de estos, con los datos de los enlaces tanto existentes como nuevos junto con las decisiones de interferencia; y otro con los patrones de las antenas. Estos deben tener un determinado formato, que se indica en el tutorial, el cual es indispensable para la correcta ejecución del programa. Si este formato no es el correcto, el SW debe detectar dónde se produjo el error y notificárselo al usuario.

Por otro lado, existen datos que deben cumplir ciertas condiciones teóricas, las cuales también deben ser contempladas.

Este tipo de situaciones problemáticas, fueron tratadas con el manejo de excepciones de Java. Las excepciones aumentan, en gran medida, la robustez de las aplicaciones.

Las excepciones en Java están destinadas, al igual que en el resto de los lenguajes que las soportan, a la detección y corrección de errores. Si se produce un error, la aplicación no debería abortar. En su lugar debe lanzar una excepción para luego capturarla y resolver la situación de error.

Una excepción en Java es un objeto que deriva directa, o indirectamente, de la clase *Throwable*. Cualquier método de las múltiples clases de Java puede lanzar excepciones [32,34].

La clase *Throwable* tiene dos subclases: *Error* y *Exception*. Un *Error* indica que se ha producido un fallo no recuperable, del que no se puede recuperar la ejecución normal del programa. Los errores, normalmente, presentan un mensaje en el dispositivo estándar de salida y concluyen la ejecución del programa. Una *Exception* indica una condición anormal que puede ser subsanada para evitar la terminación de la ejecución del programa.

La figura 5.13 muestra parcialmente la jerarquía de clases relacionada con la clase *Throwable*:

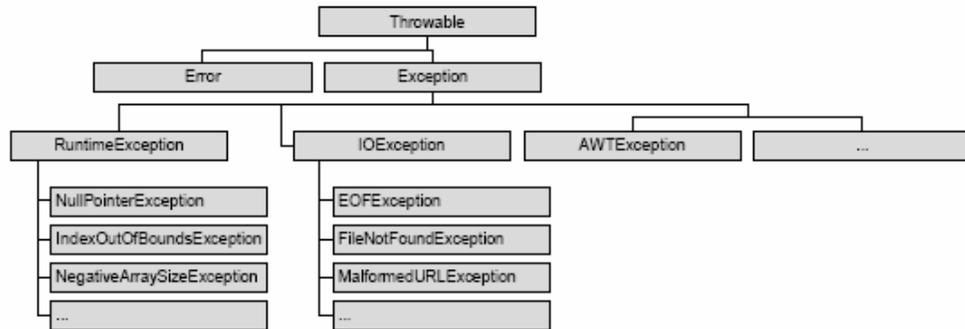


Figura 5.13 Jerarquía de clases derivada de Throwable

A su vez, se pueden crear otras excepciones con solo derivar de la clase *Exception*.

En este proyecto, se utilizó un *package* excepciones para agrupar todas las clases que heredan de la clase *Exception*, y se utilizan de contingencia para posibles errores que puede cometer el usuario al interactuar con el programa. A continuación se muestra el diagrama UML en la figura 5.14:

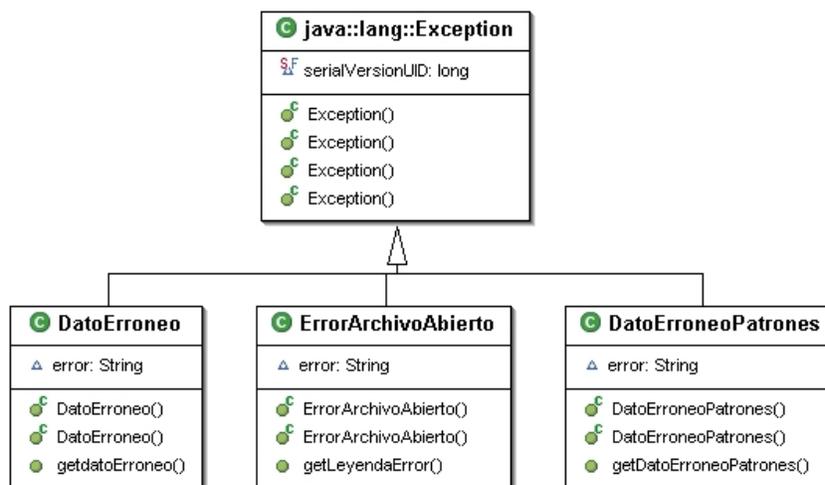


Figura 5.14 Diagrama UML del paquete excepciones

A continuación se enumeran las excepciones que fueron creadas, indicando el tipo de problema al que están orientadas y las soluciones que se plantean.

5.II-E.2 Excepción DatoErróneo

La excepción DatoErróneo aparece al detectar errores en los datos de entrada que el usuario ingresa en el primer archivo Excel. Estos errores son identificados por el programa en el momento de la lectura y almacenamiento de los archivos. Esta excepción puede producirse en las siguientes situaciones:

- un texto ingresado en una celda del archivo Excel cuando el SW espera un valor numérico,
- las polarizaciones de las dos antenas de un mismo enlace no coinciden,
- la latitud o la longitud, dadas en minutos o segundos superan el valor de 60,
- la latitud dada en grados supera los 90°, y la longitud supera los 180°,
- los datos de las antenas: potencias de transmisión, ganancias, ancho de banda, frente espalda, frecuencias o cospolarización, son negativos,
- el campo polarización recibe otra cosa que no sea H o V,
- no se encuentra alguna columna del formato establecido.

En todos los casos mencionados anteriormente, se presenta una ventana gráfica con un mensaje que indica el parámetro en el que se cometió el error, y a qué antena y enlace pertenece éste. El usuario debe corregirlo, para que el programa continúe su curso.

5.II-E.3 Excepción DatoErróneoPatrones

El usuario debe ingresar como dato de entrada en las planillas Excel el número de patrón correspondiente a cada antena, para que luego el SW lea del archivo Excel Patrones, dicho patrón y lo almacene. Si el usuario digita un número de patrón no existente en el archivo Patrón o el patrón al que corresponde el número ingresado no tiene un correcto nombre, se lanza la excepción PatrónErróneo, desplegando un mensaje de error indicando que existe un patrón que no se halla en la base de datos.

Esta excepción contempla también las siguientes situaciones:

- un texto ingresado en una celda del archivo Excel cuando el SW espera un valor numérico,
- que los ángulos correspondientes a las distintas ganancias sean mayores que 180°,
- que estos no se encuentren ordenados en forma creciente.
- que la planilla esté vacía, que no tenga elementos.

En caso de que alguna de estas situaciones se produzca, el programa avisará con un mensaje de error.

5.II-E.4 *Excepción ErrorArchivoAbierto*

Luego de haber ejecutado el programa y presentado el archivo Excel, si se desea volver a correrlo, se deben cerrar los archivos abiertos. De no ser así, se lanzará una excepción `ErrorArchivoAbierto` y con esta un mensaje de error indicando lo anterior.

Capítulo 6

Validación de Resultados

Resumen— Este capítulo corresponde a la validación del análisis de interferencia, utilizando dos métodos complementarios. En primer lugar, se eligen enlaces sobre los cuales se pueda realizar el análisis resaltando las variantes específicas de los mismos. Luego, se efectúa la comparación de los resultados obtenidos en este proyecto con datos de análisis provenientes de una empresa de telecomunicaciones A, en el cálculo de interferencia entre enlaces de microondas de su red intranet y de los enlaces de una empresa B en la banda de 6 GHz.

6.1 CRITERIOS DE VALIDACIÓN

TODO proyecto, necesita que se pruebe su eficiencia por medio de la validación de sus resultados, en lo posible a través de comparaciones con trabajos similares. En el caso de este proyecto, no se ha encontrado una implementación que realice lo mismo que el producto final AIEM, por lo que no es posible realizar esta comparación. No obstante, lo que sí se realiza es un estudio de la coherencia de los resultados obtenidos en la ejecución del programa, por medio de ejemplos sencillos, y una comparación de resultados dentro de ciertas consideraciones con los provistos por la empresa A.

De esta manera, para determinar que los resultados sean correctos se establecen principalmente dos caminos. En el primero, se realiza el análisis de interferencia de una “forma canónica”, a partir de varias configuraciones de enlaces, contemplando la mayor cantidad de casos posibles y evaluando sus resultados.

En una segunda instancia se analiza un ejemplo conocido de análisis real utilizado por la empresa A, en su red intranet. En este caso, se cuenta con cálculos realizados por esta empresa para un conjunto de enlaces, los niveles de interferencia obtenidos junto con los criterios de interferencia y la distinción de los casos de interferencias hallados. Se verá en el análisis que algunos resultados difieren, y se buscarán las causas de estas diferencias.

Ambas alternativas fueron estudiadas para los dos programas AIEM obtenidos, tanto en lenguaje Matlab como en lenguaje Java. Lo que ocurre en Matlab es que tiene restricciones gráficas y de almacenamiento de los datos en Excel, por lo que la presentación de resultados se realiza en pantalla y únicamente para las antenas que están siendo interferidas; por el contrario Java permite la generación de una nueva planilla Excel, *Resultados*, que posibilita la visualización de todos los valores obtenidos.

Por otro lado, los algoritmos de cálculo en las dos versiones del programa son similares, ya que primero se realizó en Matlab, donde se lograron resultados aceptables y luego se pasó a la versión en Java, basada en la primera, con modificaciones en su estructura de acuerdo a los requerimientos de este lenguaje, pero manteniendo la lógica y los resultados.

En conclusión, en este capítulo se describe la verificación del análisis para Java, pero debe quedar claro que los resultados se pueden aplicar a ambos programas, ya que son coincidentes.

Incluso, en una primera instancia se pensó que Matlab podría ayudar en la verificación de Java, al cumplirse una igualdad de resultados. Pero se concluyó, que esto únicamente permite verificar que el mecanismo del programa es correcto, pero no así verificar correctos resultados del análisis, ya que ambos programas mantienen la misma lógica.

6.II ANÁLISIS DE RESULTADOS DE FORMA CANÓNICA

Este análisis de forma canónica consiste en analizar ejemplos sencillos de forma que se visualice la coherencia de los resultados, y se establezcan de forma clara y ordenada cada una de las consideraciones realizadas en los capítulos precedentes.

Para esta comprobación de funcionamiento, se analizan varios casos de enlaces con distintas consideraciones. Los casos a analizar son los siguientes:

- Un enlace existente y un enlace nuevo distantes, es decir considerando solamente campo lejano.
- Un enlace existente y un enlace nuevo situados en una misma torre.
- Varios enlaces existentes y varios enlaces nuevos.

6.II-A Consideraciones generales.

Para facilitar la asimilación del problema y los cálculos a realizar, se consideran algunos parámetros como válidos a lo largo de todo este capítulo, como ser los patrones de las antenas, la banda de transmisión y el ancho de banda. Se utilizan valores hipotéticos únicamente con fines de comprobación.

Es así que los enlaces pertenecen a la banda de transmisión de 7 GHz y cada antena tiene un ancho de banda de transmisión y recepción de 7 MHz según la Recomendación UIT-R F.385-8 [28] para transmisiones digitales en 7 GHz de enlaces en microondas punto a punto.

Se utilizan dos tipos de patrones según las especificaciones descritas en capítulos anteriores; estos patrones se encuentran en la tabla B.1 del apéndice B. Los umbrales utilizados en esta sección se encuentran en las tablas B.2 y B.3 del apéndice B, y corresponden a los umbrales de interferencia en campo lejano y de interferencia en antenas en una misma torre respectivamente.

6.II-B Un enlace existente y un enlace nuevo en campo lejano

Se consideran los siguientes enlaces:

Enlace Existente.

Antena	Frec.Trans.	Latitud	Longitud	Pot.RF	G ant.	Patrón	Pol.	Crossp.	FtB
1	7435 MHz	32° 53' 02"	55° 37' 52 "	25,0 dBm	41,3 dBi	patron1	V	25,0 dB	15,0 dB
2	7596 MHz	33° 07' 55"	55° 37' 41'	24,0 dBm	39,0 dBi	patron1	V	30,0 dB	14,0 dB

Tabla 6.1 Datos de enlace existente

Enlace Nuevo

Antena	Frec.Trans.	Latitud	Longitud	Pot.RF	G ant.	Patrón	Pol.	Crossp.	FtB
1	7435 MHz	32° 59' 42"	55° 37' 10"	23,0 dBm	41,0 dBi	patron2	H	26,0 dB	17,0 dB
2	7596 MHz	32° 45' 10"	55° 38' 59"	24,5 dBm	43,1 dBi	patron2	H	24,0 dB	18,0 dB

Tabla 6.2 Datos de enlace nuevo

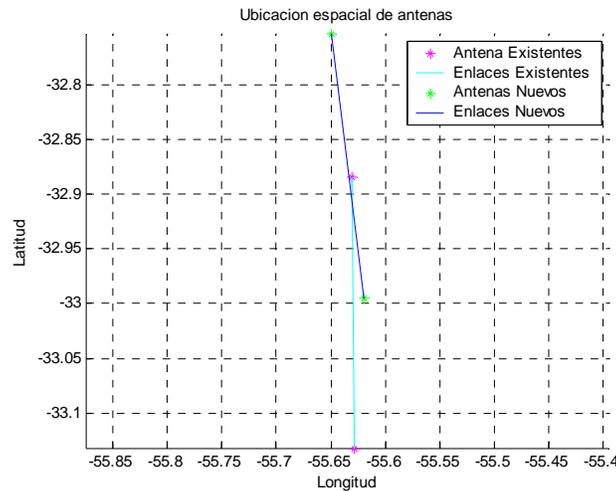


Figura 6.1 Ubicación representativa de los enlaces

6.II-B.1 Cálculos previos.

Como se establece en el capítulo 4, para realizar el cálculo de interferencia en campo lejano se deben realizar los siguientes cálculos previos:

6.II-B.1-a Distancias.

Como se definió, la distancia entre dos antenas es:

$$d_{\theta} = \cos^{-1}(\text{sen}(\varphi_1)\text{sen}(\varphi_2) + \cos(\varphi_1)\cos(\varphi_2)\cos(\phi_1 - \phi_2)) \quad \text{Ec. 4.1}$$

$$d_{km} = 6371 * d_{\theta} \quad \text{Ec. 4.2}$$

Por tanto, las distancias entre las antenas para este ejemplo son:

Distancias entre antenas		Enlace existente		Enlace nuevo	
		Antena 1	Antena 2	Antena 1	Antena 2
Enlace existente	Antena 1		27,6 Km	12,4 Km	14,7 Km
	Antena 2	27,6 Km		15,3 Km	42,3 Km
Enlace nuevo	Antena 1	12,4 Km	15,3 Km		27,1 Km
	Antena 2	14,7 Km	42,3 Km	27,1 Km	

Tabla 6.3 Distancias entre antenas

6.II-B.1-b Ángulos acimutales.

De acuerdo a lo establecido en el capítulo 4 el ángulo acimutal se calcula:

$$\text{ang azim}_{12} = \cos^{-1} \left[\frac{\text{sen}(\varphi_2) - \text{sen}(\varphi_1)\cos(d_{\theta})}{\text{sen}(d_{\theta})\cos(\varphi_1)} \right] \quad \text{Ec. 4.3}$$

Considerando todas las antenas y aplicando la ecuación anterior se obtiene:

Ángulo acimutal		Enlace existente		Enlace nuevo	
		Antena 1	Antena 2	Antena 1	Antena 2
Enlace existente	Antena 1		359,41 °	354,96 °	173,20 °
	Antena 2	179,41 °		183,01 °	177,26 °
Enlace nuevo	Antena 1	174,97 °	3,02 °		354,00 °
	Antena 2	353,19 °	357,25 °	354,00 °	

Tabla 6.4 Ángulos acimutales

Para el cálculo del ángulo acimutal, se consideran como antenas base las que se encuentran en las columnas.

6.II-B.1-c Ángulo beta

El ángulo beta necesario para calcular la disminución de ganancia de las antenas es:

Ángulo beta		Enlace existente		Enlace nuevo	
		Antena 1	Antena 2	Antena 1	Antena 2
Enlace existente	Antena 1			0,96 °	359,19 °
	Antena 2			189,02 °	3,25 °
Enlace nuevo	Antena 1	355,56 °	3,61 °		
	Antena 2	173,78 °	357,84 °		

Tabla 6.5 Ángulo Beta

En la tabla 6.5 se considera el ángulo beta desde las antenas ubicadas en las columnas hacia las antenas ubicadas en las filas.

6.II-B.2 Cálculo de interferencia

Para determinar la interferencia entre antenas resta calcular la disminución de la ganancia de cada antena hacia y desde la antena interferida e interferente respectivamente, a partir de los datos anteriores.

6.II-B.2-a Ganancias

Para calcular la ganancia de las antenas se debe tener en cuenta el tipo de polarización, el ángulo beta, y el patrón.

En el caso de tener polarizaciones distintas, se debe calcular la ganancia de las antenas para ambas polarizaciones, como se explica en capítulos anteriores. Cuando los enlaces trabajan con distintas polarizaciones se deben considerar las dos situaciones que siguen:

- La antena 1 transmite con su propia polarización de trabajo, lo que implica que se utilice el patrón de misma polarización para el cálculo de ganancia en esta antena; la antena 2, debido a efectos de no idealidad, recibe en la polarización a la que trasmite la antena 1, opuesta a su propia polarización, lo que significa que se utilice el patrón de distinta polarización para el cálculo de ganancia de la antena 2.
- La antena 1, debido a su no idealidad transmite con polarización opuesta a la que esta antena trabaja, lo que implica que se utilice el patrón de distinta polarización para el cálculo de ganancia de esta antena; la antena 2 recibe con su propia polarización de trabajo, lo que significa que se utilice el patrón de misma polarización para el cálculo de ganancia de esta antena.

Para realizar el cálculo de la ganancia de la antena 1 del enlace existente, hacia la antena 1 del enlace nuevo se conoce que:

- Las antenas poseen distinta polarización entre ellas.
- El ángulo de desviación de máxima ganancia de la antena 1 (ángulo beta) es: 355.5°.
- Esta antena sigue el modelo de patrón presentado como Patrón1, por lo que al ángulo beta presenta:

Ángulo	Ganancia Misma Pol.	Ganancia Distinta Pol.
355,56	-22 dB	-34.85 dB

En este caso se puede notar que el ángulo beta no se encuentra en la tabla del patrón (tabla B.1), por tanto se debe interpolar entre los dos ángulos más próximos.

De forma similar se obtienen todas las ganancias desde las antenas en las columnas hacia las antenas de las filas:

Ganancia para misma polarización		Enlace existente		Enlace nuevo	
		Antena 1	Antena 2	Antena 1	Antena 2
Enlace existente	Antena 1			-4,8 dB	-1.5 dB
	Antena 2			-63,7 dB	-23,9 dB
Enlace nuevo	Antena 1	-22,3 dB	-39.4 dB		
	Antena 2	-64,0 dB	-30,0 dB		

Tabla 6.6 Disminución de ganancia de antenas con misma polarización

Ganancia para distinta polarización		Enlace existente		Enlace nuevo	
		Antena 1	Antena 2	Antena 1	Antena 2
Enlace existente	Antena 1			-31,3 dB	-30.7 dB
	Antena 2			-68.8 dB	-38.0 dB
Enlace nuevo	Antena 1	-34,9 dB	-39,5 dB		
	Antena 2	-64,7 dB	-30,0 dB		

Tabla 6.7 Disminución de ganancia de antenas con distinta polarización

Otro factor que se debe tener en cuenta para realizar el cálculo de interferencia es la pérdida en espacio libre que se calcula según la siguiente ecuación:

$$L_0 = 20 \log \left[\frac{4\pi d_{km} f_2}{c} \right] = 92,4 + 20 \log(d_{km}) + 20 \log(f_2 [GHz]) \quad \text{Ec. 2.5}$$

La frecuencia de la ecuación de pérdida en espacio libre corresponde a la frecuencia de transmisión de la antena que emite la interferencia. De esta manera, en el caso de analizar la interferencia sobre la antena 1 existente ocasionada por la antena 1 nueva, la frecuencia será la de transmisión de la antena 1 del enlace nuevo.

Pérdidas en espacio libre		Enlace existente		Enlace nuevo	
		Antena 1	Antena 2	Antena 1	Antena 2
Enlace existente	Antena 1			131,7 dB	133,4 dB
	Antena 2			133,5 dB	142,6 dB
Enlace nuevo	Antena 1	131,9 dB	133,5 dB		
	Antena 2	133,4 dB	142,4 dB		

Tabla 6.8 Pérdidas en espacio libre

La interferencia que recibe la antena está determinada por la ecuación de Friis de la siguiente forma:

$$P_r = P_t + G_t + G_r - C_t - C_r - L_o + 10 \log \left(10^{\frac{C_t}{10}} + 10^{\frac{C_r}{10}} \right) \quad \text{Ec. 2.14}$$

Y las interferencias obtenidas son:

Interferencias		Enlace existente		Enlace nuevo	
		Antena 1	Antena 2	Antena 1	Antena 2
Enlace existente	Antena 1			-66 dB	-90,7 dB
	Antena 2			-119,2 dB	-80,6 dB
Enlace nuevo	Antena 1	-64,2 dB	-118,2 dB		
	Antena 2	-90,2 dB	-80,9 dB		

Tabla 6.9 Niveles de interferencias en campo lejano

Una vez realizado el cálculo de interferencia entre antenas, se debe hallar el umbral por el cual cada antena podrá estar interferida.

Para este cálculo, se utiliza el criterio explicado en la sección 4.1-C.2. Para hallar el umbral particular sobre cada antena se calcula el Δf entre la frecuencia de transmisión de la antena interferente y la frecuencia de recepción de la antena transmisora. Luego se evalúa el umbral en la tabla B.2. En caso de no encontrar el Δf buscado, se interpola entre los dos más próximos; si el Δf es mayor al último valor presentado en la tabla de umbrales, se utiliza éste como umbral.

Por ejemplo, en el primer caso de interferencia desde la antena 1 del enlace nuevo hacia la antena 1 del enlace existente se tiene:

- Frecuencia de transmisión de antena 1 nueva: 7435 MHz
- Frecuencia de recepción de antena 1 existente: 7435 MHz.

Entonces $\Delta f = 0\text{MHz}$. Además se sabe que los dos enlaces tienen distinta polarización entre ellos, por tanto el umbral en este caso es -60 dB.

Los casos restantes de diferencias de frecuencia son:

Δf		Enlace nuevo	
		Antena 1	Antena 2
Enlace existente	Antena 1	0 MHz	161 MHz
	Antena 2	161 MHz	0 MHz

Tabla 6.10 Diferencias de frecuencias

Como resultado de todos los procedimientos anteriores para la culminación del análisis, el usuario del programa ve la siguiente tabla.

Interferentes								
Interferidos	E-1.1		E-1.2		N-1.1		N-1.2	
Identificación	Interf.	Umbral	Interf.	Umbral	Interf.	Umbral	Interf.	Umbral
E-1.1					-66,0 dB	-60,0 dB	-90,7 dB	21,0 dB
E-1.2					-119,2 dB	21,0 dB	-80,6 dB	-60,0 dB
N-1.1	-64,2 dB	-60,0 dB	-118,2 dB	21,0 dB				
N-1.2	-90,2 dB	21,0 dB	-80,9 dB	-60,0 dB				

Tabla 6.11 Resultados de interferencias AIEM

Además, AIEM presenta una tabla con interferencias globales, que en este caso, al haber únicamente dos enlaces, no tiene sentido ya que presenta los mismos valores que en interferencia puntual.

Un aspecto importante a analizar es cómo varían los resultados anteriores frente a algunos cambios en el enlace nuevo. Por ejemplo, si se cambia la polarización del enlace nuevo a *vertical*. Con este cambio se obtienen las siguientes diferencias respecto al análisis anterior:

Tanto las distancias como los ángulos son dependientes de la ubicación de las antenas, por lo cual no presentan modificaciones. La pérdida en espacio libre tampoco se modifica ya que depende únicamente de las distancias y las frecuencias de las antenas.

La variable que genera una diferencia en el nivel de la interferencia, es la disminución de la ganancia obtenida de los nuevos patrones, correspondientes a una propagación con igual polarización en

la transmisión que en la recepción. Este valor también depende del ángulo beta, y los resultados obtenidos son:

Ganancia para misma polarización		Enlace existente		Enlace nuevo	
		Antena 1	Antena 2	Antena 1	Antena 2
Enlace existente	Antena 1			-4,8 dB	-1.5 dB
	Antena 2			-63,7 dB	-23,9 dB
Enlace nuevo	Antena 1	-22,3 dB	-39.4 dB		
	Antena 2	-64,0 dB	-30,0 dB		

Tabla 6.12 Ganancia del patrón de misma polarización

Las interferencias generadas resultan:

Interferidos	Interferentes							
	E-1.1		E-1.2		N-1.1		N-1.2	
	Inter.	Umbral	Inter.	Umbral	Inter.	Umbral	Inter.	Umbral
Identificación								
E-1.1					-53,6 dB	-90,0 dB	-90,0 dB	40,0 dB
E-1.2					-114,4 dB	40,0 dB	-67,0 dB	-90,0 dB
N-1.1	-51,8 dB	-90,0 dB	-113,4 dB	40,0 dB				
N-1.2	-89,5 dB	40,0 dB	-67,3 dB	-90,0 dB				

Tabla 6.13 Resultados para misma polarización AIEM

En este caso se observa, que el umbral de interferencia se modifica. Éste debe ser más restrictivo dado que ambos enlaces transmiten a la misma polarización. De la misma manera el nivel de interferencia aumenta, ya que las antenas transmiten y reciben en la misma polarización y tienen un ángulo beta muy pequeño.

Como se observa en la tabla anterior las siguientes antenas están interferidas:

- Antena 1 existente interferida por Antena 1 nueva
- Antena 2 existente interferida por Antena 2 nueva
- Antena 1 nueva interferida por Antena 1 existente
- Antena 2 nueva interferida por Antena 2 existente

A continuación se analiza qué sucede si en este último caso se modifica la frecuencia a un canal adyacente.

Por ejemplo, si se modifica la frecuencia del enlace nuevo a:

- Antena 1: 7442 MHz
- Antena 2: 7603 MHz

Se obtiene:

Interferidos	Interferentes							
	E-1.1		E-1.2		N-1.1		N-1.2	
Identificación	Inter.	Umbral	Inter..	Umbral	Inter..	Umbral	Inter.	Umbral
E-1.1					-53,6 dB	-60,0 dB	-90,0 dB	40,0 dB
E-1.2					-114,4 dB	40,0 dB	-67,0 dB	-60,0 dB
N-1.1	-51,8 dB	-60,0 dB	-113,4 dB	40,0 dB				
N-1.2	-89,5 dB	40,0 dB	-67,3 dB	-60,0 dB				

Tabla 6.14 Resultados AIEM

Fácilmente se observa que los niveles de interferencia recibidos por las antenas no varían. Esto se debe a que el único valor modificado fue la frecuencia, y por tanto el valor de pérdida por espacio libre. Sin embargo, al haber cambiado la frecuencia del enlace a un canal adyacente, la variación de pérdida por espacio libre es insignificante.

Lo que si varía es el umbral: al pertenecer las antenas a canales adyacentes, el nivel de interferencia que permiten es mayor. Sin embargo, para los niveles altos de Δf , como ya se estableció, se toma el nivel más alto de interferencia permitido, en este caso 40dB según la tabla B.2; este nivel no varía.

Los casos que continúa la presencia de interferencias, se deben a que las antenas involucradas están prácticamente enfrentadas, trabajando en la misma polarización y a frecuencias con canales adyacentes.

6.II-C Un enlace existente y un enlace nuevo situados en una misma torre.

En este caso, se analiza la interferencia entre dos enlaces que tienen sus respectivas antenas 1 y 2 en una misma torre. Por ejemplo, se pueden considerar los siguientes enlaces:

Enlace Existente.

Antena	Frec.Trans.	Latitud	Longitud	Pot.RF	G ant.	Patrón	Pol.	Crossp.	FtB
1	7596 MHz	32° 59' 42"	55° 37' 10"	25,0 dBm	41,3 dBi	patron1	V	25,0 dB	15,0 dB
2	7435 MHz	33° 07' 55"	55° 37' 41'	24,0 dBm	39,0 dBi	patron1	V	30,0 dB	14,0 dB

Tabla 6.15 Enlace existente

Enlace Nuevo

Antena	Frec.Trans.	Latitud	Longitud	Pot.RF	G ant.	Patrón	Pol.	Crossp.	FtB
1	7435 MHz	32° 59' 42"	55° 37' 10"	23,0 dBm	41,0 dBi	patron2	H	26,0 dB	17,0 dB
2	7596 MHz	32° 45' 10"	55° 38' 59"	24,5 dBm	43,1 dBi	patron2	H	24,0 dB	18,0 dB

Tabla 6.16 Enlace Nuevo

La ubicación de los enlaces es:

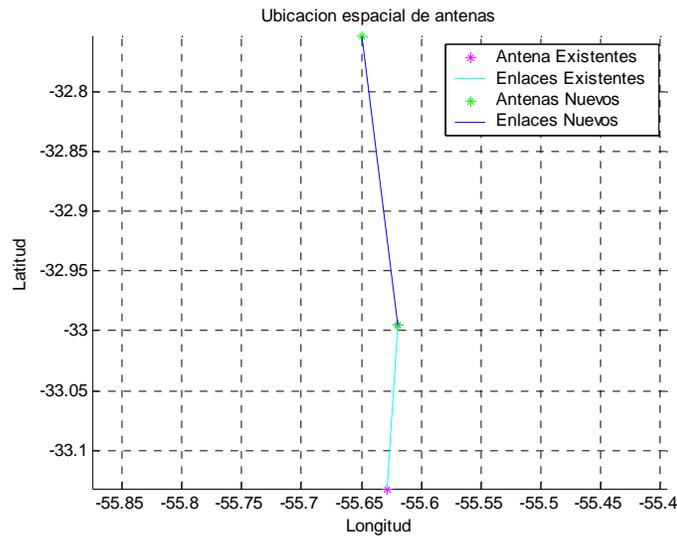


Figura 6.2 Ubicación de enlaces en una misma torre

En esta sección sólo se analiza el caso de enlaces en la misma torre, si bien también hay 4 casos de interferencia en campo lejano.

Según se estableció en el capítulo 4, el criterio utilizado para el análisis de interferencias en la misma torre es el expresado en las ecuaciones 4.8 y 4.9.

En el caso de que las antenas trabajen a la misma polarización:

$$I_{12} = G_{ant1} + G_{ant2} - FtB_1 - FtB_2 + P_{Tx2} \tag{Ec. 4.14}$$

De lo contrario:

$$I_{12} = G_{ant1} + G_{ant2} - FtB_1 - FtB_2 + P_{Tx2} - C_1 - C_2 + 10\log\left(10^{\frac{C_1}{10}} + 10^{\frac{C_2}{10}}\right) \tag{Ec. 4.15}$$

Donde:

G_{ant1} : ganancia máxima de la antena 1 (dBi)

- G_{ant2} : ganancia máxima de la antena 2 (dBi)
- FtB_1 : relación frente a espalda de la antena 1 (dBi)
- FtB_2 : relación frente a espalda de la antena 2 (dBi)
- P_{tx2} : potencia de transmisión de la antena 2 (dBm)
- C_1 : polarización cruzada de la antena 1 (dBi)
- C_2 : polarización cruzada de la antena 2 (dBi)

Considerando que en este ejemplo se utilizan enlaces con distinta polarización, se utiliza la ecuación 4.9. Este cálculo es directo, obteniendo:

- Interferencia sobre antena 1 existente, 50,8 dB
- Interferencia sobre antena 1 nueva, 52,8 dB

La diferencia de frecuencia entre ambas es:

- Frecuencia de transmisión de antena 1 nueva: 7435 MHz
- Frecuencia de recepción de antena 1 existente: 7435 MHz.

Entonces $\Delta f = 0\text{MHz}$. Y el umbral es -10dB para ambos casos. Por tanto, las antenas se interfieren. El resultado es coherente ya que las mismas cumplen la regla high-low.

En el caso de invertir las frecuencias del enlace nuevo entre la antena 1 y 2, se tiene el mismo nivel de interferencia pero es $\Delta f = 161\text{MHz}$, y por tanto no se interfieren estas antenas en la misma torre.

6.II-D Varios enlaces existentes y varios enlaces nuevos.

Hasta el momento se han realizado cálculos de enlaces aislados; en esta sección se realiza el estudio de múltiples enlaces.

Enlaces existentes

Enlace	Antena	Frec.Trans.	Latitud	Longitud	Pot.RF	G ant.	Patrón	Pol.	Crossp.	FtB
1	1	7435 MHz	32° 53' 2"	55° 37' 52"	25,0 dBm	40,0 dBi	patron1	V	25,0 dB	15,0 dB
	2	7596 MHz	33° 07' 55"	55° 37' 41"	26,0 dBm	39,0 dBi	patron1	V	24,3 dB	15,5 dB
2	1	7519 MHz	32° 40' 46"	55° 26' 41"	25,5 dBm	41,0 dBi	patron2	H	19,0 dB	16,0 dB
	2	7680 MHz	32° 53' 2"	55° 37' 52"	24,0 dBm	41,3 dBi	patron1	H	21,0 dB	16,3 dB
3	1	7442 MHz	33° 12' 55"	54° 30' 23"	23,0 dBm	39,9 dBi	patron1	V	23,0 dB	15,8 dB
	2	7603 MHz	33° 59' 55"	54° 42' 56"	24,5 dBm	43,1 dBi	patron2	V	24,0 dB	14,8 dB

Tabla 6.17 Enlaces Existentes

Enlaces nuevos

Enlace	Antena	Frec.Trans.	Latitud	Longitud	Pot.RF	G ant.	Patrón	Pol.	Crossp.	FtB
1	1	7603 MHz	32° 53' 02"	55° 37' 52"	24,7 dBm	41,5 dBi	patron1	H	25,3 dB	15,6 dB
	2	7442 MHz	32° 45' 39"	55° 56' 12"	25,3 dBm	40,7 dBi	patron1	H	25,1 dB	14,0 dB
2	1	7483 MHz	32° 53' 02"	55° 37' 52"	22,0 dBm	38,0 dBi	patron1	H	20,8 dB	14,5 dB
	2	7645 MHz	33° 07' 55"	55° 37' 41"	21,6 dBm	38,3 dBi	patron1	H	22,7 dB	16,1 dB
3	1	7519 MHz	32° 59' 55"	54° 42' 56"	24,3 dBm	40,5 dBi	patron1	H	21,3 dB	14,3 dB
	2	7680 MHz	32° 47' 35"	54° 28' 36"	22,8 dBm	40,9 dBi	patron1	H	24,8 dB	15,9 dB

Tabla 6.18 Enlaces Nuevos

La ubicación de los enlaces es:

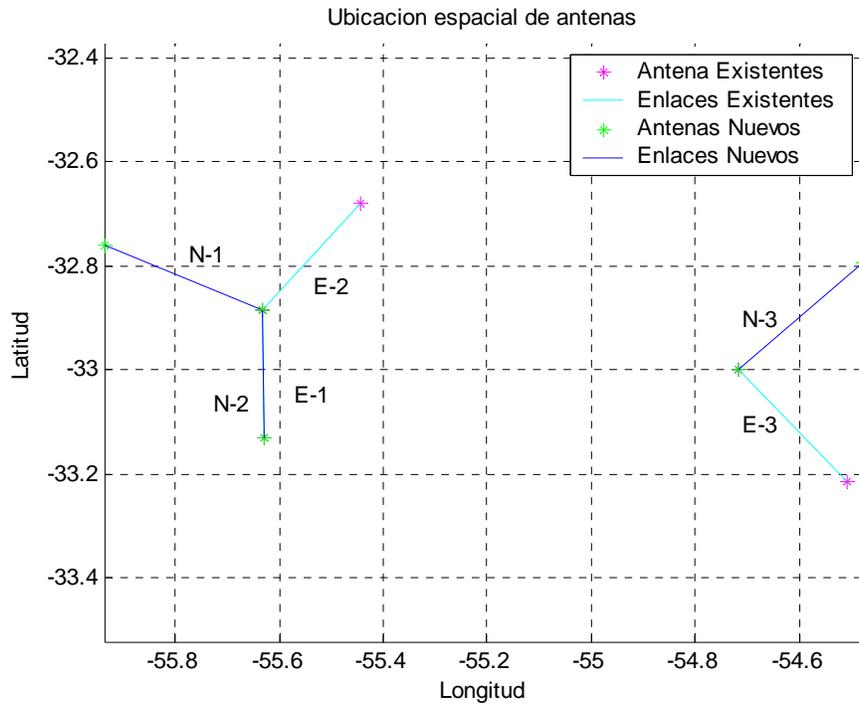


Figura 6.3 Ubicación de enlaces

El procedimiento de cálculo de interferencia puntual en campo lejano y en la misma torre es similar a los dos ejemplos anteriores, por lo que sólo se presenta el resultado.

Los resultados de interferencias puntuales y en la misma torre son:

Interferidos	Interferidos							
	E-1.1		E-1.2		E-2.1		E-2.2	
	Interf	Umbral	Interf	Umbral	Interf	Umbral	Interf	Umbral
E-1.1					-94,4 dB	21,0 dB	54,5 dB	234,3 dB
---E-1.2					-128,7 dB	21,0 dB	-97,7 dB	21,0 dB
E-2.1	-94,8 dB	21,0 dB	-128,3 dB	21,0 dB				
E-2.2	55,5 dB	234,3 dB	-95,6 dB	21,0 dB				
E-3.1	-135,5 dB	40,0 dB	-146,0 dB	-60,0 dB	-135,4 dB	21,0 dB	-142,5 dB	21,0 dB
E-3.2	-150,7 dB	-60,0 dB	-151,5 dB	40,0 dB	-151,6 dB	21,0 dB	-151,3 dB	21,0 dB
N-1.1	53,8 dB	0,0 dB	-92,0 dB	21,0 dB	-90,9 dB	40,0 dB	75,6 dB	300,0 dB
N-1.2	-95,8 dB	21,0 dB	-133,6 dB	-50,0 dB	-126,0 dB	40,0 dB	-81,1 dB	40,0 dB
N-2.1	54,1 dB	300,0 dB	-62,9 dB	21,0 dB	-97,5 dB	40,0 dB	70,5 dB	-10,0 dB
N-2.2	-62,4 dB	21,0 dB	51,3 dB	201,4 dB	-122,4 dB	-90,0 dB	-99,4 dB	40,0 dB
N-3.1	-149,6 dB	21,0 dB	-152,0 dB	21,0 dB	-140,6 dB	40,0 dB	-151,7 dB	-90,0 dB
N-3.2	-144,9 dB	21,0 dB	-145,1 dB	21,0 dB	-149,9 dB	-90,0 dB	-135,6 dB	40,0 dB

Tabla 6.19-a Resultados de interferencia para múltiples enlaces punto a punto

Interferidos	Interferidos							
	E-3.1		E-3.2		N-1.1		N-1.2	
	Interf	Umbral	Interf	Umbral	Interf	Umbral	Interf	Umbral
E-1.1	-137,5 dB	40,0 dB	-151,4 dB	-60,0 dB	53,5 dB	0,0 dB	-95,5 dB	21,0 dB
E-1.2	-148,8 dB	-60,0 dB	-153,0 dB	40,0 dB	-93,3 dB	21,0 dB	-134,1 dB	-50,0 dB
E-2.1	-137,8 dB	21,0 dB	-152,7 dB	21,0 dB	-91,8 dB	40,0 dB	-126,1 dB	40,0 dB
E-2.2	-143,2 dB	21,0 dB	-150,7 dB	21,0 dB	74,9 dB	234,3 dB	-79,5 dB	40,0 dB
E-3.1					-152,5 dB	-60,0 dB	-119,9 dB	21,0 dB
E-3.2					-165,0 dB	21,0 dB	-140,4 dB	-60,0 dB
N-1.1	-154,0 dB	-60,0 dB	-165,2 dB	21,0 dB				
N-1.2	-122,2 dB	21,0 dB	-141,4 dB	-60,0 dB				
N-2.1	-145,4 dB	21,0 dB	-154,0 dB	21,0 dB	71,4 dB	201,4 dB	-99,9 dB	40,0 dB
N-2.2	-153,3 dB	21,0 dB	-152,5 dB	21,0 dB	-96,5 dB	40,0 dB	-128,6 dB	40,0 dB
N-3.1	-96,9 dB	21,0 dB	59,6 dB	201,4 dB	-168,6 dB	40,0 dB	-140,3 dB	40,0 dB
N-3.2	-136,4 dB	21,0 dB	-90,2 dB	21,0 dB	-153,0 dB	40,0 dB	-133,8 dB	40,0 dB

Tabla 6.19-b Resultados de interferencia para múltiples enlaces punto a punto

Interferidos	Interferidos							
	N-2.1		N-2.2		N-3.1		N-3.2	
	Interf	Umbral	Interf	Umbral	Interf	Umbral	Interf	Umbral
E-1.1	51,1 dB	201,4 dB	-66,1 dB	21,0 dB	-150,4 dB	21,0 dB	-147,3 dB	21,0 dB
E-1.2	-66,8 dB	21,0 dB	46,9 dB	300,0 dB	-153,6 dB	21,0 dB	-148,3 dB	21,0 dB
E-2.1	-101,0 dB	40,0 dB	-126,5 dB	-90,0 dB	-141,8 dB	40,0 dB	-152,8 dB	-90,0 dB
E-2.2	72,5 dB	-10,0 dB	-101,8 dB	40,0 dB	-151,2 dB	-90,0 dB	-136,8 dB	40,0 dB
E-3.1	-146,5 dB	21,0 dB	-155,0 dB	21,0 dB	-95,7 dB	21,0 dB	-136,9 dB	21,0 dB
E-3.2	-156,4 dB	21,0 dB	-155,5 dB	21,0 dB	59,4 dB	201,4 dB	-92,0 dB	21,0 dB
N-1.1	74,1 dB	201,4 dB	-99,7 dB	40,0 dB	-168,9 dB	40,0 dB	-155,0 dB	40,0 dB
N-1.2	-103,3 dB	40,0 dB	-132,6 dB	40,0 dB	-141,4 dB	40,0 dB	-136,6 dB	40,0 dB
N-2.1					-154,6 dB	40,0 dB	-141,2 dB	-90,0 dB
N-2.2					-155,4 dB	-90,0 dB	-140,0 dB	40,0 dB
N-3.1	-156,9 dB	40,0 dB	-158,3 dB	-90,0 dB				
N-3.2	-141,8 dB	-90,0 dB	-141,2 dB	40,0 dB				

Tabla 6.19-c Resultados de interferencia para múltiples enlaces punto a punto

Las celdas en rojo de los enlaces interferidos significan que alguna antena la está interfiriendo. En el caso de enlaces interferentes, las celdas en rojo indican que son fuentes de interferencias; se indica el nivel de interferencia y el umbral.

Se puede observar en las antenas que están interferidas, que las interferencias son producidas por antenas que están en la misma torre. Las interferencias por antenas en la misma torre se indican con celdas en violeta.

Por ejemplo, si se analiza la interferencia entre la antena E-1.1 y la N-1.1, que se encuentran en una misma torre como se indica en la figura 6.4, se obtienen las mismas conclusiones que en la sección anterior 6.II-C. Dado que las antenas trabajan a canales adyacentes entre la banda transmisora de la antena 1 del enlace nuevo, a 7603 MHz, y la banda receptora de la antena 1 existente, a 7596 MHz, puede decirse que están cumpliendo la regla high-low. Lo mismo sucede entre las antenas E-2.2 y N-2.1.

Las demás antenas de este sistema no se interfieren no cumplirse la regla high-low.

Las interferencias puntuales no tienen tanto interés en este caso, ya que son análogas a las estudiadas en la sección anterior 6.II-B.

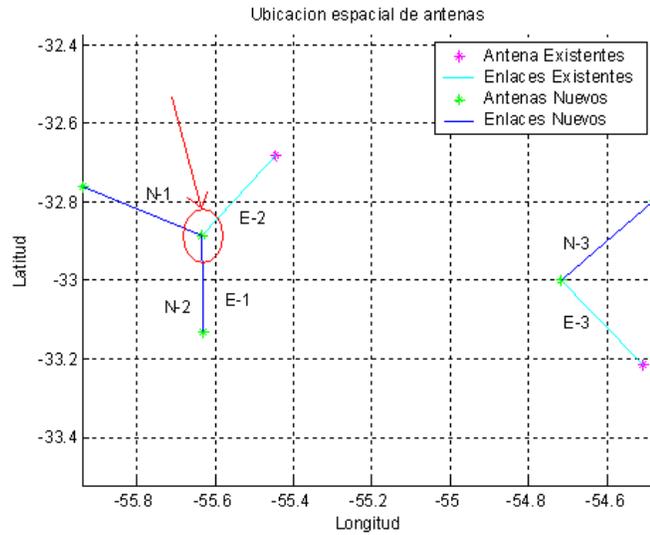


Figura 6.4 Diagrama indicativo de la ubicación de las antenas E-1.1 y N-1.1

Para el análisis de interferencias globales, se deben conocer todas las bandas de frecuencias que tiene el sistema al cual se le va a realizar el análisis. En este caso las frecuencias posibles de interferencia en el sistema son:

Frecuencia	Polarización
7435 MHz	V
7442 MHz	H
7442 MHz	V
7519 MHz	H
7603 MHz	H
7603 MHz	V
7680 MHz	H

Tabla 6.20 Frecuencias que se utilizan en el sistema analizado

Para realizar el cálculo de interferencia global sobre una antena, se suman las interferencias puntuales producidas a igual frecuencia, que emiten señal hacia la antena de estudio.

Por ejemplo, si se quiere calcular la interferencia global sobre la antena E-1.1, cuyos valores de interferencias puntuales se muestran en la tabla 6.19, las interferencias producidas por la distribución global son:

Frecuencia (MHz)	Polarización	Antenas interferentes	Niveles de potencia (dB)	Interferencia total (dB)
7435	V	Mismo enlace	---	---
7442	H	N-1.2	-95,5	-95,5
7442	V	E-3.1	-137,5	-137,5
7519	H	E-2.1 y N-3.1	-94,4 y -150,4	-94,4
7596	V	Mismo enlace	---	---
7603	H	Misma torre	---	---
7603	V	E-3.2	-151,4	-151,4
7680	H	N-2.2 y N-3.2	-66,1 y -147,3	-66,1

Tabla 6.21 Interferencias globales sobre antena E-1.1

En el resto de los casos se obtiene:

Interferidos	7435		7442		7442		7519	
	Vertical		Horizontal		Vertical		Horizontal	
	Interf.	Umbral	Interf.	Umbral	Interf.	Umbral	Interf.	Umbral
E-1.1			-95,5 dB	21,0 dB	-137,5 dB	40,0 dB	-94,4 dB	21,0 dB
E-1.2			-134,1 dB	-50,0 dB	-148,8 dB	-60,0 dB	-66,8 dB	21,0 dB
E-2.1	-94,8 dB	21,0 dB	-126,1 dB	40,0 dB	-137,8 dB	21,0 dB	-101,0 dB	40,0 dB
E-2.2			-79,5 dB	40,0 dB	-143,2 dB	21,0 dB	-151,2 dB	-90,0 dB
E-3.1	-135,5 dB	40,0 dB	-119,9 dB	21,0 dB			-95,7 dB	21,0 dB
E-3.2	-150,7 dB	-60,0 dB	-140,4 dB	-60,0 dB			-150,4 dB	21,0 dB
N-1.1					-154,0 dB	-60,0 dB	-90,9 dB	40,0 dB
N-1.2	-95,8 dB	21,0 dB			-122,2 dB	21,0 dB	-103,3 dB	40,0 dB
N-2.1			-99,9 dB	40,0 dB	-145,4 dB	21,0 dB	-97,5 dB	40,0 dB
N-2.2	-62,4 dB	21,0 dB	-128,6 dB	40,0 dB	-153,3 dB	21,0 dB	-122,4 dB	-90,0 dB
N-3.1	-149,6 dB	21,0 dB	-140,3 dB	40,0 dB	-96,9 dB	21,0 dB	-140,5 dB	40,0 dB
N-3.2	-144,9 dB	21,0 dB	-133,8 dB	40,0 dB	-136,4 dB	21,0 dB	-141,2 dB	-90,0 dB

Tabla 6.22-a Interferencias globales obtenidas.

Interferidos	7596		7603		7603		7680	
	Vertical		Horizontal		Vertical		Horizontal	
	Interf.	Umbral	Interf.	Umbral	Interf.	Umbral	Interf.	Umbral
E-1.1					-151,4 dB	-60,0 dB	-66,1 dB	21,0 dB
E-1.2			-93,3 dB	21,0 dB	-153,0 dB	40,0 dB	-97,7 dB	21,0 dB
E-2.1	-128,3 dB	21,0 dB	-91,8 dB	40,0 dB	-152,7 dB	21,0 dB	-126,5 dB	-90,0 dB
E-2.2	-95,6 dB	21,0 dB			-150,7 dB	21,0 dB	-101,8 dB	40,0 dB
E-3.1	-146,0 dB	-60,0 dB	-152,5 dB	-60,0 dB			-135,8 dB	21,0 dB
E-3.2	-151,5 dB	40,0 dB	-165,0 dB	21,0 dB			-92,0 dB	21,0 dB
N-1.1	-92,0 dB	21,0 dB			-165,2 dB	21,0 dB	-99,7 dB	40,0 dB
N-1.2	-133,6 dB	-50,0 dB			-141,4 dB	-60,0 dB	-81,1 dB	40,0 dB
N-2.1	-62,9 dB	21,0 dB			-154,0 dB	21,0 dB	-141,2 dB	-90,0 dB
N-2.2			-96,5 dB	40,0 dB	-152,5 dB	21,0 dB	-99,4 dB	40,0 dB
N-3.1	-152,0 dB	21,0 dB	-168,6 dB	40,0 dB			-150,8 dB	-90,0 dB
N-3.2	-145,1 dB	21,0 dB	-153,0 dB	40,0 dB	-90,2 dB	21,0 dB	-134,6 dB	40,0 dB

Tabla 6.22-b Interferencias globales obtenidas.

Por medio de este último análisis, se pueden evaluar los niveles de interferencias recibidos por las antenas según las frecuencias de las señales interferentes, teniendo una visión global del sistema.

Finalmente, puede notarse que los umbrales se calculan de igual forma que para enlaces puntuales, tomando Δf como la diferencia entre la frecuencia que interfiere y la frecuencia de recepción de la antena interferida.

Un aspecto a analizar en esta topología de enlaces, es la reelección de frecuencias a partir de estos datos. Esta implementación, depende fuertemente de los umbrales ingresados por el usuario, por tanto, un correcto y eficaz resultado estará dependiendo de los datos externos a AIEM. Además, el tiempo de ejecución depende fuertemente del orden en que se coloquen las frecuencias posibles dentro de la planilla.

En el caso de reelegir las frecuencias del ejemplo anterior, considerando las siguientes frecuencias posibles:

f _{baja} (MHz)	f _{alta} (MHz)
7435	7596
7442	7603
7463	7624
7483	7645
7491	7652
7519	7680

Tabla 6.23 Frecuencias posibles

Se obtienen los siguientes resultados:

Enlace	Antena	Frec. elegidas (MHz)	Polarización
1	1	7435	H
	2	7596	H
2	1	7435	H
	2	7596	H
3	1	7596	H
	2	7435	H

Tabla 6.24 Combinaciones de frecuencias obtenidas

Con esta configuración se realizaron 576 iteraciones en el programa.

En el caso de cambiar el orden de las frecuencias posibles de la tabla 6.23, la combinación de frecuencias elegida varía, ya que depende del algoritmo explicado en el capítulo 5. Si por ejemplo, se elige la tabla de umbrales de:

f_{baja} (MHz)	f_{alta} (MHz)
7519	7680
7435	7596
7442	7603
7463	7624
7483	7645
7491	7652

Tabla 6.25 Frecuencias posibles

Se obtiene la siguiente combinación de frecuencias.

Enlace	Antena	Frec. Elegidas (MHz)	Polarización
1	1	7680	V
	2	7519	V
2	1	7680	H
	2	7519	H
3	1	7519	H
	2	7680	H

Tabla 6.26 Combinaciones de frecuencias obtenidas

En este caso se obtuvieron 27 iteraciones.

Como se observa a partir de los ejemplos anteriores, para obtener resultados eficaces, es conveniente realizar un estudio previo de las configuraciones de posibles frecuencias. Si no se elige una combinación conveniente de frecuencias, el programa puede llegar a demorar varias horas.

Otro parámetro que influye en el tiempo de ejecución es la cantidad de enlaces.

6.III COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE CÁLCULO DE INTERFERENCIA

En esta sección, se realiza una comparación de resultados de análisis de interferencias de enlaces reales ubicados en el territorio uruguayo proporcionados por la empresa A y el software AIEM.

Los enlaces nuevos pertenecen a la empresa A y los enlaces existentes corresponden a la empresa B. Estos enlaces trabajan en la banda de 6 GHz con un ancho de banda de 20 ó 40 MHz.

Este análisis consiste en el estudio de interferencia entre antenas en campo lejano, ya que son éstos los datos con que se cuenta para la comparación. El caso de antenas en la misma torre no se contempla por no haber datos disponibles para realizar la comparación.

Para la realización de una correcta comparación y posterior conclusión, se deben analizar los criterios e hipótesis utilizados por la empresa A y compararlos con los de este proyecto.

6.III-A Criterios de cálculo de interferencia de empresa A versus criterios de cálculo de interferencia de AIEM

La comparación de los distintos criterios se realiza, no sólo con el fin de comparar resultados, sino como una fase de aprendizaje y para establecer cómo influye la elección de determinados criterios sobre los cálculos finales y en su posterior análisis ó estudio.

6.III-A.1 Similitudes

Para el cálculo de interferencia en campo lejano, si se considera que los enlaces tienen las mismas polarizaciones, se utiliza la ecuación de Friis presentada en los capítulos 2 y 4, en las ecuaciones 2.8 y 4.5 respectivamente. Pero, si se consideran enlaces con polarizaciones opuestas, como se estudia en la siguiente sección, los criterios son otros.

Los cálculos correspondientes a las distancias y ángulos relativos entre antenas, se realizan en ambos casos en base a lo establecido en la sección 4.I-B del capítulo 4. Si bien hay una diferencia en la consideración del radio de la tierra, ésta no genera variaciones en los cálculos.

Tal como se explica en el capítulo 4, 4.I-C.2, en ambos casos se utilizan dos patrones por antena que responden al cálculo de ganancia tanto para los casos que transmiten en la misma polarización como para aquellos que lo hacen en polarización opuesta.

6.III-A.2 Diferencias

6.III-A.2-a Cálculo de interferencia

La empresa A realiza el cálculo del ángulo acimutal en un enlace de dos antenas, solamente desde la antena 1 de un enlace hacia la antena 2 del mismo. Para hallar este ángulo desde la antena 2, se parte del ángulo acimutal de la antena 1 y se le suma 180° , es decir:

$$ang_{azum21} = ang_{azum12} + 180^\circ \quad \text{Ec. 6.1}$$

Esta ecuación sería correcta si la tierra fuera un plano. No obstante, este criterio puede considerarse como válido en antenas que se encuentran relativamente cerca, como se ve más adelante. Los apartamientos al realizar esta aproximación se ven reflejados directamente en el cálculo del ángulo beta, por lo que se presta especial atención a la comparación de este aspecto.

La ecuación de interferencia por visibilidad directa entre antenas en campo lejano, es la misma en los dos criterios (empresa A y AIEM), si se considera que las antenas en cuestión tienen la misma polarización, definida por la ecuación de Friis:

$$I_{12} = G_{ant1} + G_{ant2} + G_{patron1} + G_{patron2} + P_{tx2} - L_0 \quad (\text{dB}) \quad \text{Ec. 4.7}$$

No ocurre lo mismo en el caso de que las antenas trabajen con polarizaciones opuestas. La empresa A utiliza el criterio anterior considerando $G_{patron1}$ y $G_{patron2}$ en base a los patrones de distinta polarización.

AIEM, en cambio, como se explica en la sección 2.IV-C, considera los aportes producidos por dos potencias interferentes, que se producen cuando:

- La antena 1 transmite normalmente y debido a la no idealidad de la antena 2, ésta recibe una señal interferente con polarización cruzada.
- La antena 1 debido a su no idealidad transmite en su polarización opuesta y la antena 2 recibe con polarización normal.

Por tanto la interferencia resultante se obtiene de sumar estas potencias interferentes:

$$I_{12} = G_1 + G_2 + P_{tx2} - L_0 + 10 \log \left(10^{\frac{G_{Patron1=pol} + G_{Patron2 \neq pol}}{10}} + 10^{\frac{G_{Patron1 \neq pol} + G_{Patron2=pol}}{10}} \right) \quad \text{Ec. 4.10}$$

Otra discrepancia de AIEM respecto a la empresa A en el cálculo, es la forma de calcular $G_{patron1}$, $G_{patron2}$ y L_0 . Como se explica en el capítulo 4, G_{patron} corresponde a la disminución de la

ganancia de la antena en dirección a la otra antena, y es provista por el patrón de radiación y el ángulo beta.

Dado el patrón de radiación de una antena y el ángulo beta de ésta hacia otra antena, se tiene una tabla con valores discretos de ángulos y ganancias. Ésta no contiene todos los datos hacia todas las direcciones. En el análisis realizado por la empresa A, el ángulo deseado surge por aproximación al valor menor más cercano de la tabla. Es decir, si por ejemplo el ángulo beta es 43° , y se tienen los valores de ganancia para los ángulos 40° y 45° , se utiliza el valor de ganancia correspondiente a 40° . En el caso de AIEM, como se especifica en el capítulo 4, se realiza una interpolación lineal entre los valores más cercanos.

A su vez, en la pérdida de espacio libre $L_0 = 20 \log \left[\frac{4\pi d_{km} f_2}{c} \right]$, la empresa A utiliza como

valor de frecuencia f_2 , la frecuencia central de la banda, o sea 6,5 GHz para este ejemplo. Mientras tanto en AIEM se considera f_2 como la frecuencia del transmisor.

Como se ve más adelante, la diferencia ocasionada en el cálculo de la pérdida de espacio libre no es significativa. Sin embargo, las diferencias en la realización del cálculo de la ganancia hacia las distintas direcciones de las antenas, pueden acarrear diferencias notorias dependiendo de los valores del patrón y del ángulo en cuestión. También los distintos criterios tomados en el análisis de interferencia para distinta polarización, dados por las ecuaciones 4.5 y 4.10, ocasionan diferencias significativas.

6.III-A.2-b Decisión de interferencia.

Una de las principales restricciones para la validación del programa AIEM, es que la empresa A sólo realiza el análisis de interferencia puntual. Por este motivo, para realizar la validación en el caso de interferencia global se utiliza únicamente la forma canónica.

Otra diferencia entre AIEM y la empresa A se encuentra en la decisión de si una antena está interferida o no.

En la empresa A primero se decide si las frecuencias de los enlaces en los cuales se encuentran las antenas a analizar son cocanales. Estos enlaces serán de frecuencias cocanales si las frecuencias de sus primeras antenas son cocanales en el canal de transmisión. En el caso de que el resultado no sea cocanal, se decide que no hay interferencia; de lo contrario, se debe cumplir además que el nivel de interferencia recibido sea superior a -90 dB. Es decir que, la decisión acerca de la existencia de interferencia se realiza en base a ver si las frecuencias de las dos primeras antenas de los enlaces son cocanales en su canal de transmisión, lo cual en realidad es falso, ya que una antena tiene frecuencia cocanal si la frecuencia de transmisión de la antena transmisora y la frecuencia de la antena receptora son cocanales.

En AIEM, como se ha estudiado en los capítulos 4 y 5, este proceso es muy diferente, ya que no se considera que los enlaces completos tengan frecuencias cocanales, sino que las antenas tengan frecuencias cocanales, es decir se analiza si el canal de recepción de cada antena es cocanal con el canal de transmisión de una posible antena interferente. Por otro lado, en la decisión de interferencia no sólo se considera el caso en que las antenas tengan frecuencias cocanales, sino que se contempla el hecho de que antenas en bandas adyacentes también son fuentes de interferencia, considerando los niveles de interferencia según las bandas de frecuencia, y comparando con los niveles permitidos según las distintas distancias en frecuencia de antenas.

Por este motivo, a continuación, se realiza la comparación entre los resultados obtenidos por la empresa A y los obtenidos por AIEM, cuando las antenas tienen frecuencias cocanales según la empresa A.

6.III-B Cálculos de interferencia de empresa A versus cálculos de interferencia de AIEM

Los cálculos de interferencia se realizan de forma individual para cada enlace de la empresa A; es decir, sobre cada enlace se calcula la interferencia emitida y recibida desde otro enlace, no contemplando a otras antenas.

6.III-B.1 Análisis de interferencia de enlaces Cerrito – Rincón de la Bolsa

El patrón y los umbrales utilizados en los cálculos se encuentran en el apéndice B, en las tablas B.4 y B.5.

La comunicación Cerrito - Rincón de la Bolsa se compone de 5 enlaces a distintas frecuencias.

Las características de los enlaces son:

Antena/ Estación	Ubicación Estación	Departamento/ Localidad	Latitud (°)	Longitud (°)	Pot.RF (dBm)	G ant. (dBi)	Pol.	Ancho (MHz)	Cota. (m)	Alt. antena (m)
1	Ruta 1 km36.800	SAN JOSÉ-R de la BOLSA	34°42'56"	56°29'19"	29,6	42,5	V	40	22	59
2	Juan Acosta 3893	MONTEVIDEO- MONTEVIDEO	34°51'25"	56°10'7"	29,6	42,5	V	40	60	59

Tabla 6.27 Enlaces de empresa A.

Las frecuencias de trabajo de cada uno de los enlaces de la empresa A son:

Enlace	Frecuencia transmisión de estación 1 (MHz)	Frecuencia transmisión de estación 2 (MHz)	Polarización del enlace
1	6440	6780	V
2	6480	6820	H
3	6520	6860	V
4	6560	6900	H
5	6600	6940	V

Tabla 6.28 Frecuencias de enlaces nuevos

En esta sección sólo se utilizan los dos primeros enlaces para realizar la comparación, ya que las conclusiones son similares para los restantes casos.

Por otro lado, un enlace de la empresa B es:

Enlace	Anten./Estación	Frec. (MHz)	Ubicación Estación	Departamento/Localidad	Latitud	Longitud	Pot. RF (dBm)	G ant. (dBi)	Pol.	Ancho (MHz)	Cota (m)	Alt. Ant. (m)
1	1	6460	Vilardebó 1498	MVDEO.-MVDEO.	34°52'36"	56°11'10"	27,5	42,1	V	20	24	86,7
	2	6800	Estación terrena de Manga	MVDEO.-MVDEO.	34°48'16"	56°8'20"	27,5	42,2	V	20	50	38

Tabla 6.29 Enlace de empresa B

Como se estableció anteriormente la empresa A sólo considera que existen interferencias en enlaces que trabajan a frecuencias cocanales.

La empresa A considera que dos enlaces tienen frecuencias cocanales si sus dos antenas 1 transmiten en frecuencias cocanales. Entonces, el primer enlace de la empresa A que trabaja a la frecuencia 6440-6780 MHz, tiene frecuencia cocanal con la frecuencia del enlace de la empresa B ya que se verifica:

$$\left| f_{tx11 empB} - f_{tx11 empA} \right| < \frac{ancho_{tx11 empB} + ancho_{tx11 empA}}{2} \quad \text{Ec. 6.2}$$

Este criterio utilizado por la empresa A es incorrecto, ya que existen dos errores. El primero es considerar que un enlace tiene frecuencia cocanal con otro, si sólo dos antenas tienen frecuencias cocanales; y el segundo error es considerar que dos antenas son cocanales si sus frecuencias de

transmisión son cocanales. Lo correcto es considerar que dos antenas tienen frecuencias cocanales si la frecuencia de transmisión de una es cocanal con la frecuencia de recepción de la otra.

$$\left| f_{tx11empB} - f_{rx11empA} \right| < \frac{ancho_{tx11empB} + ancho_{rx11empA}}{2} \quad \text{Ec. 6.3}$$

Los resultados de interferencia entre el enlace E1 y el N1 tanto para la empresa A como para AIEM son:

Interferido			Interferente			Nivel (dB)	
Antena	Frec. (MHz)	Ubicación	Antena	Frec. (MHz)	Ubicación	Empresa A	AIEM
N.1.1	6440	Ruta 1 km36.800	E.1.1	6460	Vilardebó 1498	-99,9	-99,5
N.1.1	6440	Ruta 1 km36.800	E.1.2	6800	Estación terrena de Manga	-105,1	-106,7
N.1.2	6880	Juan Acosta 3893	E.1.1	6460	Vilardebó 1498	-82,2	-82,7
N.1.2	6880	Juan Acosta 3893	E.1.2	6800	Estación terrena de Manga	-77,6	-78,1
E.1.1	6460	Vilardebó 1498	N.1.1	6440	Ruta 1 km36.800	-97,8	-97,4
E.1.1	6460	Vilardebó 1498	N.1.2	6880	Juan Acosta 3893	-80,1	-81,0
E.1.2	6800	Estación terrena de Manga	N.1.1	6440	Ruta 1 km36.800	-103,0	-104,1
E.1.2	6800	Estación terrena de Manga	N.1.2	6880	Juan Acosta 3893	-75,5	-76,0

Tabla 6.30 Resultados de interferencia

Antes de analizar los criterios de decisión acerca de la existencia o no de interferencia, es conveniente analizar las diferencias entre los resultados obtenidos en ambos casos, aunque a simple vista no sean muy notorias.

Por ejemplo, en el primer caso se tiene una diferencia de 0,4 dB entre ambos resultados. Fácilmente se puede verificar que:

	Interferente	Interferido	Empresa A	AIEM
Ganancia	E-1.1 – E.1.2	N.1.1	-47,0 dBi	-45,0 dBi
	N-1.1 - N-1.2	E-1.1	-26,0 dBi	-27,6 dBi
L₀	E-1.1	N-1.1	139,0 dBi	139,0 dBi
	N-1.1	E-1.1	139,0 dBi	138,9 dBi

Tabla 6.31 Comparación de ganancias y pérdidas en espacio libre

Como se observa en la tabla anterior, los valores de las pérdidas en espacio libre son similares para la empresa A y para AIEM, por lo que se puede establecer que las variaciones derivadas de la elección de la frecuencia central de la banda, en el cálculo de pérdida por espacio libre, son mínimas. No

obstante, a medida que las frecuencias se alejen de la frecuencia central de la banda, esta diferencia será mayor.

Se puede suponer que los ángulos acimutales para la empresa A y para AIEM en ambos criterios no serán iguales, ya que la empresa A realiza una aproximación en el cálculo del ángulo acimutal de la antena 2, como se explicó anteriormente en esta sección.

En el cálculo de las ganancias de los patrones, como era de esperar, se presentan diferencias significativas. Si bien en este caso aparecen diferencias que se cancelan al momento de calcular la interferencia, esto no es una regla, por lo que debe tenerse en cuenta. Para disminuir las diferencias obtenidas entre la empresa A y AIEM se deben disminuir los intervalos de aproximación, aumentando la cantidad de datos en los patrones.

Se puede demostrar que en el análisis de los restantes casos se obtienen resultados similares, es decir, la diferencia principal entre los criterios de la empresa A y de AIEM radica en la forma de calcular las ganancias de disminución a partir del ángulo beta. Por lo tanto se puede establecer que el cálculo de interferencias realizado es correcto.

Luego de realizado el cálculo de interferencia entre las antenas, hay que establecer si alguna de éstas está interferida.

El criterio utilizado por la empresa A establece que un enlace está interferido si la frecuencia de transmisión de la antena 1 del primer enlace es cocanal con la frecuencia de transmisión de la antena 1 del otro enlace que se está analizando la interferencia; y el nivel de interferencia es superior a -90 dB.

Este criterio de decisión de frecuencias cocanales es erróneo como ya se explicó anteriormente.

Las antenas interferidas en el ejemplo analizado son las siguientes según la empresa A:

Interferido			Interferente			Nivel (dB)	
Antena	Frec. (MHz)	Ubicación	Antena	Frec. (MHz)	Ubicación	Empresa A	AIEM
N.1.2	6880	Juan Acosta 3893	E-1.1	6460	Vilardebó 1498	-82,2	-82,7
N.1.2	6880	Juan Acosta 3893	E-1.2	6800	Estación terrena de Manga	-77,6	-78,1
E-1.1	6460	Vilardebó 1498	N.1.2	6880	Juan Acosta 3893	-80,1	-81
E-1.2	6800	Estación terrena de Manga	N.1.2	6880	Juan Acosta 3893	-75,5	-76

Tabla 6.32 Valores de interferencia entre enlaces E-1 y N-1

En esta tabla, se puede observar como consecuencia del error antes mencionado en el criterio utilizado por la empresa A, que en la segunda y cuarta fila se obtienen enlaces interferidos cuando en la realidad es improbable que esto suceda. Por ejemplo, en la segunda fila, la frecuencia con la que transmite E-1.2 es 6800 MHz y la frecuencia en que recibe N-1.2 es 6440 MHz según la tabla 6.28. Esto significa que las antenas están a 360 MHz de diferencia y por tanto nunca se interfieren.

Como se establece a lo largo del desarrollo de este proyecto, la decisión sobre la existencia o no de interferencias es más completa en AIEM, ya que para determinar si una antena está interferida puntualmente por otra, se tienen en cuenta varios factores. En primer lugar, se analiza el umbral de decisión de interferencia para cada una de las antenas, obteniéndose de una tabla. En segundo lugar, las antenas no tienen por qué tener frecuencias cocanales para interferir, ya que antenas con frecuencias en canales adyacentes pueden interferir.

Un aspecto importante en este razonamiento es que la decisión de interferencia de antenas, depende en gran medida de los valores ingresados por el usuario en la tabla de umbrales.

Considerando los umbrales de la tabla B.5, se obtiene:

Hacia			Desde			Decisión		
Antena	Frec.	Ubicación	Antena	Frec.	Ubicación	Delta f	Nivel	Umbral
N.1.1	6440	Ruta 1 km36.800	E-1.1	6460	Vilardebó 1498	360,0 MHz	-99,5 dB	40,0 dB
N.1.1	6440	Ruta 1 km36.800	E-1.2	6800	Estación terrena de Manga	20,0 MHz	-106,7 dB	-75,0 dB
N.1.2	6880	Juan Acosta 3893	E-1.1	6460	Vilardebó 1498	20,0 MHz	-82,7 dB	-75,0 dB
N.1.2	6880	Juan Acosta 3893	E-1.2	6800	Estación terrena de Manga	420,0 MHz	-78,1 dB	40,0 dB
E-1.1	6460	Vilardebó 1498	N.1.1	6440	Ruta 1 km36.800	420,0 MHz	-97,4 dB	40,0 dB
E-1.1	6460	Vilardebó 1498	N.1.2	6880	Juan Acosta 3893	20,0 MHz	-81,0 dB	-75,0 dB
E-1.2	6800	Estación terrena de Manga	N.1.1	6440	Ruta 1 km36.800	20,0 MHz	-104,1 dB	-75,0 dB
E-1.2	6800	Estación terrena de Manga	N.1.2	6880	Juan Acosta 3893	360,0 MHz	-76,0 dB	40,0 dB

Tabla 6.33 Interferencias y umbrales

Tomando como base la tabla de umbrales B.5 del apéndice B, según AIEM, no hay interferencias puntuales entre estos enlaces.

Se puede observar que si se elige la tabla B.6 de umbrales de interferencias, en cambio se obtiene:

Hacia			Desde			Decisión		
Antena	Frec.	Ubicación	Antena	Frec.	Ubicación	Delta f	Nivel	Umbral
N.1.1	6440	Ruta 1 km36.800	E-1.1	6460	Vilardebó 1498	360,0 MHz	-99,5 dB	20,0 dB
N.1.1	6440	Ruta 1 km36.800	E-1.2	6800	Estación terrena de Manga	20,0 MHz	-106,7 dB	-90,0 dB
N.1.2	6880	Juan Acosta 3893	E-1.1	6460	Vilardebó 1498	20,0 MHz	-82,7 dB	-90,0 dB
N.1.2	6880	Juan Acosta 3893	E-1.2	6800	Estación terrena de Manga	420,0 MHz	-78,1 dB	20,0 dB
E-1.1	6460	Vilardebó 1498	N.1.1	6440	Ruta 1 km36.800	420,0 MHz	-97,4 dB	20,0 dB
E-1.1	6460	Vilardebó 1498	N.1.2	6880	Juan Acosta 3893	20,0 MHz	-81,0 dB	-90,0 dB
E-1.2	6800	Estación terrena de Manga	N.1.1	6440	Ruta 1 km36.800	20,0 MHz	-104,1 dB	-90,0 dB
E-1.2	6800	Estación terrena de Manga	N.1.2	6880	Juan Acosta 3893	360,0 MHz	-76,0 dB	20,0 dB

Tabla 6.34 Análisis de interferencia según AIEM

Las antenas E-1.1 y N-1.2 están interferidas entre sí como se observa en la tabla 6.34. Estos enlaces se presentan también interferidos con el criterio utilizado por la empresa A, como se puede ver en la tabla 6.32.

Por tanto, se puede concluir que el análisis de interferencias de AIEM es más completo y el usuario tiene mayor responsabilidad que en la empresa A, ya que la decisión del programa depende totalmente de la tabla de umbrales que éste ingresa.

Si en cambio, se considera el enlace N-2 en sustitución del enlace N-1, dado que los enlaces E-1 y N-2 tienen distinta polarización, el nivel de interferencia tanto para la empresa A como para AIEM es:

Interferida			Interferente			Nivel (dB)	
Antena	Frec. (MHz)	Ubicación	Antena	Frec. (MHz)	Ubicación	Empresa B	AIEM
N.2.1	6440	Ruta 1 km36.800	E-1.1	6460	Vilardebó 1498	-134,9 dB	-109,9 dB
N.2.1	6440	Ruta 1 km36.800	E-1.2	6800	Estación terrena de Manga	-127 dB	-116,2 dB
N.2.2	6880	Juan Acosta 3893	E-1.1	6460	Vilardebó 1498	-132,7 dB	-90,8 dB
N.2.2	6880	Juan Acosta 3893	E-1.2	6800	Estación terrena de Manga	-112,6 dB	-91,0 dB
E-1.1	6460	Vilardebó 1498	N.2.1	6440	Ruta 1 km36.800	-132,8 dB	-107,8 dB
E-1.1	6460	Vilardebó 1498	N.2.2	6880	Juan Acosta 3893	-103,1 dB	-89,2 dB
E-1.2	6800	Estación terrena de Manga	N.2.1	6440	Ruta 1 km36.800	-124,9 dB	-113,7 dB
E-1.2	6800	Estación terrena de Manga	N.2.2	6880	Juan Acosta 3893	-112,6 dB	-88,9 dB

Tabla 6.35 Comparación de interferencias

Se puede observar, que para este caso de enlaces de distinta polarización, las diferencias entre ambos cálculos es notoria. Esta diferencia se debe principalmente al criterio de cálculo de interferencia utilizado en el caso de tener enlaces con distinta polarización.

Como ya se menciona a lo largo de este capítulo, la empresa A utiliza el siguiente cálculo de interferencia:

$$I_{12} = G_{ant1} + G_{ant2} + G_{patron1} + G_{patron2} + P_{tx2} - L_0 \quad (\text{dB}) \quad \text{Ec. 4.7}$$

utilizando las disminuciones de las ganancias $G_{patron1}$ y $G_{patron2}$ correspondientes a los patrones de distinta polarización.

Mientras que AIEM utiliza:

$$I_{12} = P_{tx2} + G_1 + G_2 - L_0 + 10 \log \left(10^{\frac{G_{patron1=pol} + G_{patron2 \neq pol}}{10}} + 10^{\frac{G_{patron1 \neq pol} + G_{patron2=pol}}{10}} \right) \quad \text{Ec. 4.10}$$

Por ejemplo, si se considera el cálculo de interferencia desde la antena E-1.1 a N-2.1 de la tabla 6.35, cada uno de los términos de las ecuaciones anteriores de cálculo de interferencia para los distintos criterios son:

	Dist. (km)	Ang. beta E-N	Ang. beta N-E	G ₁ (dBi)	G ₂ (dBi)	G _{1p=pol} (dBi)	G _{1p≠pol} (dBi)	G _{2p=pol} (dBi)	G _{2p≠pol} (dBi)	Pot _{TX} (dB)	L ₀ (dB)	I ₁₂ (dB)
Empresa A	32,95	274,5	4,6	42,1	42,5	-	-65	-	-43	27,5	139,0	-134,9
AIEM	32,90	274,6	4,7	42,1	42,5	-45	-57	-27,6	-43	27,5	139,0	-109,9

Tabla 6.36 Comparación de términos

Se puede observar que las diferencias más notorias entre los dos criterios son:

- El cálculo de las ganancias. Por ejemplo, la ganancia $G_{1p \neq pol}$ de la antena E-1.1 es -65 dBi para la empresa A y -57 dBi para AIEM. Si se observa la tabla de patrones B.4, para el ángulo beta de 274.5°, el valor de ganancia obtenido es más aproximado al de AIEM, ya que la empresa A no interpola y aproxima al valor correspondiente a 180° por ser éste el valor menor más cercano.
- La otra diferencia, es la ecuación de cálculo de interferencia entre antenas ya mencionada. AIEM considera los dos aportes de la polarización cruzada como se puede

observar en la ecuación 4.10 y la empresa B sólo considera los patrones de distinta polarización y la ecuación 4.5.

6.III-C Análisis de resultados

Se puede concluir que el nivel de interferencia calculado por AIEM es similar al calculado por la empresa A para el caso en que los enlaces trabajen en la misma polarización, donde la diferencia se obtiene principalmente en el cálculo de las ganancias de los patrones. En cambio, en el análisis de interferencias entre enlaces con distinta polarización, los resultados son diferentes y pueden llegar a establecer distintas conclusiones sobre una misma topología considerada.

En el caso de la decisión sobre la existencia o no de interferencias, al utilizarse distintos criterios, los resultados no se pueden comparar con exactitud. En el caso de la empresa A se pueden obtener antenas que están interferidas, cuando en la realidad no se interfieren por no cumplirse la regla high-low. AIEM, por otro lado, es fuertemente dependiente del conocimiento del usuario sobre los umbrales para un análisis correcto.

Capítulo 7

Conclusiones

Resumen— Este capítulo está dedicado a las conclusiones obtenidas del proyecto. En primer lugar se evaluará el problema, considerando sus hipótesis y restricciones, así como los resultados obtenidos en función de los objetivos planteados al comienzo. En segundo lugar se darán algunos lineamientos respecto a lo que podría ser el desarrollo futuro del programa implementado.

7.1 CONCLUSIONES GENERALES

EN primer lugar puede decirse que el objetivo general propuesto al comienzo de esta documentación fue cumplido satisfactoriamente. Se logró plantear una solución a uno de los problemas de interferencias en el espectro radioeléctrico: el ocasionado por la reutilización de frecuencias en enlaces de microondas. Para esto se desarrolló una herramienta de software en lenguaje Java, que automatiza el análisis de interferencias en una configuración de múltiples enlaces de microondas.

La primera etapa de este trabajo, estuvo destinada principalmente a la realización de una profunda investigación acerca de temas como propagación, enlaces y antenas de microondas. Se analizaron también numerosos conceptos como patrones de radiación, bandas de frecuencia, direcciones de propagación y otros parámetros de las antenas, que a su vez condujeron al estudio de temas como la polarización cruzada y el cálculo de ganancias de antenas. El análisis de interferencias se basó en teorías desarrolladas con anterioridad como la Ecuación de Friis, de la cual se evaluaron sus hipótesis y aproximaciones. También en esta etapa se establecieron las fronteras y restricciones que tendría el proyecto, muchas de las cuales serían posteriormente redefinidas.

Una vez establecida la plataforma de trabajo y de información, se planteó la realización de un software que analizara la interferencia en una configuración sencilla de dos enlaces, como base de lo que sería luego el programa final. Esta etapa fue fundamental para el razonamiento del problema, y tuvo una duración mucho mayor de la esperada. Uno de los inconvenientes surgidos fue la no disposición de otros proyectos previos sobre el mismo tema, ni de SWs que realizaran algo similar. El lenguaje de programación utilizado fue Matlab que constituyó una gran herramienta, debido a su capacidad de realizar cálculos matemáticos, como ser la utilización de funciones trigonométricas. Esta instancia de trabajo, hizo posible la visualización del problema y permitió realizar el paso a una configuración compleja de enlaces múltiples, a partir del mejoramiento de la teoría utilizada en la primera versión del programa.

Uno de los objetivos iniciales del proyecto, fue realizar la primera versión del análisis de dos enlaces de microondas, tanto en Matlab como en Java. Pero luego se entendió que la realización en Java de esta versión, no aportaba demasiado, ya que se necesitaba conocer más a fondo este lenguaje de programación. Por otro lado, algunas de las hipótesis establecidas en la primera etapa no fueron las más adecuadas. Por ejemplo: la escasa aplicabilidad de las coordenadas cartesianas, y la consideración de únicamente la interferencia entre antenas en campo lejano. Esto generó una disyuntiva: realizar el mismo algoritmo en Java, o realizarlo en Matlab planteando los cálculos en forma correcta para luego pasar a Java. Se consideró más útil realizar las correcciones pertinentes en Matlab pero aplicadas a la solución de interferencias para múltiples enlaces. Simultáneamente se continuó el estudio del lenguaje Java. Una vez obtenido el resultado final con las correcciones necesarias, se hizo también en Java.

Finalmente se generó una aplicación de análisis de interferencia entre múltiples enlaces para Matlab y para Java. Para la versión en Matlab se utilizaron herramientas preexistentes que fue necesario estudiar para su adaptación al programa. Una herramienta muy valiosa son los archivos con formato *.xls*. (Excel) que permiten al usuario una importante mejora en el tratamiento de los datos, ya que agregan las funcionalidades propias de este programa. Sin embargo, genera la primera dependencia del programa hacia Office. Otras herramientas utilizadas para la versión en Matlab, son las generadoras de ventanas y gráficos, que mejoran la presentación del producto, a la vez que la interacción entre éste y el usuario.

El pasaje de la versión final de Matlab a lenguaje Java, mantiene el algoritmo de cálculo y las decisiones tomadas. Sin embargo, toda la teoría que encierra Java relacionada con la programación orientada a objetos hizo necesario volver a pensar la estructura del programa. También fue necesario el aprendizaje de la programación en Java, como la investigación de las librerías externas existentes para lograr los objetivos planteados. En este sentido, se utilizaron librerías externas que posibilitaron el trabajo con planillas Excel y con el sistema de ventanas. Java ofrece además otras posibilidades que permiten una independencia de la plataforma de trabajo muy importante para lograr un producto más funcional. Además este entorno de trabajo se adapta mejor a necesidades del usuario a la vez que logra una mejor interacción con éste. En resumen Java, además de resolver el problema del análisis igual que Matlab, ofrece múltiples funcionalidades de gran valor.

Para el diseño del programa, se logró una estructura de paquetes independientes entre sí, y una biblioteca de clases diseñada para ser reutilizable en futuras aplicaciones. La independencia de los paquetes según sus funcionalidades, permite que se puedan tomar como base para otros proyectos, según los requerimientos exigidos. Otros logros alcanzados fueron, por ejemplo, generar la posibilidad de ampliar las clases y utilizar herramientas propias de Java para emular el trabajo con matrices realizado por Matlab.

Logrado el primer objetivo –realizar el análisis de múltiples enlaces de microondas, tanto en Matlab como en Java, surgió la posibilidad de ampliar la meta, generando en el programa la funcionalidad de buscar una combinación de frecuencias para los enlaces nuevos a la que no se produjeran interferencias. El algoritmo de solución encontrado, realiza una serie de iteraciones que fueron sucesivamente mejoradas.

Otro de los objetivos planteados fue la interpretación de normas reguladoras, bases fundamentales para la definición de la teoría. El uso de las Recomendaciones de la UIT hizo necesarias la interpretación y extrapolación de las mismas a nuestro modelo.

La falta de medidas de interferencias y SWs simuladores para el cálculo de la interferencia hizo compleja la validación del producto final. A pesar de esto, en el capítulo 6 pudimos realizar dos tipos de validaciones. En primer lugar se pudo probar que para una forma canónica, el programa resuelve el análisis de interferencias según lo previsto.

En segundo lugar se contrastaron resultados obtenidos a través del programa, con resultados provistos por una empresa A. Los resultados fueron exitosos, salvo excepciones previsibles, mencionadas en el capítulo 6.

Una medida de eficiencia de cualquier programa, es el tiempo de ejecución. El resultado al respecto, fue absolutamente satisfactorio: se pudieron alcanzar tiempos mejores a los esperados, ya que el trabajo en Java redujo el tiempo que tomaba Matlab. El algoritmo de búsqueda de combinaciones de frecuencias es restrictivo respecto a este aspecto del desempeño. El número de iteraciones que el mismo realiza, se incrementa significativamente con la cantidad de enlaces y las frecuencias posibles. Se logró minimizar este tiempo con la optimización del algoritmo, aunque este es un aspecto que aún se puede seguir optimizando.

A nivel personal, consideramos que los conocimientos adquiridos con este proyecto fueron muy enriquecedores, en la medida en que contribuyeron a afirmar conocimientos previos aprendidos en múltiples disciplinas de la carrera, a la vez que aplicarlos en un trabajo práctico concreto.

La planificación y el emprendimiento de una larga tarea significaron también para nosotros un crecimiento, dado no sólo por el trabajo como producto final logrado, sino especialmente por el trabajo diario, semana a semana, mes a mes que implicó.

Debe destacarse también el aporte que significa este trabajo para nuestra experiencia profesional, de la cual es en cierta medida, el punto de partida. En este sentido, señalamos también la relevancia de haber elaborado no sólo el producto, sino también su documentación. Esto nos condujo a reflexionar acerca de la necesidad de la promoción de los productos de nuestras investigaciones, aspecto fundamental del trabajo del ingeniero, con el cual quizás aún no estemos muy familiarizados.

7.II LÍNEAS A FUTURO

A medida que íbamos avanzando en el proyecto, vimos que existía la posibilidad de ampliar los objetivos iniciales del mismo. Algunos aspectos los fuimos incluyendo, mientras que otros fueron dejados de lado, principalmente por razones de tiempo y de disponibilidad de información. A continuación pasaremos a mencionar algunas aplicaciones que se podrían realizar en un futuro cercano.

Estas aplicaciones se pueden dividir en dos temas generales: ampliación del análisis y mejoras en el software.

La ampliación del análisis, se relaciona con las estimaciones realizadas respecto a la propagación de la interferencia. En este sentido, la información de la que partimos, constituye una de las restricciones más importantes del proyecto. Además de los factores considerados, se podrían tomar en cuenta otros, como ser la curvatura de la tierra; los datos de la topología del terreno como la vegetación o la presencia de obstáculos; los datos relacionados con el clima y las condiciones atmosféricas: estación climática, presencia de hidrometeoros, ocurrencia de precipitaciones, entre otros.

En la Recomendación UIT-R P.452-11 [1] se detallan otros tipos de interferencias presentes en una comunicación de microondas además de la de visibilidad directa, considerada en este proyecto. Existen otras recomendaciones, como la UIT-R P.530-11, que especifican estas otras interferencias pudiendo ser útiles para una mejor estimación del análisis.

Con respecto a las mejoras que podrían hacerse al software, Java permite varias. En primer lugar, la dependencia del programa respecto al sistema operativo Windows, está ligada básicamente a la utilización de Excel. No obstante, esto se podría modificar: es sabido que en Linux existen planillas de datos muy similares a Excel, lo cual no generaría dificultad para adaptar el programa. Ocurre lo mismo para otros sistemas operativos.

Puede implementarse también, una interfaz de ingreso de datos por medio de una interfaz gráfica que puede ser un mapa donde se seleccione dónde se encuentran los enlaces a analizar. Esto puede ser útil para el usuario si éste desea tener una primera aproximación al análisis de interferencia sin conocer exactamente la ubicación de los enlaces nuevos.

Una restricción que presenta AIEM es la cantidad de enlaces a calcular la interferencia. Esto se debe a la limitación del número máximo de columnas de las hojas de Excel, en 256 columnas. Lo que restringe la presentación de los resultados en una sola planilla, a 59 enlaces. Esto se puede modificar utilizando, por ejemplo más de una planilla para la presentación.

Para el análisis de interferencia en antenas en la misma torre, el usuario ingresa una única tabla de decisión de interferencia para toda la topología. Esto se podría mejorar permitiendo que el usuario le ingrese una tabla con los umbrales de interferencia para cada torre dependiendo de la posición de las antenas.

En cuanto a los datos de entrada, al no encontrarse una norma o estándar que indique el formato específico, en AIEM, se eligió un formato en particular. Esto puede resultar engorroso a un usuario que cuenta con una base de datos con distinto formato, por lo que se podría implementar la aceptación de varios formatos de entrada.

Un aspecto importante para mejorar el rendimiento y eficiencia de AIEM, es implementar un algoritmo de reelección de frecuencias que efectúe un estudio específicos de las frecuencias a utilizar, ya que a priori, se puede saber que algunas antenas no soportan algunas configuraciones de frecuencias. Otra implementación que se podría realizar para la reelección de frecuencias, es que el software genere una lista de frecuencias posibles a partir de las recomendaciones presentadas en el apéndice D, UIT-R F.385-8T, UIT-R F.386-6 y UIT-R F.387-9T [28] [29] [30]. Para la búsqueda de una configuración libre de interferencias, se podría utilizar toda la lista generada por el software o brindarle al usuario la posibilidad de elegir las frecuencias que desea tomar como candidatas.

Estas implementaciones, y otras futuras que puedan surgir con la utilización de AIEM, ayudarán a realizar un mejor y más eficiente cálculo a fin de obtener resultados más precisos en el dimensionamiento de una red de enlaces de microondas. Y por tanto, ayudar a construir una distribución del espectro radioeléctrico uruguayo, ordenado y eficiente.

Apéndice A

Manual de usuario

Resumen—En este apéndice se presenta el índice del manual de usuario que se puede encontrar en el CD que se adjunta con esta documentación y en la ayuda del programa de AIEM V1.2. En este manual se encuentran los procedimientos que debe realizar el usuario para un correcto funcionamiento del mismo. Además, describe el formato de entradas y la solución a los errores que pueden surgir en el programa.

ÍNDICE

1. ¿Qué es AIEM?
2. Cómo utilizar AIEM
 - i. Instalación de AIEM.
 - ii. Restricciones.
 - iii. Iniciar.
 - iv. Agregar aplicación Excel.exe.
 - v. Proyecto de enlaces:
 - a. Crear un nuevo Proyecto.
 - b. Abrir Proyecto.
 - vi. Patrones:
 - a. Nueva base de datos.
 - b. Abrir base de datos.
 - c. Cargar base de datos.
 - vii. ANÁLISIS DE INTERFERENCIAS.
 - viii. REELECCIÓN DE FRECUENCIAS.
 - ix. Modificaciones de enlace nuevo.
 - x. Nuevo enlace.
 - xi. Ejemplos.
3. Datos de entrada
 - i. General
 - ii. Enlaces
 - iii. Datos de enlaces.
 - a. Umbral de interferencia en campo lejano.
 - b. Umbral de interferencia en la misma torre.
 - c. Frecuencias para algoritmo de reelección de frecuencias
 - iv. Patrones.
4. Solucionar errores
 - i. Error de instalación
 - ii. Ejecutar archivo Excel.exe
 - iii. Datos de entrada
 - a. Consideraciones generales
 - b. Archivos de Proyecto
 - c. Enlaces
 - 1) Frecuencia
 - 2) Ubicación
 - i. Latitud (°)
 - ii. Latitud (')

- iii. Latitud (")
- iv. Longitud (°)
- v. Longitud (')
- vi. Longitud (")
- 3) Pot. RF
- 4) G. Ant.
- 5) Patrón
- 6) Polarización
- 7) Ancho
- 8) Crosspolarization
- 9) FtB
- d. Umbrales
- e. Patrones
- iv. Abrir Proyecto
- v. Abrir patrones
- vi. Análisis de interferencias y reelección de frecuencias
- vii. Ver resultados
- viii. Modificar enlace
- ix. Crear un nuevo enlace.

Apéndice B

Tablas utilizadas en la validación

Resumen— En este apéndice figuran las tablas utilizadas en los ejemplos realizados para la validación de los resultados de AIEM presentados en el capítulo 6.

B.I EJEMPLO DE LA FORMA CANÓNICA

Patrón 1				Patrón 2			
Misma Polarización		Distinta Polarización		Misma Polarización		Distinta Polarización	
Ángulo (°)	Ganancia (dBi)	Ángulo (°)	Ganancia (dBi)	Ángulo (°)	Ganancia (dBi)	Ángulo (°)	Ganancia (dBi)
0	0	0	-30	0	0	0	-30
1,5	-8	2,2	-30	0,5	-1	2,2	-30
5	-28	2,5	-35	3,5	-26	2,5	-35
10	-33,1	4,5	-43	5	-28	4,5	-43
12	-34	10,2	-43	12	-34	10,2	-43
14,4	-36	11,5	-45	17,5	-36	11,5	-45
18,5	-42	13	-45	18,5	-42	13	-45
20	-43	15	-49	20	-43	15	-49
30	-45	20	-56	30	-45	20	-56
85	-47	55	-57	60	-46	55	-57
105	-62	85	-65	85	-47	85	-65
110	-64	180	-65	105	-62	180	-65
180	-64	275	-57	110	-64	275	-57
250	-62	305	-56	180	-64	305	-56
255	-47	340	-49	215	-63	340	-49
320	-45	345	-45	250	-62	345	-45
332,5	-43	346	-45	255	-47	347	-45
340	-42	347	-45	320	-45	348,5	-43
345,6	-34	348,5	-43	332,5	-43	349	-43
348	-33,1	349,8	-43	340	-42	349,8	-43
353,6	-28	355,5	-35	345,6	-34	355,5	-35
355	-26	357,5	-30	355	-26	357,5	-30
358,5	-2,8	357,8	-30	358,5	-2,8	357,8	-30
360	0	360	-30	360	0	360	-30

Tabla B.1 Patrones de radiación de las antenas utilizados en sección 6.II

Como criterio de interferencia en campo lejano se utiliza a lo largo de la sección 6.11 los siguientes umbrales:

Delta F (MHz)	Int. =pol (dB)	Int. ~pol (dB)
0	-90	-60
7	-60	-50
14	-30	-25
21	-10	-5
28	0	5
35	10	15
42	15	22
49	20	45
56	40	21

Tabla B.2 Umbrales de interferencia en campo lejano

En el caso de análisis de interferencia en la misma torre los umbrales de interferencia a utilizar son:

Delta F (MHz)	Umbral (dB)
0	-10
7	0
21	30
28	60
42	65
49	70
98	300

Tabla B.3 Umbrales de interferencia en antenas ubicadas en una misma torre

B.II COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE CÁLCULO DE INTERFERENCIA

Misma Polarización		Distinta Polarización	
Ángulo (°)	Ganancia (dB)	Ángulo (°)	Ganancia (dB)
0	0	0	-30
0,5	-1	2,2	-30
1	-2,8	2,5	-35
1,5	-8	4,5	-43
1,9	-18	10,2	-43
3,5	-26	11,5	-45
5	-28	13	-45
6,4	-32	15	-49
10	-33,1	20	-56
12	-34	55	-57
14,4	-36	85	-65
15	-36	180	-65
17,5	-36	275	-57
17,5	-42	305	-56
20	-43	340	-49
27,5	-43	345	-45
27,5	-45	347	-45
40	-45	348,5	-43
85	-47	349,8	-43
105	-62	355,5	-35
110	-64	357,5	-30
180	-64	357,8	-30
250	-62	360	-30
255	-47		
275	-45		
320	-45		
332,5	-43		
332,5	-43		
340	-42		
342,5	-36		
342,5	-36		
345	-36		
345,6	-34		
348	-33,1		
350	-32		
353,6	-28		
355	-26		
356,5	-18		
358,1	-8		
358,5	-2,8		
359	-1		
359,5	0		
360	0		

Tabla B.4 Patrones de radiación de las antenas para la sección 6.III

Delta F (MHz)	Int. =pol (dB)	Int ~pol (dB)
0	-90	-60
40	-60	-50
80	-30	-25
120	-10	-5
160	0	5
200	10	15
240	15	22
280	20	45
320	40	21

Tabla B.5 Tabla de umbrales 1

Delta F (MHz)	Int. =pol (dB)	Int ~pol (dB)
0	-90	-60
20	-90	-60
40	-60	-50
60	-30	-25
80	-10	-5
100	0	5
120	10	15
140	15	22
160	20	45

Tabla B.6 Tabla de umbrales 2

Apéndice C

Recomendación UIT-R P.452-11

Resumen— En este apéndice se dará un resumen de la norma de la UIT en la cual se basa todo este proyecto, cuyo nombre es “Procedimiento para evaluar la interferencia en microondas entre estaciones situadas en la superficie de la Tierra a frecuencias superiores a unos 0,7 GHz” (Cuestión UIT-R 208/3) (1970-1974-1978-1982-1986-1992-1994-1995-1997-1999-2001-2003) .

LA Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT, *considerando*

- a) que debido a la congestión del espectro radioeléctrico, deben compartirse las bandas de frecuencias entre distintos servicios terrenales, entre sistemas del mismo servicio y entre sistemas de servicios terrenales y del servicio Tierra-espacio;
- b) que para que los sistemas compartan de forma satisfactoria las mismas bandas de frecuencias, es preciso establecer procedimientos de predicción de propagación de la interferencia que sean precisos y fiables así como aceptables para todas las partes implicadas;
- c) que es necesario efectuar predicciones sobre propagación de la interferencia para cumplir los objetivos de comportamiento en el «mes más desfavorable» y los objetivos de disponibilidad;
- d) que se necesitan métodos de predicción para aplicarlos a todos los tipos de trayecto y en todas las zonas del mundo,

recomienda que, en frecuencias superiores a unos 0,7 GHz, se utilice el procedimiento que aparece en el Anexo 1 a la presente Recomendación para evaluar las pérdidas de propagación disponibles en los cálculos de interferencia en microondas entre estaciones situadas en la superficie de la Tierra.

Se presenta en el CD adjunto a esta documentación la totalidad de la norma.

Apéndice D

Recomendaciones de disposición de radiocanales para enlaces de microondas

Resumen—En este apéndice se dará una introducción a tres recomendaciones de la UIT que fueron estudiadas para la elección de posibles frecuencias para los nuevos enlaces de manera que no haya interferencia.

D.I RECOMENDACIÓN UIT-R F.385-8T

Disposición de radiocanales para sistemas inalámbricos fijos que funcionan en la banda de 7 GHz
(Cuestión UIT-R 136/9)
(1959-1963-1978-1982-1986-1990-1992-1994-2001-2005)

EN esta Recomendación se señala una serie de disposiciones de radiocanales para sistemas inalámbricos fijos que funcionan en la banda de 7 GHz. El texto principal y los Anexos 1 a 5 a la Recomendación incluyen varias disposiciones de radiocanales con separación de canales de 28, 14, 7, 5 y 3,5 MHz en la banda de frecuencias 7 110-7 900 MHz.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,
considerando

- a) que en la banda de 7 GHz pueden funcionar sistemas inalámbricos fijos (FWS) con velocidades de transmisión de datos de hasta 155 Mbit/s, incluidas las velocidades binarias de la jerarquía digital síncrona;
- b) que para estos sistemas puede haber disponibles bandas de frecuencias de 300 MHz;
- c) que es posible reducir gastos utilizando para varios radiocanales de ida y varios de retorno una antena común para transmisión y recepción;
- d) que pueden reducirse al mínimo muchos efectos perturbadores mediante una disposición cuidadosa y bien estudiada de las frecuencias radioeléctricas en los FWS que utilizan varios radiocanales;
- e) que, con objeto de lograr una economía de frecuencias, conviene intercalar radiocanales complementarios con los previstos en la disposición principal,

recomienda

1 que la disposición preferida de los radiocanales para varios FWS que funcionen en la banda de 7 GHz, se obtenga en la forma siguiente :

Sean f_0 la frecuencia central de la banda de frecuencias ocupada (MHz),

f_n la frecuencia central de un radiocanal de la mitad inferior de esa banda (MHz),

f_n' la frecuencia central de un radiocanal de la mitad superior de esa banda (MHz),

las frecuencias de cada radiocanal se expresan en MHz, por las relaciones siguientes:

mitad inferior de la banda: $f_n = f_0 - 154 + 7 n$

mitad superior de la banda: $f_n' = f_0 + 7 + 7 n$

donde: $n = 1, 2, 3, \dots, 20$;

2 que en una sección utilizada para una conexión internacional, todos los radiocanales de ida estén situados en una mitad de la banda, y todos los de retorno en la otra mitad;

3 que, cuando se empleen antenas comunes transmisión-recepción y se transmitan tres radiocanales por una sola antena, se elijan las frecuencias de los radiocanales haciendo que:

$n = 1, 8$ y 15 , o $n = 2, 9$ y 16 , o $n = 3, 10$ y 17 , o $n = 4, 11$ y 18 , o $n = 5, 12$ y 19 , o $n = 6, 13$ y 20 , en cada mitad de la banda;

4 que, para las conexiones internacionales, el valor de la frecuencia central sea preferentemente:

$f_0 = 7 575$ MHz para la banda 7 425 a 7 725 MHz; pero que, previo acuerdo entre las administraciones interesadas, puedan

utilizarse otros valores de frecuencias centrales en ciertas zonas geográficas, por ejemplo:

$f_0 = 7 275$ MHz, 7 400 MHz o 7 700 MHz;

5 que la disposición de los radiocanales y la elección de la polarización de las antenas sean objeto de acuerdo entre las administraciones interesadas;

D.II RECOMENDACIÓN UIT-R F.386-6

**DISPOSICIÓN DE RADIOCANALES PARA SISTEMAS DE RADIOENLACES
ANALÓGICOS O DIGITALES DE CAPACIDAD MEDIA O ALTA
QUE FUNCIONAN EN LA BANDA DE 8 GHz**
(Cuestión UIT-R 136/9)
(1963-1966-1982-1986-1992-1997-1999)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,
considerando

- a) que conviene poder interconectar en radiofrecuencia los sistemas de radioenlaces de los circuitos internacionales que trabajan en la banda de 8 GHz;
- b) que para estos sistemas algunas administraciones pueden disponer de una banda de frecuencias de 300 MHz de anchura en la banda de 8 GHz;
- c) que puede ser conveniente interconectar en esta banda hasta seis radiocanales de ida y seis de retorno con capacidad para 960 canales telefónicos, o su equivalente;
- d) que esta disposición de radiocanales puede ser también adecuada para los sistemas de 300 canales telefónicos;
- e) que, con objeto de lograr una economía de frecuencias, conviene intercalar radiocanales complementarios con los previstos en la disposición principal;
- f) que es posible realizar economías si pueden interconectarse tres radiocanales de ida y tres de retorno, por lo menos, en sistemas de radioenlaces que utilicen antenas comunes de transmisión-recepción;
- g) que pueden reducirse al mínimo muchos efectos perturbadores mediante una disposición de frecuencias cuidadosa y bien estudiada para los sistemas que utilizan varios radiocanales,

recomienda

1 que la disposición preferida de los radiocanales en la banda de 8 GHz se obtenga en la forma siguiente:

Sea f_0 la frecuencia central de la banda de frecuencias ocupada (MHz),

f_n la frecuencia central de un radiocanal de la mitad inferior de esa banda (MHz),

$f_{n'}$ la frecuencia central de un radiocanal de la mitad superior de esa banda (MHz),

las frecuencias de cada radiocanal se expresan entonces por las relaciones siguientes:

$$\text{mitad inferior de la banda: } f_n = f_0 - 151,614 + 11,662 n \text{ MHz}$$

$$\text{mitad superior de la banda: } f_{n'} = f_0 + 11,662 n \text{ MHz}$$

donde, en los sistemas con capacidad para 960 canales telefónicos o su equivalente:

$$n = 1, 3, 5, 7, 9 \text{ y } 11;$$

en los sistemas con capacidad para 300 canales telefónicos:

$$n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots, 12;$$

2 que en una sección utilizada para una interconexión internacional todos los radiocanales de ida estén situados en una de las mitades de la banda y todos los de retorno en la otra mitad;

3 que para los radiocanales adyacentes de una misma mitad de banda, se utilice, alternativamente, la polarización horizontal y la vertical;

4 que cuando se empleen antenas comunes transmisión-recepción y se transmitan tres radiocanales por una sola antena, para los sistemas con 960 canales telefónicos de capacidad, o su equivalente, se elijan las frecuencias de los canales haciendo:

$$n = 1, 5 \text{ y } 9 \text{ o}$$

$$n = 3, 7 \text{ y } 11 \text{ en ambas mitades de la banda;}$$

cuando se utilicen sistemas con capacidad para 300 canales telefónicos, se elija una de las combinaciones siguientes:

$$n = 1, 5 \text{ y } 9 \text{ o}$$

$$n = 2, 6 \text{ y } 10 \text{ o}$$

$$n = 3, 7 \text{ y } 11 \text{ o}$$

$$n = 4, 8 \text{ y } 12 \text{ en ambas mitades de la banda;}$$

5 que si hay necesidad de emplear en los sistemas de 960 canales telefónicos, o su equivalente, radiocanales adicionales intercalados entre los de la disposición principal, se adopte:

$$n = 2, 4, 6, 8, 10 \text{ y } 12;$$

6 que, para las interconexiones internacionales, el valor de la frecuencia central sea preferentemente:

$$f_0 = 8\,350 \text{ MHz;}$$

que corresponde a la banda 8 200-8 500 MHz, pero que, previo acuerdo entre las administraciones interesadas, puedan adoptarse otros valores;

7 que debe tenerse en cuenta que en determinados países se utiliza otra disposición de radiocanales para los sistemas de radioenlaces con una capacidad máxima de 1 800 canales telefónicos, o su equivalente, así como para los sistemas digitales de alta capacidad de velocidades binarias de hasta 140 Mbit/s o de la jerarquía digital síncrona.

D.III RECOMENDACIÓN UIT-R F.387-9T

Disposiciones de radiocanales para sistemas de radioenlaces que funcionan en la banda de 11 GHz*

(Cuestión UIT-R 136/9)

(1963-1970-1974-1978-1986-1990-1992-1995-1999-2002)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,
considerando

- a) que en la banda de 11 GHz, parece posible la utilización de sistemas de radioenlaces analógicos con una capacidad máxima de 1 800 canales telefónicos, o su equivalente, o de sistemas digitales con una capacidad de hasta 140 Mbit/s o de velocidades binarias de la jerarquía digital síncrona con reserva de las condiciones impuestas por el régimen de lluvias;
- b) que la separación entre los repetidores y otras características de diseño de los sistemas de radioenlaces que trabajan en esta banda de frecuencias, deben determinarse teniendo en cuenta los factores meteorológicos significativos;
- c) que para los circuitos internacionales es conveniente poder interconectar estos sistemas en radiofrecuencia;
- d) que ofrece considerables ventajas una disposición uniforme de los radiocanales, tanto si se trata de sistemas analógicos de pequeña como de gran capacidad;
- e) que en una banda de frecuencias de 1 000 MHz de anchura, puede ser conveniente interconectar hasta 12 radiocanales analógicos de ida y 12 de retorno;
- f) que se realizarían economías si pudieran acomodarse hasta 12 radiocanales analógicos de ida y 12 de retorno, en una antena común;
- g) que, en ciertos casos, puede ser conveniente intercalar radiocanales suplementarios con los de la disposición principal;
- h) que los radiocanales deben estar dispuestos de modo que permitan utilizar una frecuencia intermedia de 70 MHz ó 140 MHz;
- j) que es deseable prever el funcionamiento de sistemas digitales y sistemas analógicos en el mismo trayecto;
- k) que los conceptos de sistemas de radioenlaces digitales de una sola portadora y multiportadora son útiles para lograr los compromisos óptimos desde el punto de vista técnico y económico en el diseño de sistemas,

recomienda

1 que la disposición preferida de los radiocanales para sistemas de radioenlaces analógicos con una capacidad máxima de 1 800 canales telefónicos, o su equivalente, que trabajen en la banda de 11 GHz, se obtenga como sigue:

Sea f_0 la frecuencia central de la banda de frecuencias ocupada (MHz),

f_n la frecuencia central de uno de los radiocanales de la mitad inferior de esa banda (MHz),

f_n' la frecuencia central de uno de los radiocanales de la mitad superior de esa banda (MHz);

las frecuencias de cada canal se expresarán mediante las relaciones siguientes:

$$\text{mitad inferior de la banda: } f_n = f_0 - 525 + 40 n \text{ MHz}$$

$$\text{mitad superior de la banda: } f_n' = f_0 + 5 + 40 n \text{ MHz}$$

donde: $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11$ ó 12 .

2 que de ser necesario emplear radiocanales analógicos suplementarios intercalados con los de la disposición principal, los valores de las frecuencias centrales de estos canales sean 20 MHz inferiores a los de las frecuencias correspondientes de los canales de la disposición principal.

3 que, cuando también se necesiten radiocanales analógicos para sistemas de radioenlaces auxiliares, las frecuencias preferidas para 11 canales de ida y 11 de retorno, comprendidas las dos parejas de canales auxiliares de la disposición principal y de la disposición intercalada, se obtengan adoptando:

$$n = 2, 3, 4, \dots 12 \text{ en la mitad inferior de la banda,}$$

$$n = 1, 2, 3, \dots 11 \text{ en la mitad superior de la banda.}$$

4 que en la sección en que se haga la interconexión internacional, todos los canales de ida estén situados en una mitad de la banda y todos los de retorno en la otra;

5 que, si por ejemplo, sólo se utilizan tres canales de ida y tres de retorno con una antena común transmisión-recepción, se elijan de preferencia las frecuencias de los canales (MHz), mediante una de las combinaciones especificadas.

6 que para los radiocanales analógicos adyacentes situados en la misma mitad de la banda se utilicen de preferencia alternativamente polarizaciones diferentes;

7 que el valor preferido de la frecuencia central sea 11 200 MHz, pero que puedan adoptarse otros valores, previo acuerdo entre las administraciones interesadas;

8 que cuando haya que utilizar, en la banda de 11 GHz, sistemas de radioenlaces digitales de baja o media capacidad, la disposición de los radiocanales se efectúe de conformidad con los *recomienda* 1 y 2 (véase la Nota 7). En el Anexo 1 figura una descripción de estas disposiciones de canales;

9 que, cuando se hayan de utilizar en la banda de 11 GHz sistemas de radioenlaces digitales de gran capacidad con velocidades binarias próximas a las de la jerarquía digital plesiócrona o síncrona, la disposición de radiocanales debe utilizar las frecuencias centrales definidas en los *recomienda* 1, 2 y 3.

Apéndice E

Reglamentos de la URSEC

Resumen—En este apéndice se dará una introducción de tres recomendaciones de la UIT que fueron

E.I REGLAMENTO DE LICENCIAS DE TELECOMUNICACIONES Aprobado por Decreto 115/003 de 25 de marzo de 2003

CAPÍTULO I: DISPOSICIONES GENERALES

ARTÍCULO 1º.- Objeto

La prestación de servicios de telecomunicaciones, excluida la radiodifusión, así como también la instalación, el uso y la explotación de los distintos medios utilizados en telecomunicaciones, se regirán en todo el territorio nacional por el presente Reglamento, los Convenios Internacionales de los que nuestro país sea parte, el ordenamiento jurídico vigente y las normas complementarias que en caso de corresponder dicte la Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones.

ARTÍCULO 2º.- Acceso a recursos escasos o esenciales

Los recursos o medios naturales, físicos o técnicos escasos o declarados como esenciales, utilizados para la prestación de servicios de telecomunicaciones, estarán sujetos a la reglamentación que establezca el Poder Ejecutivo o la Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones en su caso, a fin de posibilitar condiciones de acceso transparentes y no discriminatorias para los titulares de Licencias.

ARTÍCULO 3º.- Definiciones

A los efectos del presente reglamento se entenderá que:

Acceso: es la interfaz y la función mediante la cual se asegura la interoperabilidad entre la red de un prestador con el punto de presencia de los equipos de otro prestador, de tal forma que se pueda cursar tráfico de telecomunicaciones entre ellos.

Área de Servicio: es la zona geográfica en la que el titular de una Licencia realiza la prestación de un servicio de telecomunicaciones.

Cliente: es la persona física o jurídica que ha celebrado un contrato de prestación de servicios de telecomunicaciones con un titular de una Licencia.

Espectro Radioeléctrico: es el conjunto de las ondas radioeléctricas u ondas hertzianas sin solución de continuidad, entendiéndose por tales a las ondas electromagnéticas.

Estación de Telecomunicaciones: es el conjunto de equipos, dispositivos, medios y sistemas necesarios para la operación de servicios de telecomunicaciones.

Infraestructura: es toda construcción, obra, soporte, ducto o conducto, y medio físico sin capacidad de telecomunicación por sí misma.

Licencia: es la autorización para la prestación de servicios de telecomunicaciones a terceros o al público en general.

Licenciatarario: es la persona física o jurídica a la cual se le ha otorgado autorización para la prestación de servicios de telecomunicaciones a terceros o al público en general

Órgano Regulador: es la Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones (URSEC) creada por el Art. 70 de la Ley N° 17.296 del 21 de febrero de 2001.

Punto de Terminación de Red: es el conjunto de conexiones físicas o radioeléctricas y sus especificaciones técnicas de acceso, que forman parte de una red y que son necesarias para tener acceso a esa red, a los efectos de recibir servicios de telecomunicaciones.

Red Pública de Telecomunicaciones: es el conjunto de nodos, enlaces, medios y sistemas que posibilita la conexión entre dos o más puntos a fin de hacer efectiva la telecomunicación entre ellos. Estas redes, en tanto se utilizan para dar servicios al público en general, son consideradas redes públicas de telecomunicaciones y su

operador dará interconexión y acceso a otros operadores, prestadores, usuarios o clientes de conformidad con las condiciones establecidas en el reglamento respectivo.

Red Privada: es el conjunto de nodos, enlaces, medios y sistemas que establece una persona física o jurídica que posibilita la conexión entre dos o más puntos a fin de hacer efectiva la telecomunicación entre ellos. Las redes privadas de telecomunicaciones son utilizadas por una persona física o jurídica para satisfacer sus propias necesidades de telecomunicación, sin comercializar ningún servicio a terceros y no tienen interconexión con redes públicas.

Revendedor: es la persona física o jurídica registrada ante la Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones que adquiere de un licenciatario servicios de telecomunicaciones al por mayor y los comercializa a los clientes finales.

Telecomunicación: es toda transmisión, emisión o recepción de señales que contengan signos, escritos, imágenes, sonidos e informaciones de cualquier naturaleza, por medio de línea física o hilos, radioelectricidad, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos.

Usuario: es la persona física o jurídica que en forma eventual o permanente tiene acceso a algún servicio de telecomunicaciones.

CAPÍTULO II: SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES Y SU CLASIFICACIÓN

ARTÍCULO 5°.- Licencias

La licencia es la autorización que otorga el Poder Ejecutivo o en su caso la Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones para la prestación de servicios de telecomunicaciones que se brinde a terceros o al público en general. Para los servicios de telecomunicaciones que satisfagan necesidades propias sin que haya prestación a terceros o al público en general, no requerirá la obtención de Licencia. Sin perjuicio de ello, la Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones podrá disponer las normas aplicables a la instalación y operación de los sistemas que, en su caso, requerirán la habilitación o registro. En caso que un servicio requiera la utilización de frecuencias o facilidades satelitales, la Licencia no presupone la obligación del Poder Ejecutivo o de la mencionada Unidad Reguladora en su caso de garantizar la disponibilidad de dicho recurso. La asignación de frecuencias o el uso de facilidades satelitales se hará de conformidad con la reglamentación vigente que para cada caso corresponda y la disponibilidad de medios o facilidades existente.

ARTÍCULO 6°.- Infraestructura para telecomunicaciones

La instalación de infraestructura no requerirá permiso ni licencia, sin perjuicio de lo que en su caso corresponda por el uso de los espacios del dominio público o privado y aquellas relativas a las normas de planeamiento, seguridad urbana o impacto ambiental. El tendido de fibra óptica sin capacidad de transmisión por sí mismas (fibra oscura) deberá ser

informado a la Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones a efectos de que ésta tome conocimiento de la disponibilidad de infraestructura de telecomunicaciones existente en el territorio nacional.

ARTÍCULO 7°.- HABILITACIÓN GENÉRICA El Poder Ejecutivo, conforme a lo dispuesto en el literal d) del artículo 94 de la ley 17.296 del 21 de febrero de 2001, habilitará genéricamente los servicios de telecomunicaciones enumerados a continuación:

I - Sistemas de radiocomunicaciones terrestres

- a. radioalarmas
- b. radiotaxi
- c. repetidora comunitaria
- d. radiotransmisión de mensajes
- e. radiobúsqueda
- f. radiobúsqueda bidireccional
- g. radiolocalización vehicular
- h. transporte y transmisión de datos (carácter nacional y/o internacional)
- i. música funcional
- j. radioenlaces troncalizados

II - Sistemas de radiocomunicaciones satelitales:

- a. facilidades satelitales
- b. acceso a facilidades satelitales
- c. acceso a sistemas proveedores de conexión vía satélite por suscripción, a la red Internet
- d. transmisión de datos por medio de satélite de órbita no geoestacionaria

III – Sistemas de televisión para abonados

Estos servicios serán autorizados por la Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones, quien además habilitará los sistemas correspondientes, sin perjuicio de la concesión de frecuencias u otros bienes escasos que requieran procedimiento competitivo para asignarlos.

ARTÍCULO 8º.- Área de servicio y formas de otorgamiento de las licencias

La licencia para la prestación de servicios de telecomunicaciones a terceros o al público en general habilita la prestación de servicios de telecomunicaciones dentro del Área de Servicio definida para brindarlos, en los términos que lo determine el acto administrativo correspondiente. Estas licencias se otorgan a demanda, sin perjuicio de lo cual el Poder Ejecutivo o la URSEC según el caso, podrán disponer que las referidas a ciertos servicios se otorguen mediante procedimientos competitivos.

ARTÍCULO 9º.- Clases de Licencias

1) Licencia de Telecomunicaciones - Clase A: habilita la operación de una red pública de telecomunicaciones y a la prestación por esos medios de los servicios de telecomunicaciones que resulten técnica y jurídicamente factibles conforme a la legislación vigente, con excepción del servicio de televisión para abonados. La licencia incluye el derecho y la obligación de dar interconexión y de negociar compensación recíproca por los servicios de acceso o terminación conmutada de telefonía.

2) Licencia de Telecomunicaciones - Clase B: habilita la prestación de servicios de telecomunicaciones utilizando como soporte la red, medios o enlaces propios o de otro prestador. Se distinguen en esta categoría las siguientes clases:

Licencia de Telecomunicaciones - Clase B1: habilita la prestación de los servicios de telecomunicaciones que surgen de su plan técnico y para cuya prestación el licenciatario requiere el acceso a los recursos de numeración, enlaces u otros medios de las redes de titulares de Licencias de Telecomunicaciones Clase A.

Licencia de Telecomunicaciones - Clase B2: habilita la prestación de los servicios de telecomunicaciones que surgen de su plan técnico y para cuya prestación el licenciatario no requiere de acceso a los recursos de numeración, enlaces u otros medios de las redes de titulares de Licencias de Telecomunicaciones Clase A.

3) Licencia para el arriendo de enlaces, medios y sistemas de telecomunicaciones - Clase C: habilita exclusivamente la instalación de enlaces, medios y sistemas de telecomunicaciones para su provisión o arriendo a licenciatarios de servicios de telecomunicaciones.

4) Licencia de Televisión para abonado - Clase D: habilita la prestación de servicios de televisión por suscripción que requieren la utilización de medios de transmisión alámbricos o inalámbricos para la difusión de los contenidos.

E.II REGLAMENTO DE ADMINISTRACIÓN Y CONTROL DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

Aprobado por Decreto 114/003 de 25 de marzo de 2003

CAPÍTULO I: DISPOSICIONES GENERALES

ARTÍCULO 1º.- Objeto

El presente Reglamento tiene por objeto establecer las disposiciones que regirán la administración y el control del espectro radioeléctrico nacional.

ARTÍCULO 2º.- Objetivos

Los objetivos del presente Reglamento son los siguientes:

- a) propiciar el uso eficiente del espectro radioeléctrico procurando limitar el número de frecuencias y la extensión del espectro utilizado al indispensable para asegurar el funcionamiento satisfactorio de los servicios y sistemas;
- b) promover el uso del espectro radioeléctrico como factor de desarrollo económico y social;
- c) propiciar el acceso equitativo a los recursos radioeléctricos, mediante procedimientos abiertos, transparentes y no discriminatorios;
- d) promover el desarrollo y la utilización de nuevos servicios radioeléctricos, redes y tecnologías y el acceso a ellos de todos los ciudadanos, impulsando la aplicación a la mayor brevedad posible de los últimos adelantos de la técnica;
- e) contribuir a la planificación estratégica del sector de las telecomunicaciones.

ARTÍCULO 3º.- Términos generales

A los efectos del presente Reglamento se considera espectro radioeléctrico al conjunto de ondas radioeléctricas u ondas hertzianas, sin solución de continuidad, entendiéndose por tales a las ondas electromagnéticas, cuya frecuencia se fija convencionalmente por debajo de 3.000 Giga Hertz que se propagan por el espacio sin guía artificial.

El espectro radioeléctrico constituye un recurso natural y limitado del dominio público del Estado. La utilización de ondas electromagnéticas de frecuencias superiores a 3.000 Giga Hertz y propagadas por el espacio sin guía artificial, se somete al mismo régimen que la utilización de las ondas radioeléctricas, siéndole de aplicación lo dispuesto en la Ley N° 17.296 de 21 de febrero de 2001 y en el presente Reglamento.

CAPÍTULO II: PLANIFICACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

ARTÍCULO 4º.- Planes de utilización del espectro radioeléctrico

La administración y el control del espectro radioeléctrico incluyen, entre otras funciones, la elaboración y aprobación de los planes generales de utilización, el establecimiento de las condiciones para el otorgamiento del derecho a su uso y la comprobación técnica de emisiones radioeléctricas. La administración y el control del referido espectro incluyen la inspección de estaciones y sistemas, la detección, localización, identificación y eliminación de irregularidades e interferencias perjudiciales para el correcto funcionamiento de los sistemas de telecomunicaciones. La utilización del espectro radioeléctrico se efectuará de acuerdo con la planificación que delimite las bandas y canales atribuidos a cada uno de los servicios y sistemas.

Son planes de utilización del espectro radioeléctrico el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias y los aprobados por otras normas específicas. Dicho Cuadro constituye el documento técnico normativo que contiene los cuadros de atribución de frecuencias a los diversos servicios de telecomunicaciones que emplean el espectro radioeléctrico, así como las normas técnicas generales para la utilización del mismo. Corresponde a la Unidad Reguladora de Servicio de Comunicaciones la elaboración y aprobación de los planes de utilización del espectro radioeléctrico, salvo los de radiodifusión los que serán elevados al Poder Ejecutivo para su aprobación.

ARTÍCULO 5º.- Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias

A fin de lograr la utilización coordinada y eficaz del espectro radioeléctrico la Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones aprobará el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias, el cual establecerá las atribuciones de bandas, sub-bandas y canales radioeléctricos aplicables a las clases y categorías de servicios de radiocomunicaciones involucrados, donde corresponda, así como las demás condiciones técnicas generales que pudieran ser necesarias.

Para la elaboración del Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias se tendrán en cuenta , entre otras, las siguientes previsiones:

- a) el Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT);
- b) los convenios internacionales;
- c) las disponibilidades nacionales e internaciones de canales radioeléctricos;
- d) las prioridades nacionales;
- e) el privilegio en los usos del espectro que sean de utilidad para el público o que sirvan a sectores importantes para el desarrollo nacional;
- f) la utilización futura de las distintas bandas de frecuencias.

ARTÍCULO 6º.- Registro Nacional de Frecuencias

La Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones mantendrá actualizado el Registro Nacional de Frecuencias, el cual contiene información sobre las asignaciones vigentes de frecuencias radioeléctricas y la conformación general de los sistemas que operan en ellas. La información contenida en este Registro será de acceso público, excepto aquella que por su naturaleza deba tenerse por reservada. A tal efecto, la Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones dictará las disposiciones complementarias que garanticen los intereses de la defensa nacional y la protección de los datos personales, estableciendo los términos en los que podrá hacerse efectivo el acceso al Registro.

CAPÍTULO III: USOS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

ARTÍCULO 7º.- Clasificación de uso del espectro radioeléctrico

El Cuadro Nacional de Frecuencias distinguirá las siguientes modalidades de uso del espectro radioeléctrico:

- a) **Uso libre:** se considerará de tal manera la utilización de bandas, sub-bandas, canales y frecuencias sin requerimiento de autorización.
- b) **Uso común :** se considerará de tal manera la utilización de bandas, sub-bandas, canales y frecuencias para las cuales se requiere autorización y sin asignación de frecuencia alguna.
- c) **Uso específico:** se considerará de tal manera la utilización de las bandas, sub-bandas, canales y frecuencias asociadas a priori a determinados servicios o sistemas de radiocomunicaciones, para las cuales se requiere autorización con asignación de determinadas frecuencias, sea con carácter compartido o exclusivo.

- d) Uso general: se considerará de tal manera la utilización de las bandas, sub-bandas, canales y frecuencias no asociadas a priori a determinados servicios o sistemas de radiocomunicaciones, para las cuales se requiere autorización con asignación de frecuencias con carácter exclusivo o compartido.

ARTÍCULO 8º.- Solicitudes para el uso del espectro radioeléctrico

Los interesados en obtener autorización para el uso del espectro radioeléctrico presentarán sus solicitudes ante la Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones, la cual determinará - según el tipo, características y modalidades del servicio de radiocomunicaciones de que se trate - las formalidades y contenidos de la información a aportar por los interesados. En los casos que las solicitudes deban ser acompañadas de un proyecto técnico, el mismo deberá ser suscrito por un técnico competente en materia de telecomunicaciones y contener como mínimo la siguiente información:

- a) descripción de la estructura de la red o del sistema que se pretende instalar, explicitando tecnologías a desplegar;
- b) características técnicas de los equipos transmisores;
- c) detalle del servicio a prestar así como de las estaciones integrantes del sistema y de los emplazamientos de las estaciones fijas;
- d) área de servicio previsto, indicando lugares de emplazamientos previstos de los centros principales y secundarios del sistema;
- e) detalle del requerimiento espectral con justificación de la banda, cantidad y carácter de la asignación solicitada;
- f) cronograma para la instalación y puesta en funcionamiento;
- g) expresión de conocimiento y conformidad a las disposiciones vigentes sobre la utilización del espectro radioeléctrico. La Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones podrá requerir al solicitante la información y documentación complementaria que considere conveniente.

ARTÍCULO 12º.- Uso eficiente del espectro

La Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones podrá modificar, por razones debidamente fundadas, el área de servicio y las características técnicas impuestas a los sistemas de radiocomunicaciones, incluyendo la cantidad de espectro radioeléctrico asignado, sin derecho a reclamo de clase alguna. Se entenderá que los asignatarios de frecuencias radioeléctricas las utilizan eficientemente cuando su uso sea efectivo y continuo en las zonas geográficas para las que fueron reservadas, con un adecuado volumen de tráfico. En el caso de sistemas destinados a la prestación comercial de servicios de telecomunicaciones se podrá incluir como tal la reserva espectral necesaria para el crecimiento previsible durante el período de vigencia del título habilitante correspondiente.

Los enlaces radioeléctricos autorizados lo serán exclusivamente para los fines declarados por los solicitantes. Los parámetros de instalación y operación autorizados para operar el espectro radioeléctrico, tales como son las frecuencias radioeléctricas, la potencia de radiofrecuencia de transmisión, el ancho de banda, la altura media de antena y otras características técnicas, serán establecidos por la Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones y no deberán ser modificados sin su previa autorización. La potencia de radiofrecuencia radiada no podrá ser superior a la autorizada y deberá reducirse a la mínima necesaria compatible con el normal funcionamiento del sistema, pudiendo ser superada únicamente para comunicaciones de socorro. El ancho de banda a asignar se restringirá a las necesidades del tráfico de comunicaciones a cursar que fuera informado en la solicitud presentada en su oportunidad.

En caso de ocurrencia de interferencias perjudiciales, entendiéndose por tal la emisión, radicación o inducción de frecuencia radioeléctrica que específicamente degrade, obstruya o interrumpa la operativa de un sistema de telecomunicaciones, el causante estará obligado a suspender de inmediato sus operaciones hasta corregir la anomalía a satisfacción de la Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones.

ARTÍCULO 13º.- Inspección de las estaciones radioeléctricas

La Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones deberá evaluar en forma permanente y objetiva los aspectos técnicos, operativos y reglamentarios que deben cumplir las estaciones radioeléctricas, de modo de prevenir y resolver los problemas de interferencias perjudiciales que se susciten y evitar el uso del espectro radioeléctrico por parte de estaciones que no cuenten con la debida autorización. En tal sentido, la función de comprobación técnica de las emisiones involucra la posibilidad de que toda estación transmisora de radiocomunicaciones que se instale en el territorio nacional sea inspeccionada en cualquier momento, para lo cual los interesados deberán brindar las máximas facilidades.

CAPÍTULO IV: USO LIBRE

ARTÍCULO 14º.- Uso Libre del espectro radioeléctrico

El uso libre del espectro radioeléctrico no requiere de autorización de las estaciones ni asignación de frecuencia alguna. Ejemplos de uso libre lo constituyen las estaciones y sistemas de radiocomunicaciones de muy baja potencia de transmisión que cumplan con los parámetros establecidos en la reglamentación correspondiente. Las estaciones que hagan uso libre del espectro radioeléctrico no podrán producir interferencias perjudiciales ni solicitar protección frente a otras estaciones que correspondan a sistemas de radiocomunicaciones que operen dentro de los parámetros autorizados.

ARTÍCULO 15°.- Limitación de los derechos otorgados para Uso Libre

Por razones debidamente fundadas la Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones podrá modificar el carácter del uso libre en determinadas bandas, sub-bandas o frecuencias así como los parámetros de operación de los equipos transmisores involucrados. En dichos casos, se otorgará un plazo razonable para que los interesados procedan a las adaptaciones pertinentes o a la migración a otras bandas, sub-bandas o frecuencias de así corresponder.

CAPÍTULO V: USO COMÚN

ARTÍCULO 16°.- Uso Común del espectro radioeléctrico

El uso común del espectro radioeléctrico requiere de la previa obtención de una autorización o permiso en los términos del presente Reglamento y las normas complementarias que dicte la Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones. Ejemplos de uso común lo constituyen las frecuencias atribuidas a los servicios de radioaficionados y banda ciudadana y las frecuencias de socorro y seguridad de los servicios móvil marítimo y móvil aeronáutico. Las autorizaciones se otorgarán por orden de presentación de solicitudes sin más limitaciones que las que se deriven del cumplimiento de los requisitos que surjan de las reglamentaciones que dicte la Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones .

CAPÍTULO VI: USOS ESPECÍFICO Y GENERAL

ARTÍCULO 17°.- Asignación de frecuencias

Las asignaciones de frecuencias para el uso específico del espectro radioeléctrico se efectuarán, en cualquier caso, asociadas a la prestación de un servicio de telecomunicaciones o la instalación y operación de una red radioeléctrica propia, para lo cual se deberán respetar los siguientes principios generales:

- a) las frecuencias se asignarán dentro de cada banda, conforme a lo que se establezca en el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias;
- b) el área geográfica de la asignación se limitará a las localizaciones o áreas de prestación del servicio, según corresponda, informadas en la solicitud formulada, otorgándose asignaciones con carácter nacional solamente en aquellos casos en que el despliegue del sistema así lo justifique;
- c) los titulares de las asignaciones que se otorguen deberán cumplir, además de las condiciones que se les impongan en la resolución de autorización de uso del espectro radioeléctrico, las referidas a la licencia que corresponda en cada caso.

ARTÍCULO 19°.- Contenido de la autorización

Las resoluciones a través de las cuales se otorguen autorizaciones para el uso específico y general del espectro radioeléctrico recogerán, en los casos en que correspondan, los aspectos particulares referidos a:

- a) los parámetros técnicos de funcionamiento;
- b) el área de despliegue del sistema;
- c) carácter de la asignación de las frecuencias;
- d) los plazos de vigencia, si correspondiere, y los de puesta en funcionamiento del sistema;
- e) cualquier otra condición que, en virtud de la normativa vigente, se deba imponer.

ARTÍCULO 20°.- Denegación de solicitudes

La Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones podrá denegar solicitudes por alguna de las siguientes causas:

- a) falta de adecuación de las características técnicas al Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias;
- b) no disponibilidad de suficiente espectro radioeléctrico en las bandas de frecuencias solicitado;
- c) no adecuación de las características técnicas solicitadas a los objetivos de los servicios previstos, siempre que su titular no acepte las alternativas técnicas propuestas por la Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones;
- d) no resultar seleccionado en un procedimiento competitivo donde resulte aplicable;
- e) otras razones debidamente fundadas.

CAPÍTULO XI: HOMOLOGACIONES

ARTÍCULO 33°.- Homologación de equipos transmisores de radiocomunicaciones

La homologación de equipos transmisores de radiocomunicaciones tiene como objeto asegurar el adecuado cumplimiento de las especificaciones técnicas a que éstos deben ajustarse para prevenir y evitar la ocurrencia de interferencias perjudiciales entre sistemas y garantizar la correcta utilización del espectro de las radiocomunicaciones. Todo equipo transmisor de radiocomunicaciones debe estar genéricamente homologado por la Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones antes de su comercialización y operación en el mercado uruguayo, salvo las excepciones expresamente previstas o que en su caso establezca la mencionada Unidad Reguladora. La homologación se aplicará a los equipos transmisores de radiocomunicaciones que no sean expresamente exceptuados por la Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones y que se encuentren en una de las siguientes categorías conforme a lo definido en el Reglamento de Licencias de Telecomunicaciones:

- a) homologación Tipo II A: cuya potencia de radiofrecuencia sea superior a 100 milivatios;
- b) homologación Tipo II B: cuya potencia de radiofrecuencia sea hasta 100 milivatios;
- c) homologación Tipo II C: transmisores de fabricación artesanal.

La Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones establecerá los requisitos técnicos que deberán cumplir los equipos transmisores de conformidad con los estándares y recomendaciones de los Organismos Internacionales en la materia. La citada Unidad Reguladora podrá avalar las homologaciones expedidas por Administraciones extranjeras de acuerdo a los procedimientos que ella establezca.

CAPÍTULO XII: SANCIONES

ARTÍCULO 35°.- Comisión de infracciones

La comisión de infracciones en la utilización del espectro de las radiocomunicaciones dará lugar a la aplicación de sanciones previstas en el artículo 89 de la Ley 17.296 de 21 de febrero de 2001, en el Reglamento Licencias de Telecomunicaciones y en los actos jurídicos habilitantes. Las mismas se graduarán según la gravedad y considerando la existencia de reincidencias. Constituyen infracciones muy graves:

- a) incumplimiento del proyecto aprobado por la Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones;
- b) la transferencia total o parcial sin la previa autorización;
- c) la utilización de las frecuencias con fines diferentes a los que motivaron su asignación;
- d) la producción deliberada de interferencias perjudiciales;
- e) la interceptación de radiocomunicaciones no destinadas al uso libre del público;
- f) la negativa, obstrucción o resistencia a las inspecciones técnico-administrativas de las estaciones radioeléctricas;
- g) cuando las emisiones, sin configurar delito o falta, pudieren perturbar la tranquilidad pública, menoscabar la moral y las buenas costumbres, comprometer la seguridad o el interés público o afectar la imagen y el prestigio de nuestro país;
- h) la emisión de señales de identificación engañosas o falsas;
- i) la alteración o manipulación de las características técnicas de los equipos;
- j) incumplimiento de los plazos de instalación y puesta en funcionamiento del sistema;
- k) utilización de frecuencias sin la autorización correspondiente;
- l) reiteración de infracciones graves.

Constituyen infracciones graves:

- a) comunicar con estaciones no autorizadas;
- b) los cambios sin autorización en los parámetros de operación de los sistemas de radiocomunicaciones;
- c) la importación, fabricación, distribución, venta o instalación de equipos de radiocomunicaciones que no cuenten con la homologación de la Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones;
- d) incumplimiento en el pago a la Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones de las obligaciones emergentes de las autorizaciones.

En los casos de infracciones muy graves, el Poder Ejecutivo o la Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones según el caso, podrán revocar los derechos de uso de espectro radioeléctrico.

CAPÍTULO XIII: CLÁUSULAS COMPLEMENTARIAS

ARTÍCULO 36°.- Situaciones de emergencia

Cuando sea necesario proteger la vida humana, mantener el orden público, garantizar la seguridad de los recursos naturales y de los bienes públicos o privados, las personas autorizadas a operar servicios privados de radiocomunicaciones están obligados a transmitir mensajes de las autoridades o de terceros.

ARTÍCULO 37°.- Protección del dominio público radioeléctrico

La Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones podrá imponer limitaciones a la intensidad de campo eléctrico y las servidumbres que resulten necesarias para la adecuada protección radioeléctrica, entre otras, de las instalaciones siguientes:

- a) las instalaciones de la Administración necesarias para el control y fiscalización del espectro radioeléctrico;
- b) las estaciones de socorro y seguridad;
- c) las instalaciones de interés para la defensa nacional;
- d) las estaciones terrenas de telemetría, telemando y control;
- e) las estaciones de investigación espacial, de exploración de la Tierra por satélite, de radioastronomía y de astrofísica, y las instalaciones oficiales de investigación o ensayo de radiocomunicaciones u otras en las que se lleven a cabo funciones análogas;
- f) cualquier otra instalación o estación cuya protección resulte necesaria para el buen funcionamiento de servicios de interés público.

Todos los equipos que generen radiaciones no ionizantes deberán ser instalados y operados de acuerdo con las directivas de la Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones de modo que no causen lesiones o daños, ni interferencias perjudiciales a otros sistemas de telecomunicaciones ni se superen los límites de exposición humana a campos electromagnéticos de radiofrecuencia .

Apéndice F

Contenido del CD

Memorias

1. Memoria descriptiva
2. Ejemplos y resultados
 1. Análisis canónico
 2. Análisis Empresa A – Empresa B
3. Anexos
 1. Normas
 2. Tutorial
4. Bibliografía
 1. Antenas
 2. Java
 3. Matlab

Software

1. Proyecto AIEM
 1. Matlab - versión con un enlace interferente
 2. Matlab - versión múltiples enlaces
 3. Producto Final - AIEM v1.2
2. Otros
 1. Eclipse
 2. j2sdk-1_4_2_05

Bibliografía

- [1]. Recomendación UIT-R P.452-11_ Unión Internacional de las Telecomunicaciones, Procedimiento de predicción para evaluar la interferencia en microondas entre estaciones situadas en la superficie de la Tierra a frecuencias superiores a unos 0,7 GHz, junio 2003.
- [2]. Constantine A. Balanis. Antenna Theory: Analysis and Design. John Wiley & Sons, Inc., 2da. Edición. 1996.
- [3]. Recomendación UIT-R P.530-11_ Unión Internacional de las Telecomunicaciones, Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa
- [4]. Roberto Ares. Manual de las Infotelecomunicaciones. Edición Abril 2000. <http://www.rares.com.ar> [visitada en Junio de 2004].
- [5]. Emisión de Ondas Electromagnéticas. Antenas. <http://omega.ilce.edu.mx3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/>. [visitada en agosto de 2004].
- [6]. Rodolfo Feick, Criterios y Procedimientos para Mediciones de Propagación Electromagnética en Ambientes Confinados. <http://profesores.elo.utfsm.cl/~walter/varios/MedProp.PDF>. [visitada en agosto de 2004]
- [7]. José Villasuso. Propagación de las ondas electromagnéticas. http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/applets/Hwang/ntnujava/emWave/emWave_s.htm . [visitada en octubre de 2005].
- [8]. Argusto Chesd. Consideraciones generales de Propagación. <http://www.uv.es/~hertz/hertz/Docencia/teoria/propagacion.pdf>. [visitada en agosto de 2004].
- [9]. José Acuña. Conceptos de Propagación. http://iie.fing.edu.uy/ense/assign/peu/material/Conceptos_propagacion.ppt#32 [visitada en agosto de 2004]
- [10]. Roberto Ares. Propagación y campo recibido. www.eie.fceia.unr.edu.ar/ftp/Antenas%20y%20Propagacion/1513.pdf. [visitada en agosto de 2004].
- [11]. Conceptos Básicos de Propagación y Antenas. <http://web.frm.utn.edu.ar/comunicaciones/antenas.html>. [visitada en agosto de 2004]
- [12]. Benigno Rodríguez. Introducción y tipo de Antenas. Material de Curso de Antenas y Propagación de 2003. Fac. Ingeniería, Instituto de Eléctrica.
- [13]. Benigno Rodríguez. Parámetros de las Antenas. Material de Curso de Antenas y Propagación de 2003. Fac. Ingeniería, Instituto de Eléctrica.
- [14]. Benigno Rodríguez. Ecuación de Friis. Material de Curso de Antenas y Propagación de 2003. Fac. Ingeniería, Instituto de Eléctrica.
- [15]. Alejandro Chesaro. Fundamentos de antenas, <http://www.gr.ssr.upm.es/antenas/Ant-1.pdf>. [visitada en agosto de 2004]
- [16]. Conceptos de Antenas. <http://web.frm.utn.edu.ar/comunicaciones/antenas.html>. [visitada en agosto de 2004].
- [17]. Daniel Mesen. Antenas. <http://www.monografias.com/trabajos6/ante/ante.shtml>. [visitada en setiembre de 2004].
- [18]. Miguel R. Ghezzi. Mitología sobre diagrama de radiación. http://www.solred.com.ar/lu6etj/tecnicos/diag_rad/diag_rad.htm. [visitada en setiembre de 2004].
- [19]. Radiación electromagnética. http://es.wikipedia.org/wiki/Onda_electromagn%C3%A9tica. . [visitada en Marzo de 2005].
- [20]. Ejemplo de antenas en microondas. Hoja de datos de antenas reflectoras. www.andrew.com [visitada en junio de 2004].
- [21]. Ejemplo de antenas en microondas. Modelo de propagación. www.awe-communications.com [visitada en diciembre de 2004]
- [22]. Roberto Ares. Antenas para Microondas. www.eie.fceia.unr.edu.ar/ftp/Radioenlaces/1508.pdf. [visitada en setiembre de 2004].
- [23]. Roberto Ares. Modelo de Cálculo de Radioenlace. www.eie.fceia.unr.edu.ar/ftp/Radioenlaces/1511.pdf. [visitada en setiembre de 2004].

- [24].Roberto Ares. Interferencia radioeléctrica. www.eie.fceia.unr.edu.ar/ftp/Radioenlaces/1515.pdf. [visitada en junio de 2004].
- [25].Estadística 2000 sobre Interferencias radioeléctricas. www.set.si.mcyt.es/espectro/inf_esta_indice.htm [visitada en agosto de 2004].
- [26].URSEC, Reglamento del uso del espectro radioeléctrico, Aprobado por Decreto 115/003 de 25 de marzo de 2003. www.ursec.gub.uy
- [27].URSEC, Reglamento de licencias de telecomunicaciones, Aprobado por Decreto 114/003 de 25 de marzo de 2003. www.ursec.gub.uy
- [28].Recomendación UIT-R F.385-8_ Unión Internacional de las Telecomunicaciones, Disposición de radiocanales para sistemas inalámbricos fijos que funcionan en la banda de 7 GHz, Mayo de 2001.
- [29].Recomendación UIT-R F.386-6_ Unión Internacional de las Telecomunicaciones, Disposición de radiocanales para sistemas de radioenlaces analógicos o digitales de capacidad media o alta que funcionan en la banda de 8 GHz, Febrero de 1999
- [30].Recomendación UIT-R F. 387-9_ Unión Internacional de las Telecomunicaciones, Disposiciones de radiocanales para sistemas de radioenlaces que funcionan en la banda de 11 GHz, Mayo de 2002.
- [31].Recomendación UIT-R F.699-6_ Unión Internacional de las Telecomunicaciones, Diagramas de radiación de referencia de antenas de sistemas inalámbricos fijos para utilizarlos en los estudios de coordinación y en la evaluación de la interferencia en la gama de frecuencias de 100 MHz a unos 70 GHz, Enero de 2004
- [32].B, Eckel. Thinking in Java, 2nd Edition, Prentice-Hall, 2001.
- [33].Javier García de Jalón [y otros]. Aprenda Matlab 6.1 como si estuviera en primero. Escuela Superior de Ingenieros Industriales. Universidad Politécnica de Madrid, Octubre 2001.
- [34].Ignacio Cruzado. Guía de iniciación al lenguaje Java, Versión 2.0. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Burgos, Octubre 1999. www.pisuerqa.inf.ubu.es/lsi/Invest/Java
- [35].Michael González Harbour. Una comparación entre C, C++, Java y Ada. Universidad de Cantabria, www.ctr.unican.es/ asignaturas/lan/seminario_c_ada_java_2005-en1.pdf [visitada en marzo de 2005].
- [36].Ángel Franco García. Programación en lenguaje Java., Enero 2000 www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cursoJava/Intro.htm
- [37].José Ignacio Rodríguez [y otros]. Aprenda Java como si estuviera en primero. Escuela Superior de Ingenieros Industriales. Universidad de Navarao, Febrero 2000.
- [38].Busy developers' Guide to HSSF Features. The Apache Software Foundation © 2002-2005 <http://jakarta.apache.org/poi/hssf/quick-guide.html> [visitada en marzo de 2005].
- [39].El tutorial de Java, Copyright 1994-2005 Sun Microsystems, Inc. <http://java.sun.com/docs/books/tutorial/#online>. [visitada en julio de 2005].
- [40].Java en Castellano. Copyright © 1999-2005 <http://www.programacion.com/java/tutoriales/>. [visitada en julio de 2005].