

# PROYECTO DIRIGIDO

Estudio y evaluación de convivencia y compatibilidad de los servicios existentes entre las estaciones terrenas a bordo de aeronaves y barcos (ETEM) con las estaciones actuales y planificadas para la banda de frecuencias 12,75-13,25 GHz (Tierra-espacio).

Hernán Paz Penagos

Camilo Andrés Maldonado López

Julián Alejandro Carvajal Llanes

Bogotá DC, Junio 2022

## Índice

Resumen.....	vii
Abstract.....	vii
Capítulo 1: Descripción y especificaciones técnicas. ....	1
1.1 Descripción.....	1
1.2 Problemática actual.....	1
1.3 Cuadro de atribución de frecuencias.....	1
1.4 Justificación.....	5
1.5 Objetivos.....	6
1.6 Metodología.....	6
Capítulo 2: Marco de referencia. ....	9
2.1 Servicio Fijo por Satélite.....	9
2.1.1 Referentes conceptuales.....	9
2.1.2 Servicios SFS.....	10
2.2 Comunicaciones satelitales de Barcos y aeronaves.....	10
2.2.1 Servicios satelitales de barcos: referentes conceptuales, tecnologías y servicios11	
2.2.2 Servicios satelitales de aeronaves: referentes conceptuales, tecnologías y servicios.....	12
2.3 Identificación, regulación y normalización de la banda de 12.75 a 13.5 GHZ 17	
2.3.1 En el contexto internacional.....	17
2.3.2 En el contexto nacional.....	20
2.4 Interferencia, modelos de propagación y convivencia de servicios.....	26
2.4.1 Definición de interferencia y tipos.....	26
2.4.2 Modelos de propagación.....	27
2.5 Casos de estudio.....	28
2.5.1 Casos de estudio internacionales.....	28
2.5.2 Casos de estudio nacionales.....	29
Capítulo 3: Metodología. ....	30
3.1 Escenarios de interferencia.....	30
3.1.1 Identificación y selección.....	30
3.1.2 Priorización de locaciones.....	45
3.2 Criterios: parámetros, umbrales.....	45
Capítulo 4: Resultados. ....	47
4.1. San Andrés.....	47

4.2. Cartagena.....	63
Capítulo 5: Análisis de resultados. ....	78
5.1 Recomendaciones. ....	92
Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones. ....	94
Referencias.....	95
Anexos. ....	98
Lista de acrónimos. ....	101

## Índice de tablas

Tabla 1. Nomenclatura de las bandas de frecuencia.....	1
Tabla 2. Atribución de la banda de 12,75 a 13,25 GHz en Colombia .....	4
Tabla 3. Atribución de servicios de las frecuencias de interés a nivel internacional. ....	5
Tabla 4. Especificaciones técnicas en comunicaciones satelitales a bordo de barcos. 12	
Tabla 5. Especificaciones técnicas de los servicios de interés en enlace de subida. ...	16
Tabla 6. Atribución y canalización de los SFS en la banda de 12,75 a 13,25 GHz. ....	18
Tabla 7. Atribución de banda de frecuencia para servicios móviles.....	18
Tabla 8. Atribución de bandas de frecuencia para SFS en Colombia.....	20
Tabla 9. Características de transmisor móvil marítimo.....	23
Tabla 10. Atribución de bandas de frecuencia para servicios aeronáuticos en Colombia 1.....	24
Tabla 11. Atribución de bandas de frecuencia para servicios aeronáuticos en Colombia 2.....	25
Tabla 12. Tabla de codificación de los escenarios. ....	30
Tabla 13. Zonas portuarias de Colombia.....	33
Tabla 14. Ubicación de escuelas de formación naval en Colombia. ....	36
Tabla 15. Coordenadas bases navales en Colombia. ....	36
Tabla 16. Coordenadas de los puestos fluviales en Colombia. ....	36
Tabla 17. Coordenadas de los principales aeropuertos en Colombia.....	38
Tabla 18. Coordenadas de bases aéreas en Colombia. ....	40
Tabla 19. Proveedores del servicio satelital en Colombia.....	41
Tabla 20. Satélites en la banda Ku para Colombia.....	42
Tabla 21. Distancia puerto-aeropuerto para las principales ciudades del país. ....	43
Tabla 22. Distancias entre aeropuerto y estación terrena más cercana. ....	44
Tabla 23. Distancias entre puerto y estación terrena más cercana. ....	44
Tabla 24. Definición de escenarios. ....	45
Tabla 25. Umbrales de parámetros de evaluación de las simulaciones. ....	46
Tabla 26. Formato de resultados con parámetro de evaluación TD para San Andrés Escenario 1.....	47
Tabla 27. Agrupación de ancho de banda y distancias de interferentes San Andrés Escenario 1.....	48
Tabla 28. Formato de resultados con parámetro de evaluación TD para San Andrés Escenario 2.....	48
Tabla 29. Agrupación de ancho de banda y distancias de interferentes San Andrés Escenario 2.....	49
Tabla 30. Formato de resultados con parámetro de evaluación TD para San Andrés Escenario 3.....	49
Tabla 31. Agrupación de ancho de banda y distancias de interferentes San Andrés Escenario 3.....	50
Tabla 32. Formato de resultados con parámetro de evaluación I/N para San Andrés Escenario 1.....	51
Tabla 33. Formato de resultados con parámetro de evaluación I/N para San Andrés Escenario 2.....	52
Tabla 34. Formato de resultados con parámetro de evaluación I/N para San Andrés Escenario 3.....	54
Tabla 35. Formato de resultados con parámetro de evaluación C/I para San Andrés Escenario 1.....	55
Tabla 36. Formato de resultados con parámetro de evaluación C/I para San Andrés Escenario 2.....	57

Tabla 37. Formato de resultados con parámetro de evaluación C/I para San Andrés Escenario 3.....	58
Tabla 38. Formato de resultados con parámetro de evaluación C/N+I para San Andrés Escenario 1.....	59
Tabla 39. Formato de resultados con parámetro de evaluación C/N+I para San Andrés Escenario 2.....	61
Tabla 40. Formato de resultados con parámetro de evaluación C/N+I para San Andrés Escenario 3.....	62
Tabla 41. Formato de resultados con parámetro de evaluación TD para Cartagena Escenario 1.....	63
Tabla 42. Agrupación de ancho de banda y distancias de interferentes Cartagena Escenario 1.....	63
Tabla 43. Formato de resultados con parámetro de evaluación TD para Cartagena Escenario 2.....	64
Tabla 44. Agrupación de ancho de banda y distancias de interferentes Cartagena Escenario 2.....	64
Tabla 45. Formato de resultados con parámetro de evaluación TD para Cartagena Escenario 3.....	65
Tabla 46. Agrupación de ancho de banda y distancias de interferentes Cartagena Escenario 3.....	65
Tabla 47. Formato de resultados con parámetro de evaluación I/N para Cartagena Escenario 1.....	66
Tabla 48. Formato de resultados con parámetro de evaluación I/N para Cartagena Escenario 2.....	68
Tabla 49. Formato de resultados con parámetro de evaluación I/N para Cartagena Escenario 3.....	69
Tabla 50. Formato de resultados con parámetro de evaluación C/I para Cartagena Escenario 1.....	70
Tabla 51. Formato de resultados con parámetro de evaluación C/I para Cartagena Escenario 2.....	72
Tabla 52. Formato de resultados con parámetro de evaluación C/I para Cartagena Escenario 3.....	73
Tabla 53. Formato de resultados con parámetro de evaluación C/N+I para Cartagena Escenario 1.....	74
Tabla 54. Formato de resultados con parámetro de evaluación C/N+I para Cartagena Escenario 2.....	76
Tabla 55. Formato de resultados con parámetro de evaluación C/N+I para Cartagena Escenario 3.....	77
Tabla 56. Resultados escenario 3 San Andrés .....	93
Tabla 57. Parámetros de las estaciones terrenas en servicio FSS.....	99
Tabla 58. Bandas de frecuencias para los canales satelitales FSS.....	100

## Índice de figuras

Figura 1. Distribución de proveedores de servicio satelital en la banda Ku. ....	3
Figura 2. Típica antena de VHF en aeronaves. ....	13
Figura 3. Antena de altea típica de DME en aeronaves. ....	14
Figura 4. Antena NAV en aeronaves. ....	15
Figura 5. Típica antena GPS en aeronaves. ....	16
Figura 6. Configuración típica de red Inmarsat. ....	20
Figura 7. Caso 1 con SFS como víctima y las ETEM como interferentes. ....	31
Figura 8. Caso 2 con SFS como víctima y los servicios aeronáuticos como interferentes. ....	32
Figura 9. Caso 3 con SFS como víctima y las comunicaciones a bordo de barcos como interferentes. ....	33
Figura 10. Ubicación bases marítimas en Colombia. ....	35
Figura 11. Ubicación principales aeropuertos en Colombia. ....	37
Figura 12. Ubicación bases militares aéreas en Colombia. ....	39
Figura 13. Distribución del servicio satelital por proveedores en LATAM. ....	42
Figura 14. Porcentajes de valores relación interferencia/ruido (I/N) en San Andrés Escenario 1. ....	51
Figura 15. Porcentajes de valores relación interferencia/ruido (I/N) en San Andrés Escenario 2. ....	53
Figura 16. Porcentajes de valores relación interferencia/ruido (I/N) en San Andrés Escenario 3. ....	54
Figura 17. Porcentajes de valores relación portadora/interferencia (C/I) en San Andrés Escenario 1. ....	56
Figura 18. Porcentajes de valores relación portadora/interferencia (C/I) en San Andrés Escenario 2. ....	57
Figura 19. Porcentajes de valores relación portadora/interferencia (C/I) en San Andrés Escenario 3. ....	58
Figura 20. Porcentajes de valores (C/N+I) en San Andrés Escenario 1. ....	60
Figura 21. Porcentajes de valores (C/N+I) en San Andrés Escenario 2. ....	61
Figura 22. Porcentajes de valores (C/N+I) en San Andrés Escenario 3. ....	62
Figura 23. Porcentajes de valores relación interferencia/ruido (I/N) en Cartagena Escenario 1. ....	67
Figura 24. Porcentajes de valores relación interferencia/ruido (I/N) en Cartagena Escenario 2. ....	68
Figura 25. Porcentajes de valores relación interferencia/ruido (I/N) en Cartagena Escenario 3. ....	70
Figura 26. Porcentajes de valores relación portadora/interferencia (C/I) en Cartagena Escenario 1. ....	71
Figura 27. Porcentajes de valores relación portadora/interferencia (C/I) en Cartagena Escenario 2. ....	72
Figura 28. Porcentajes de valores relación portadora/interferencia (C/I) en Cartagena Escenario 3. ....	73
Figura 29. Porcentajes de valores (C/N+I) en Cartagena Escenario 1. ....	75
Figura 30. Porcentajes de valores (C/N+I) en Cartagena Escenario 2. ....	76
Figura 31. Porcentajes de valores (C/N+I) en Cartagena Escenario 3. ....	77
Figura 32. Gráfico lineal para el parámetro C/I con ancho de banda de 3.5MHz para la evaluación del Escenario 2. ....	78
Figura 33. Gráfico lineal para el parámetro C/I con ancho de banda de 7MHz para la evaluación del Escenario 2. ....	79
Figura 34. Gráfico lineal para el parámetro C/I con ancho de banda de 14MHz para la evaluación del Escenario 2. ....	80
Figura 35. Gráfico lineal para el parámetro C/I con ancho de banda de 28MHz para la evaluación del Escenario 2. ....	81

Figura 36. Gráfico lineal para el parámetro C/I con ancho de banda de 56MHz para la evaluación del Escenario 2. ....	82
Figura 37. Gráfico lineal para el parámetro C/N+I con ancho de banda de 3.5MHz para la evaluación del Escenario 2. ....	83
Figura 38. Gráfico lineal para el parámetro C/N+I con ancho de banda de 7MHz para la evaluación del Escenario 2. ....	84
Figura 39. Gráfico lineal para el parámetro C/N+I con ancho de banda de 14MHz para la evaluación del Escenario 2. ....	85
Figura 40. Gráfico lineal para el parámetro C/N+I con ancho de banda de 28MHz para la evaluación del Escenario 2. ....	86
Figura 41. Gráfico lineal para el parámetro C/N+I con ancho de banda de 56MHz para la evaluación del Escenario 2. ....	87
Figura 42. Gráfico lineal para el parámetro I/N con ancho de banda de 3.5MHz para la evaluación del Escenario 2. ....	88
Figura 43. Gráfico lineal para el parámetro I/N con ancho de banda de 7MHz para la evaluación del Escenario 2. ....	89
Figura 44. Gráfico lineal para el parámetro I/N con ancho de banda de 14MHz para la evaluación del Escenario 2. ....	90
Figura 45. Gráfico lineal para el parámetro I/N con ancho de banda de 28MHz para la evaluación del Escenario 2. ....	91
Figura 46. Gráfico lineal para el parámetro I/N con ancho de banda de 56MHz para la evaluación del Escenario 2. ....	92
Figura 47. Modelo de árbol de simulaciones y parámetros a variar. ....	99

## Resumen

Durante la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones desarrollada en Egipto en el año 2019[1] se establecieron unas normas y recomendaciones para el desarrollo de estudios en los sistemas fijos por satélite (SFS), más concretamente en la resolución 172 de dicha jornada, donde se trató el tema de funcionamiento de las estaciones terrenas a bordo de aeronaves y barcos que se comunican con satélites geoestacionarios de servicio fijo por satélite en el enlace de subida (Tierra-espacio) en la banda de frecuencias de 12,75-13,25 GHz.

En este artículo se analiza y evalúa la convivencia y compatibilidad de interferencia entre los servicios en estaciones terrenas a bordo de aeronaves y barcos (en adelante ETEM) y los servicios fijos por satélite (SFS) para Colombia-región 2; ambos se encuentran en funcionamiento en la banda de frecuencias de 12,75 a 13,25 GHz y se comunican con estaciones geoestacionarias a través de un enlace de subida.

La metodología utilizada fue investigar las especificaciones técnicas y características de cada servicio, luego, se identificaron y seleccionaron diferentes escenarios con los cuales se podían presentar casos de interferencia, posteriormente se hizo un estudio de las posibles ubicaciones donde se pueden dar casos de interferencia entre estos servicios en Colombia, para finalmente, establecer los criterios de interferencia, realizar la respectiva simulación en SEAMCAT para recopilar los valores de las variables de interés y hacer un análisis de dichos resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos permiten inferir que se realiza con éxito la compatibilidad de la banda al hacer uso de distancias a partir de los 50Km entre los servicios primarios, y los servicios interferentes, siempre y cuando se haga uso de un ancho de banda de 3.5MHz, sin desprestigiar la clasificación realizada en los umbrales de interferencia como: admisible, aceptable y perjudicial.

## Abstract

During the World Radiocommunication Conference held in Egypt in 2019[1], standards and recommendations were set up for the development of studies in fixed-satellite systems (FSS), more specifically in resolution 172 of that day, where the issue of operation of earth stations on board planes and ships that communicate with geostationary satellites of the fixed-satellite service in the uplink (Earth-to-space) in the 12.75-13.25 GHz frequency band.

This article analyzes and evaluates the coexistence and compatibility of interference between services in mobile earth stations (MES) and fixed satellite services (FSS) that are in operation in the frequency band from 12.75 to 13.25 GHz and communicate with geostationary stations focused on region two.

For this, the technical specifications and characteristics of each service were investigated, then, different scenarios were identified and selected where cases of interference could occur, later a study was made of the possible locations where cases of interference between these services could occur in Colombia, to



finally establish the interference criteria, carry out the respective simulation in SEAMCAT to collect the values of the variables of interest and make an analysis of said results previously obtained.

The results obtained allow to infer that the compatibility of the band is successfully conducted when using distances of more than 50Km between the primary services and the interfering services, if a bandwidth of 3.5MHz is used, without disregarding the classification made in the interference thresholds as: admissible, acceptable, and harmful.

# Capítulo 1: Descripción y especificaciones técnicas.

## 1.1 Descripción

Este estudio consiste en evaluar la convivencia y compatibilidad de los servicios existentes entre ETEM con las estaciones terrenas actuales de SFS y planificadas para la banda de frecuencias 12,75-13,25 GHz (Tierra - espacio), de acuerdo con lo considerado en el punto 1.15 de la agenda CMR-23.

## 1.2 Problemática actual.

La demanda de banda ancha sigue aumentando en todo el mundo incluyendo en aeronaves, barcos y vehículos. Estos actores necesitan conectividad durante sus recorridos y para esto es necesario un uso eficiente del espectro [2].

Dada la resolución propuesta para la armonización de servicios ETEM a bordo de barcos y aviones con las estaciones terrenas en la banda de 12,75 a 13,25 GHz, la Agencia Nacional del Espectro (ANE) lanzó una convocatoria para proyectos I+D+i, con el fin de contribuir a la gestión, planeación, atribución, vigilancia y control del espectro radioeléctrico, que cumpla con los lineamientos propuestos por la UIT.

## 1.3 Cuadro de atribución de frecuencias.

Al ser el espectro un recurso limitado que sufre interferencias en caso de que se crucen comunicaciones a las mismas frecuencias, se dividió en bandas de frecuencias separándolas según el servicio a prestar. Estos servicios declarados inicialmente para cada banda de frecuencia se conocen como servicios primarios, dado a que cada vez más el espectro se ve saturado en ciertas bandas se empiezan a transferir dichos servicios a otras bandas, a estos se les llama servicios secundarios.

Generalmente se definen como frecuencias en microondas, las que se encuentran en el rango de 300MHz a 300GHz; ésta banda, a su vez, se divide en tres sub-bandas de frecuencia, a saber: UHF (“ultra-high-frequency”, frecuencia ultra alta) que ocupa el rango de frecuencias de 0.3 GHz a 3 GHz, SHF (“super-high-frequency”, frecuencia super alta) que ocupa el rango de frecuencias de 3GHz a 30GHz, EHF (“extremely-high-frequency”, frecuencia extremadamente alta) que ocupa el rango de frecuencias de 30GHz a 300GHz. La banda de microondas tiene su propia clasificación, según su rango de frecuencia, como se puede observar en la tabla 1[3][4]:

*Tabla 1. Nomenclatura de las bandas de frecuencia.*

<b>Banda</b>	<b>Rango de frecuencia</b>
Banda I	Hasta 0.2 GHz
Banda G	0.2 a 0.25 GHz
Banda P	0.25 a 0.5 GHz
Banda L	0.5 a 1.5 GHz
Banda S	2 a 4 GHz

<b>Banda</b>	<b>Rango de frecuencia</b>
Banda C	4 a 8 GHz
Banda X	8 a 12 GHz
Banda Ku	12 a 18 GHz
Banda K	18 a 26 GHz
Banda Ka	26 a 40 GHz
Banda V	40 a 75 GHz
Banda W	75 a 111 GHz

Con base en la tabla se puede observar que el proyecto se enfoca en la Banda Ku; sobre esta se puede afirmar que se usa principalmente en las comunicaciones satelitales, siendo el sector de la televisión uno de sus principales servicios de telecomunicaciones; además, se divide en diferentes segmentos que cambian por regiones geográficas de acuerdo con la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Colombia, junto a la mayoría de los países del continente americano, se ubica en la región 2.

Usuarios licenciados en la banda Ku para la banda de frecuencias de 12.75-13.25 GHz (servicios primarios):

No se tienen artículos de resoluciones de asignación a esta banda de frecuencias, aunque se encuentra una recomendación de la UIT-R F.497 que indica la disposición de los radiocanales para sistemas digitales y analógicos en la banda 12.75-13.25 GHz.

Usuarios no licenciados en la banda Ku para la banda de frecuencias de 12.75-13.25 GHz (servicios secundarios):

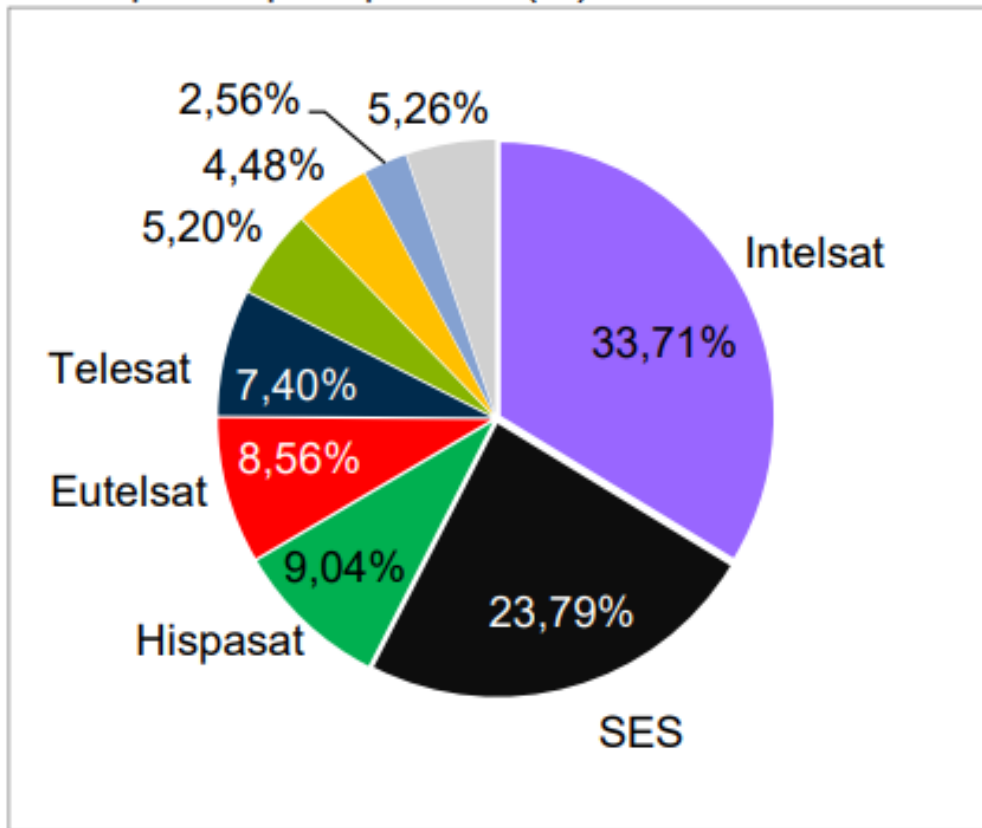
En Estados Unidos se ha utilizado la banda de 12.7 a 12.95 GHz principalmente para transmisiones de televisión destinadas a alimentar sistemas de distribución por cable, planes que utilizan una separación de radiocanales de 25 MHz; en Japón, toda la banda de frecuencias de 12.7 a 13.25 GHz se emplea para reportajes y enlaces terminales con el estudio de emisión de televisión, utilizando una separación de radiocanales de 25 MHz.

Además, Estados Unidos y Japón utilizan la banda de 12.2 a 12.7 GHz para transmisiones de televisión y telefonía/datos; entre los usuarios que utilizan esta banda se encuentran entidades públicas, organismos docentes, gobierno civil y comercio.

Para América Latina y Colombia se encuentra una participación de operadoras satelitales en la banda Ku con alrededor de 30 satélites que prestan servicios para esta banda (figura 1).

## Capacidad Instalada Banda Ku

Participación por operador (%)



- Eutelsat Americas 5,20%
- Star One 4,48%
- ARSAT 2,56%
- Mexsat 1,59%

## Capacidad Total: 2.507 TRP

Figura 1. Distribución de proveedores de servicio satelital en la banda Ku.

Fuente: ANE, "PROPUESTA PARA ACTUALIZAR EL RÉGIMEN SATELITAL Y LOS PARÁMETROS DE VALORACIÓN PARA LA CONTRAPRESTACIÓN POR UTILIZACIÓN DEL ESPECTRO ASOCIADO AL SERVICIO SATELITAL" [5]

Según el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencia [6] en Colombia la banda de interés de 12.75 a 13.25 GHz tiene distribuido su uso tal como lo demuestra la tabla 2.

**Tabla 2. Atribución de la banda de 12,75 a 13,25 GHz en Colombia**

Unidad	Región 2	Colombia	Notas nacionales
GHz	12,75 – 13,25	12,75 – 13,25	CLM 3
	FIJO	FIJO	CLM 22
	MÓVIL	MÓVIL	CLM 23
	FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) 5.441	FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) 5.441	CLM 24
	Investigación espacial (Espacio lejano)	Investigación espacial (Espacio lejano)	

Las disposiciones del apéndice 30B [1] en la CMR ORB-88 se aplicarán al servicio fijo por satélite en las bandas de frecuencia comprendidas entre:

- 4500 y 4800 MHz (Espacio – Tierra).
- 6725 y 7025 MHz (Tierra – Espacio).
- 10.70 y 10.95 GHz (Espacio – Tierra).
- 11.20 y 11.45 GHz (Espacio – Tierra).
- 12.75 y 13.25 GHz (Tierra – Espacio).

Los miembros de la UIT adoptaron, para sus estaciones del servicio fijo por satélite que operen en las bandas de frecuencias que se mencionaron, las características que corresponden a las especificaciones en el plan y sus disposiciones asociadas.

El plan tiene dos partes, una que contiene las adjudicaciones, y la otra que contiene las redes de sistemas existentes, además de esto se asociara al plan, la lista de asignaciones, la cual es la siguiente:

- Las asignaciones resultantes de la introducción de sistemas subregionales.
- Las asignaciones relativas a usos adicionales.

Cada vez que se inscriba una nueva asignación en esta lista, la junta informara de ello a las administraciones, indicando las características de tales asignaciones.

#### CMR-03

En esta conferencia se realizaron recomendaciones para el apéndice 30B, en el cual se adjudicaron las bandas de frecuencias 4500 - 4800 MHz, 6725 - 7025 MHz, 10.70-10.95 GHz, 11.20-11.45 GHz y 12.75-13.25 GHz en los aspectos correspondientes a la tabla 3 [7].

**Tabla 3. Atribución de servicios de las frecuencias de interés a nivel internacional.**

<b>Atribución de servicios</b>		
<b>Región 1</b>	<b>Región 2</b>	<b>Región 3</b>
<b>11,7-12,5</b> FIJO RADIODIFUSIÓN RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE MÓVIL salvo móvil aeronáutico  5.484 5.488 5.490 5.492	<b>11,7-12,1</b> FIJO 5,486 FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra) 5.484A Móvil salvo móvil aeronáutico 5.484 5.488	<b>11,7-12,2</b> FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico RADIODIFUSIÓN RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE  5.492 5.487 5.487A
	<b>12,1-12,2</b> FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra) 5.484A 5.484 5.488 5.489	
		<b>12,2-12,7</b> FIJO MÓVIL salvo móvil aeronáutico RADIODIFUSIÓN RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE 5.484 5.488 5.490 5.492
<b>12,5-12,75</b> FIJO POR SATELITE (espacio-Tierra) 5.484A (tierra-espacio) 5.494 5.495 5.496	<b>12,7-12,75</b> FIJO FIJO POR SATÉLITE (tierra-espacio) MÓVIL salvo móvil aeronáutico	<b>12,5-12,75</b> FIJO FIJO POR SATÉLITE (espacio-Tierra) 5.454A MÓVIL salvo móvil aeronáutico RADIODIFUSIÓN POR SATÉLITE 5.493
...		
<b>13,75-14</b>	FIJO POR SATELITE (Tierra-espacio) 5.484A RADIOLOCALIZACIÓN Exploración de la tierra por satélite Frecuencias patrón y señales horarias por satélite (Tierra- espacio) Investigación espacial 5.499 5.500 5.501 5.502 5.503	
<b>14-14,25</b>	FIJO POR SATÉLITE (Tierra-espacio) 5.457A 5.457B 5.458 <sup>a</sup> 5.506 5.506B RADIONAVEGACIÓN 5.504 Móvil por satélite (Tierra-espacio) 5.504C 5.506A Investigación espacial 5.504A 5.505	

#### **1.4 Justificación.**

Las limitaciones en la cantidad de usuarios que disponen de sus bandas de frecuencia se debe a la alta demanda de dicho recurso, los usuarios, dadas las necesidades actuales del mundo requieren cada vez más ancho de banda, por lo tanto la Unión Internacional de Telecomunicaciones ha desarrollado una guía de trabajo para solucionar estos problemas con las recomendaciones para 2023, donde sugiere realizar estudios, en el punto 1.15 de dicho documento, para suplir la necesidad de compartir bandas del espectro y así evitar interferencia y obtener una convivencia entre los servicios satelitales fijos y móviles, dando como beneficio un uso eficiente del espectro sin afectar a sus usuarios.

## 1.5 Objetivos.

**General:** Estudiar y evaluar la convivencia y compatibilidad de los servicios SFS con los servicios móviles de estaciones terrenas a bordo de aeronaves y barcos en la banda de 12,75-13,25 GHz para Colombia.

### Específicos:

- I. Indagar y asimilar los parámetros de trabajo dados por la UIT en la CMR-19, como base para la investigación.
- II. Consultar y clasificar la información correspondiente al estado del arte.
- III. Investigar y comprender los conceptos relacionados al marco de referencia.
- IV. Crear y simular escenarios donde se puedan evidenciar situaciones relacionadas con el tema de estudio.
- V. Abstractar y analizar la información recolectada en la simulación.
- VI. Comparar los resultados obtenidos por simulación con los estándares investigados.
- VII. Realizar un documento guía para la implementación de estos sistemas según los parámetros encontrados.
- VIII. Redacción de un artículo en donde se plasme el trabajo realizado en base al estudio.

## 1.6 Metodología

- 1 etapa:
  - Revisión bibliográfica, clasificación de información, lectura y apropiación del marco de referencia y el estado del arte
- 2 etapa:
  - Creación de escenarios
  - Simular los escenarios.
- 3 etapa:
  - Análisis de resultados y metodología de convivencia
- 4 etapa:
  - Socialización de resultados: redacción del libro, redacción del artículo y finalización.

Después de enunciarlas se desarrolla cada etapa o fase, así:

- En la primera etapa (Revisión bibliográfica, apropiación del estado del arte y dimensionamiento del sistema) se contemplan las siguientes actividades:
  - Consulta sobre el estado del arte y normatividad existente.
  - Identificación de fuentes de información
  - Clasificación de la información.
  - Apropiación de la información recopilada para su uso.

Los Objetivos específicos (formulados para el desarrollo del proyecto) que se relacionan con esta fase son: I, II y III.

Para la realización de las actividades se requieren los siguientes recursos: Bases de datos digitales de la Escuela Colombiana de Ingeniería, libros, actas finales de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones desde la ORB-88, tesis, Internet, páginas oficiales de MinTIC y ANE.

Como resultados de esta etapa se pretende realizar:

- Definir los parámetros a seguir según la normativa.
- Clasificación de la información recopilada.
- Documento de estado del arte y marco de referencia.
- Definición de elementos de medición y simulación

Esta fase tiene una duración de seis (6) semanas.

- En la segunda etapa (Creación y simulación de escenarios) se contemplan las siguientes actividades:
  - Aprendizaje del software de simulación a utilizar.
  - Creación de escenarios pertinentes.
  - Implementación de los escenarios en el software.
  - Clasificación de los resultados obtenidos en la simulación.

Los Objetivos específicos (formulados para el desarrollo del proyecto) que se relacionan con esta fase son: IV y V.

Para la realización de las actividades se requieren los siguientes recursos: Bases de datos digitales de la Escuela Colombiana de Ingeniería, software de simulación SEAMCAT (Anexo 2), información de fuentes oficiales relacionadas.

Como resultados de esta etapa se pretende realizar:

- Documento con descripción de los escenarios creados.
- Documento de la metodología de simulación en el software
- Clasificación de los resultados obtenidos en simulación.
- Informe de los resultados.

Esta fase tiene una duración de seis (6) semanas.

- En la tercera etapa (Análisis de resultados y metodología de convivencia) se contemplan las siguientes actividades:
  - Revisión de los resultados obtenidos en la etapa de simulación.
  - Análisis y comparación de los resultados obtenidos con los parámetros planteados.



- Definición de la metodología de convivencia de los sistemas simulados.

El objetivo específico (formulado para el desarrollo del proyecto) que se relaciona con esta fase es: VI.

Para la realización de las actividades se requieren los siguientes recursos: Bases de datos digitales de la Escuela Colombiana de Ingeniería, actas finales de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones desde la ORB-88, Internet, páginas oficiales de MinTIC y ANE.

Como resultados de esta etapa se pretende realizar:

- Documento donde se aprecie el análisis realizado a los resultados obtenidos en la etapa de simulación.
- Esquema comparativo del análisis realizado y los parámetros planteados.
- Documento con la definición de la metodología de convivencia planteada.

Esta fase tiene una duración de cuatro (4) semanas.

- En la cuarta etapa (Socialización de resultados, redacción de libro y artículo, finalización) se contemplan las siguientes actividades:
  - Redacción y edición del artículo.
  - Redacción y edición
  - Creación de un poster para exposición.

Los Objetivos específicos (formulados para el desarrollo del proyecto) que se relacionan con esta fase son: VII y VIII.

Para la realización de las actividades se requieren los siguientes recursos: Bases de datos digitales de la Escuela Colombiana de Ingeniería, libros, actas finales de la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones desde la ORB-88, tesis, Internet, paginas oficiales de MinTIC y ANE, computadores y acceso a internet.

Como resultados de esta etapa se pretende realizar:

- Un artículo científico con los resultados de la investigación.
- Un libro o capítulo de libro respecto del trabajo realizado.
- Un poster para la exposición de la investigación.

Esta fase tiene una duración de dos (2) semanas.

Para seguimiento en el desarrollo del proyecto, se han programado reuniones con una periodicidad semanal entre los miembros del equipo de investigación. En ellas se revisarán los avances del proyecto, resultados preliminares y solución de dudas e inconvenientes.

## Capítulo 2: Marco de referencia.

### 2.1 Servicio Fijo por Satélite

En este capítulo se hará la explicación de los conceptos claves para entender los SFS y servicios satelitales a bordo de ETEM, así como las especificaciones técnicas que corresponden a cada uno de estos servicios en el enlace de subida.

#### 2.1.1 Referentes conceptuales.

El Servicio Fijos por Satélite SFS se definen como aquellos servicios de radiocomunicación satelital en estaciones terrenas fijas.

Las características de los transmisores usados para los SFS deben cumplir con unos mínimos requeridos para su correcto uso, para el caso propuesto en esta investigación, los amplificadores de alta potencia son de vital importancia, ya que se deben cumplir con los mínimos umbrales de potencia de transmisión de salida de 3dB para portadora única y 8 dB para potencia combinada de múltiples portadoras con respecto a la potencia de salida del amplificador.

Además, las estaciones terrenas que transmiten en redes OSG del SFS en la banda de frecuencias de interés se deben diseñar de tal forma que, para cualquier ángulo,  $\phi \geq 2,5^\circ$  con respecto al eje del lóbulo principal de la antena, la densidad de la p.i.r.e. en cualquier dirección dentro de los  $3^\circ$  de la OSG no rebase más de 3 dB, según la UIT R S524-9.

También al considerar el límite de la densidad de p.i.r.e. fuera del eje entre 10-15 GHz, es razonable suponer que la antena receptora de satélite no proporcionará normalmente una cobertura de ángulo amplio y teniendo ello en cuenta existe la posibilidad de utilizar valores más bajos de p.i.r.e. de la estación terrena y con ello niveles inferiores de radiación fuera del eje que en las bandas de frecuencias más bajas. Sin embargo, esto puede ser contrarrestado por el hecho de que el desvanecimiento por la lluvia es más intenso.

Los servicios fijos operan en bandas de frecuencia desde HF (3 MHz) hasta longitudes de onda milimétricas (por encima de 30 GHz). Se dividen en varios grupos muy diferentes, según la frecuencia. El rango más bajo es la banda HF (3-30 MHz). Las señales de HF no están restringidas a la línea de visión, sino que pueden viajar miles de kilómetros, brindando un servicio de banda estrecha de largo alcance, pero altamente variable. En las frecuencias VHF y UHF (30-1000 MHz), los servicios fijos de banda estrecha se proporcionan en distancias cortas (hasta 60 km), a menudo compartiendo frecuencias en bandas móviles, pero utilizando antenas direccionales.

El servicio fijo por satélite involucra frecuencias de 4/6 GHz, 7/8 GHz (para sistemas militares), 11/14 GHz y 20/30 GHz. Aunque numerosas bandas por encima de 30 GHz están asignadas al servicio fijo por satélite, actualmente solo se utiliza una. Las frecuencias de microondas y los satélites "estacionarios" permiten el uso de antenas direccionales de alta ganancia, muy parecidas al servicio fijo. Esto reduce los requisitos de potencia para los transmisores de satélite.

### 2.1.2 Servicios SFS

Son servicios de comunicación inalámbrica entre estaciones terrenas en una ubicación designada cuando se utilizan uno o más satélites. La ubicación especificada puede ser un punto fijo especificado o cualquier punto fijo en un área específica. [9]

Se cree que el número de licencias en la banda de 12.7-13.25 comenzará a disminuir rápidamente a medida que la industria de la televisión por cable cambie de la distribución de programación de televisión por microondas a los sistemas de distribución de fibra óptica. El uso de esta banda varía mucho de una ciudad a otra. En varias ciudades, la mayor parte del material de programación por cable se transportará por fibra; en otras ciudades será mayoritariamente por microondas. Sin embargo, cuando se utilizan microondas, se necesitará un gran bloque de espectro para llenar un sistema de cable de 500 canales. De hecho, a medida que aumenta el ancho de banda total en los sistemas de cable basados en fibra, los 550 MHz asignados en la banda pueden ser insuficientes para manejar el ancho de banda de fibra requerido. En algún momento futuro, puede que ya no sea de interés público atribuir esta gran banda al servicio fijo si se usa mucho en solo unas pocas ciudades. En ese momento, el 50 por ciento de la banda (275 MHz) podría reasignarse para otros fines.

## 2.2 Comunicaciones satelitales de Barcos y aeronaves

Las estaciones terrenas móviles son de la nueva generación de terminales satelitales diseñadas para los servicios de comunicación de banda ancha en movimiento a vehículos terrestres, aeronaves y barcos, estas estaciones utilizan antenas pequeñas y requieren sistemas de seguimiento para mantener una orientación precisa al satélite objetivo, debido a que su funcionamiento es en movimiento existe la posibilidad de interferencia con otras comunicaciones satelitales u otros sistemas de comunicación, debido a una mala orientación de la antena y/o incremento de potencia.

ETEM utilizan esquemas de modulación y codificación avanzados que permiten proporcionar comunicaciones bidireccionales de alta velocidad de alrededor de 1.5 Mbps a barcos y aeronaves.

La configuración de una red ETEM depende de la plataforma utilizada ( vehículo aéreo, marítimo o terrestre) y los servicios ofrecidos; normalmente una red ETEM consta de una gran cantidad de terminales desplegados en una área geográfica, estos terminales pueden tener diferentes características, en cuanto al tamaño de apertura y el nivel de potencia de transmisión, esto de acuerdo con la tasa de datos máxima admitida, la ubicación dentro del rango del satélite, las condiciones climáticas y el tipo de modulación y codificación utilizadas, por eso para el uso de esta red de manera eficiente se pueden emplear métodos de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) y métodos de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA).

### 2.2.1 Servicios satelitales de barcos: referentes conceptuales, tecnologías y servicios

Las comunicaciones marítimas móviles satelitales tienen su inicio gracias al Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítimos (SMSSM), que se implementó entre 1992 y 1999, en estos sistemas se usaban las bandas de frecuencia alrededor de MF, HF y VHF, esto fue regulado por la Organización Marítima Internacional (OMI), y a 2016 más de 100.000 grandes buques comerciales y millones de embarcaciones usan el SMSSM. Además de este sistema en los últimos años se han implementado nuevos sistemas como el Sistema de Identificación Automática que hace uso de frecuencias de VHF, la cual introdujo otros sistemas como el de Identificación y seguimiento de largo alcance, el eNav o el sistema de alarma y seguridad [10], [11] y [12].

El Servicio Móvil Marítimo Satelital nació con dos motivos principales, el primero, reducir el tráfico de comunicaciones por radioteléfono, y el segundo, la necesidad de infraestructura en sistemas de búsqueda y rescate. Los principales proveedores de este servicio son Cospas-Sarsat e Inmarsat, a las cuales se les estima que prestan servicio a más de 400.000 plataformas en 2016. Una de las tecnologías satelitales marítimas más usada y que hace uso de la banda Ku a la cual corresponde este estudio es VSAT la cual está en uso en más de 100.000 embarcaciones como sistemas de telefonía móvil a bordo de navíos [12][13].

En la tabla 4, se muestran casos propuestos por la ITU en el informe ITU I-921-2, ecuaciones (1) y (2), de presupuestos del enlace para un objetivo de BER de canal vocal de  $10^{-3}$  con una estación terrena de barco de la norma de alta ganancia.

Para el escenario uno se observa la ecuación (1):

$$\frac{G}{T} = -4dB(K^{-1}) \quad (1)$$

Para el escenario 2 se observa la ecuación (2):

$$\frac{G}{T} = -10dB(K^{-1}) \quad (2)$$

Que funciona con el satélite Inmarsat de la segunda generación. En el segundo caso, se indican asimismo las posibles mejoras de la calidad del enlace (C/ No) debidas a la reducción del desvanecimiento multitrayecto (conformación de polarización) [14].

**Tabla 4. Especificaciones técnicas en comunicaciones satelitales a bordo de barcos.**

ENLACE COSTERA-BARCO		
NORMAS DE LA ESTACIÓN TERRENA DE BARCO	CASO 1	CASO 2
COSTERA-SATÉLITE (6,42GHz):		
- p.i.r.e nominal de la estación terrena costera(dbW)	52	60
- Atenuación de trayecto en espacio libre (dB)	200,9	200,9
- Absorción atmosférica (dB)	0,4	0,4
- Relación G/T (dB ( $K^{-1}$ ))	-14	-14
- Relación C/No en trayecto ascendente (dBHz)	65,3	73,3
- Relación C/IM en el satélite (dBHz)	60,5	68,5
SATÉLITE-BARCO (1,54GHz)		
- p.i.r.e nominal del satélite (dBW)	13	21
- Atenuación de trayecto en espacio libre (dB)	188,4	188,4
- Absorción atmosférica (dB)	0,2	0,2
- Relación G/T en la estación terrena costera (dB ( $K^{-1}$ ))	-4	-10
- Relación C/N en trayecto descendente (dBHz)	49	51
Relación C/No global sin desvanecimiento (dBHz)	48,6	50,9
Atenuación por desvanecimiento (dB)	2	4,4 (2,7)
Relación C/No con desvanecimiento(dBHz)	46,6	46,5 (48,2)
ENLACE BARCO COSTERA		
NORMAS DE LA ESTACIÓN TERRENA DE BARCO	CASO 1	CASO 2
BARCO-SATÉLITE (1,64 GHz):		
- p.i.r.e nominal de la estación terrena de barco(dbW)	31	26
- Atenuación de trayecto en espacio libre (dB)	188,9	188,9
- Absorción atmosférica (dB)	0,2	0,2
- Relación G/T (dB ())	-12,5	-12,5
- Relación C/No en trayecto ascendente (dBHz)	58	53
- Relación C/IM en el satélite (dBHz)	69	69
SATÉLITE-COSTERA (4,20 GHz)		
- p.i.r.e nominal del satélite (dBW)	-7,4	-2,4
- Atenuación de trayecto en espacio libre (dB)	197,2	197,2
- Absorción atmosférica (dB)	0,4	0,4
- Relación G/T en la estación terrena costera (dB ( $K^{-1}$ ))	32	32
- Relación C/N en trayecto descendente (dBHz)	55,6	60,6
Relación C/No global sin desvanecimiento (dBHz)	53,5	52,2
Atenuación por desvanecimiento (dB)	2	4,4 (2,7)
Relación C/No con desvanecimiento(dBHz)	51,5	47,8 (49,5)

### 2.2.2 Servicios satelitales de aeronaves: referentes conceptuales, tecnologías y servicios

En las comunicaciones a bordo de aeronaves hay diferentes tipos de antenas cada uno con su función en específico, a continuación, se presentan las más comunes con sus funcionalidades y características principales.

COM Antenas: Antenas de VHF en su mayoría en la banda de 118-137 MHz en usadas principalmente en comunicaciones aire-tierra, diseñadas para

funcionar en su mayoría para trabajar a 50.000 pies de altura ya a velocidades de entre 150 y 350 mph.



*Figura 2. Típica antena de VHF en aeronaves.*

UHF Antenas: Antenas comúnmente utilizadas en transpondedores y equipos de medición de distancias DME, con uso principalmente en las bandas de 960-1120 MHz, diseñadas para funcionar en su mayoría para trabajar a 50.000 pies de altura ya a velocidades de entre 150 y 350 mph.



*Figura 3. Antena de altea típica de DME en aeronaves.*

Antenas de navegación: Estas antenas funcionan en VHF principalmente VOR (Very High Frequency Omnidirectional Range) con un alcance de 320 km a hasta 37500 pies de altura -11430 m- sobre la estación y con uso de bandas de frecuencias entre 108.00 a 117.95 MHz modulada en AM, LOC o localizadoras para sistemas de aterrizaje que funciona entre los 108.1 - 111.975 MHz, modulada al 20% con la suma de tonos 90 Hz y 150 Hz (90+150 Hz) CBS.



*Figura 4. Antena NAV en aeronaves.*

Antenas GPS: Hacen uso principalmente de antenas helicoidales que transmiten aproximadamente a 1,6 GHz con nivel de potencia de  $-154$  dB, diseñadas para funcionar en su mayoría para trabajar a 50.000 pies de altura ya a velocidades de entre 150 y 350 mph.





*Figura 5. Típica antena GPS en aeronaves.*

De estas especificaciones para los servicios a bordo de barcos, aeronaves y los SFS se elabora la tabla 5 con parámetros de interés para el estudio.

*Tabla 5. Especificaciones técnicas de los servicios de interés en enlace de subida.*

<b>Parámetro</b>	<b>Enlace de subida Servicio fijo por satélite</b>	<b>Enlace de subida aeronaves</b>	<b>Enlace de subida barcos</b>
Distancia de la tierra a la órbita geoestacionaria	36000 km		
Bandade frecuencias	12,75-13,25 GHz		
Modelo de propagación	Espacio libre	Espacio libre	Espacio libre
Tipo de antena	Parabólica	Gota y Aleta	Parabólico foco primario

Parámetro	Enlace de subida Servicio fijo por satélite	Enlace de subida aeronaves	Enlace de subida barcos
Altura de la antena	0.6m	4000m	0.6m
*Angulo de inclinación	25°	25°	25°
Método de acceso	CDMA	CDMA	CDMA
Modulación	MF/TV	QPSK	QPSK
Ancho de banda	477.9KHz	1194.63KHz	Tasa de bit 1024-2048 kbps 1843-8271KHz  1194.63KHz
Retardo	250 ms		
Porcentaje de disponibilidad	100%		
Piso de ruido	-129 dBm		

## 2.3 Identificación, regulación y normalización de la banda de 12.75 a 13.5 GHZ

### 2.3.1 En el contexto internacional

La regulación y normatividad de la banda la emite la UIT.

#### 2.3.1.1 Espectro para FSS, bandas y canalización

Para elaborar una disposición de radiocanales con una separación de frecuencias de 19,18 MHz (la selección de los radiocanales del plan con separación de 19,18 MHz debe determinarse por acuerdo entre las administraciones interesadas) en la banda 11,7-12,5 GHz habrá que tener en cuenta las necesidades del servicio de radiodifusión por satélite (SRS) a que también está atribuida la banda, o partes de la misma, de conformidad con lo dispuesto por las siguientes Conferencias Administrativas Mundiales de Radiocomunicaciones: Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para la radiodifusión por satélite (Ginebra, 1977) (CAMR RS-77), Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para la radiodifusión (Ginebra, 1979) (CAMR-79), Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para la radiodifusión sobre la utilización de la órbita de los satélites geoestacionarios y la planificación de los servicios espaciales que la utilizan (Ginebra, 1985) (CAMR Orb-85). Según estudios realizados, una disposición de radiocanales para las Regiones 1 y 3 debe tener las siguientes características fundamentales para facilitar la compartición para dichas Regiones entre los dos servicios:

La separación de los radiocanales adyacentes debe ser la misma que la convenida para el SRS (19,18 MHz) o un múltiplo de ella

Las frecuencias centrales de los radiocanales deben coincidir con las del SRS, o estar intercaladas con ellas, tal como se observa en la ecuación (3) y la ecuación (4):

$$f = 11708,3 + 19,18 n \text{ MHz} \quad (3)$$

O

$$f = 11717,89 + 19,18 n \text{ MHz} \quad (4)$$

dónde:  $n = 1, 2, 3, \dots, 40$ ;

Las separaciones de los radiocanales de «ida» y «retorno» deben ser compatibles con la disposición de frecuencias asignadas al SRS. En la banda 11,7-12,5 GHz está previsto en algunos países utilizar FWS con modulación BLU para la transmisión simultánea de varias señales de radiodifusión sonora y de televisión por uno o varios transmisores, con destino a cierto número de estaciones receptoras. La frecuencia que designa el radiocanal que ha de utilizarse para una determinada señal de televisión más sonido deberá corresponder al centro de la banda moduladora de dicha señal [15].

**Tabla 6. Atribución y canalización de los SFS en la banda de 12,75 a 13,25 GHz.**

Banda (GHz)	Gama de frecuencias (GHz)	Recomendaciones UIT-R Serie F	Separación entre canales (MHz)
13	12,75-13,25 12,7-13,25	497 746, Anexo 2 & 1	28;14;7;3,5 25; 12,5

### 2.3.1.2 Espectro para servicios satelitales para barcos y aeronaves, bandas y canalización:

Basado el Manual-Servicio móvil por satélite (SMS) – Edición 2002[16] se establece en el capítulo 2 un cuadro de atribución de frecuencias para estos servicios el cual establece los lineamientos para estas comunicaciones entre 137 MHz y 3 GHz el cual es presentado en la tabla 7.

**Tabla 7. Atribución de banda de frecuencia para servicios móviles.**

Banda de Frecuencia (MHz)	Región	Disposiciones pertinentes (1)	Situación de la atribución
1492-1525 (e-T)	2	-	Primaria
1525-1530 (e-T)	1 2 3	-	Primaria
1530-1535 (e-T)	1 2 3	-	Primaria

<b>Banda de Frecuencia (MHz)</b>	<b>Región</b>	<b>Disposiciones pertinentes (1)</b>	<b>Situación de la atribución</b>
1535-1559 (e-T)	1 2 3	Número 5.356 del RR	Primaria
1610-1610,6 (T-e)	1 2 3	Número 5.367 del RR	Primaria
1610,6-1613,8 (T-e)	1 2 3	Número 5.367 del RR	Primaria
1613,8-1626,5 (T-e)	1 2 3	Número 5.367 del RR	Primaria
1613,8-1626,5 (e-T)	1 2 3	Número 5.367 del RR	Secundaria
1626,5-1660 (T-e)	1 2 3	Número 5.375 del RR	Primaria
1660-1660,5 (T-e)	1 2 3	-	Primaria
1675-1690 (T-e)	2	-	Primaria
1690-1700 (T-e)	2	-	Primaria
1700-1710 (T-e)	2	-	Primaria
1930-1970 (T-e)	2	-	Secundaria
1980-2010 (T-e)	1 2 3	-	Primaria
2010-2025 (T-e)	2	Número 5.389C, 5.389D del RR	Primaria
2120-2160 (e-T)	2	-	Secundaria
2160-2170 (e-T)	2	Número 5.389C, 5.389D del RR	Primaria
2170-2200 (e-T)	1 2 3	Número 5.389A del RR	Primaria
2483,5-2500 (e-T)	1 2 3	-	Primaria
2500-2520 (e-T)	1 2 3	Número 5.414A del RR	Primaria (después del 01.01.2005)
2500-2535(2) (e-T)	1 2 3	Número 5.403 del RR	Número 9.21 del RR (hasta del 01.01.2005)
2520-2535(2) (e-T)	1 2 3	Número 5.403 del RR	Número 9.21 del RR (después del 01.01.2005)
2515-2535(3) (e-T)	Países enumerados en el número 5.415A del RR	Número 5.415A del RR	Número 9.21 del RR
2655-2690(2) (T-e)	1 2 3	Número 5.420 del RR	Número 9.21 del RR (hasta del 01.01.2005)
2655-2670(2) (T-e)	1 2 3	Número 5.420 del RR	Número 9.21 del RR (después del 01.01.2005)
2670-2690 (T-e)	1 2 3	Número 5.419 del RR	Primaria (después del 01.01.2005)
2670-2690(3) (T-e)	Países enumerados en el número 5.420A del RR	Número 5.420A del RR	Número 9.21 del RR

En este mismo capítulo se habla de los métodos de asignación de canales que para los SMS OSG de interés para este estudio se propone la estación de coordinación de red Inmarsat, una configuración típica de esta red se puede observar en la siguiente figura:

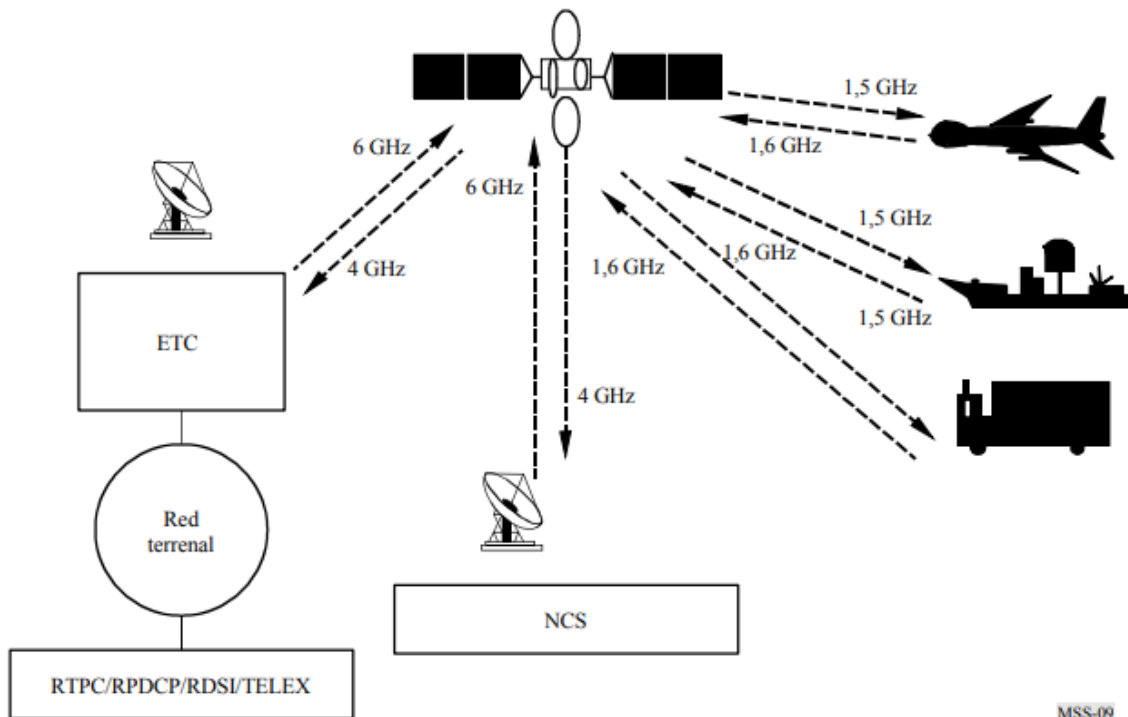


Figura 6. Configuración típica de red Inmarsat.

Fuente: [16], Disponible en: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-41-2002-OAS-PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-41-2002-OAS-PDF-S.pdf)

### 2.3.2 En el contexto nacional

#### 2.3.2.1 Espectro para FSS, bandas y canalización.

Según el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencia de 2022[6] están atribuidos servicios fijos por satélite a las siguientes bandas:

Tabla 8. Atribución de bandas de frecuencia para SFS en Colombia.

Unidad	Colombia	Notas nacionales
MHz	2500-2655 (espacio-Tierra)	CLM3 CLM 21 CLM23 CLM24
MHz	2655-2690 (espacio-Tierra) (Tierra-espacio)	CLM3 CLM 21 CLM23 CLM24
MHz	3700-4200 (espacio-Tierra)	CLM3 CLM 22 CLM23 CLM24
MHz	4500-4800 (espacio-Tierra)	CLM3 CLM 22 CLM23 CLM24

<b>Unidad</b>	<b>Colombia</b>	<b>Notas nacionales</b>
MHz	5091-5250 (Tierra-espacio)	CLM3 CLM 4 CLM23 CLM24
MHz	5850-6700 (Tierra-espacio)	CLM3 CLM 7 CLM 22 CLM23 CLM24
MHz	6700-7075 (espacio-Tierra) (Tierra-espacio)	CLM3 CLM 22 CLM23 CLM24
MHz	7250-7750 (espacio-Tierra)	CLM3 CLM 22 CLM23 CLM24
MHz	7900-8400 (Tierra-espacio)	CLM3 CLM 22 CLM23 CLM24
GHz	10,7-12,2 (espacio-Tierra)	CLM3 CLM 22 CLM23 CLM24
GHz	12,7-13,25 (Tierra-espacio)	CLM3 CLM 22 CLM23 CLM24
GHz	13,75-14,8 (Tierra-espacio)	CLM3 CLM 22 CLM23 CLM24
GHz	15,43-15,63 (Tierra-espacio)	CLM3 CLM4 CLM24
GHz	17,3-17,7 (Tierra-espacio)	CLM3 CLM24
GHz	17,7-18,4 (espacio-Tierra) (Tierra-espacio)	CLM3 CLM 22 CLM23 CLM24
GHz	18,4-19,3 (espacio-Tierra)	CLM3 CLM 22 CLM23 CLM24
GHz	19,3-19,7 (espacio-Tierra) (Tierra-espacio)	CLM3 CLM 22 CLM23 CLM24
GHz	19,7-21,2 (espacio-Tierra)	CLM3 CLM 22 CLM23 CLM24
GHz	24,75-25,25 (Tierra-espacio)	CLM3 CLM24
GHz	27-31 (Tierra-espacio)	CLM2 CLM3 CLM 22

<b>Unidad</b>	<b>Colombia</b>	<b>Notas nacionales</b>
GHz	37,5-38 (espacio-Tierra)	CLM3 CLM23 CLM24
GHz	40-42,5 (espacio-Tierra)	CLM3 CLM23 CLM24
GHz	42,5-43,5 (Tierra-espacio)	CLM3 CLM23 CLM24
GHz	47,2-50,2 (Tierra-espacio)	CLM3 CLM23 CLM24
GHz	50,4-52,4 (Tierra-espacio)	CLM3 CLM23 CLM24
GHz	71-76 (espacio-Tierra)	CLM3 CLM 22 CLM23 CLM24
GHz	81-86 (Tierra-espacio)	CLM3 CLM 22 CLM23 CLM24

De esta tabla se extraen las notas nacionales de dónde se puede obtener la canalización, criterios de potencia, criterios de interferencia, características de las antenas y requerimientos de eficiencia para cada una de las bandas de los SFS del CNABF.

#### CLM 2

Las estaciones que operan en las bandas atribuidas a los servicios de frecuencias patrón y señales horarias y de frecuencias patrón y señales horarias por satélite gozan de protección contra interferencias perjudiciales.

#### CLM3

Se establece la normatividad relacionada con los límites de las emisiones y las condiciones técnicas y operativas tanto generales como específicas de las aplicaciones permitidas para utilizar el espectro bajo la modalidad de uso libre dentro del territorio nacional.

#### CLM 22

Se adoptan los siguientes planes de distribución de canales radioeléctricos del servicio fijo, de acuerdo con las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, previstos en la sección 6 del CNABF "Tablas anexas" del Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias, en las condiciones establecidas en la normatividad que se referencia, que para la banda de interés de 12,75 a 13,25 se refiere a las tablas 70, 71 y 72 con recomendación UIT-R

F.497-7 ALTERNATIVA III, dónde recomienda 28, 7 y 3,5 MHz de ancho de banda del canal y una distancia mínima de enlace de 2 Km.

### CLM 23

En todas las bandas de frecuencia por encima de 1 GHz que compartan atribución primaria entre servicios terrenales y espaciales se debe dar cumplimiento a lo descrito en el artículo 21 de Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT.

#### 2.3.2.2 Espectro para servicios satelitales para barcos y aeronaves, bandas y canalización.

Según el decreto 2061 de 1996, en el cual se reglamentan las telecomunicaciones marítimas en Colombia [17], en el capítulo 3 titulado “Bandas de frecuencia” en sus capítulos del 13 al 41 se habla de distribución de 28 bandas de frecuencia de los 14KHz a los 27,5MHz en los cuales se habla de cada uno de sus usos, además del artículo 42 al 49 se reglamentan los canales usados en las bandas de frecuencia anteriormente enunciadas.

Posteriormente en el artículo 76 del capítulo 4 se da la norma de las características de los transmisores en el servicio móvil marítimo:

**Tabla 9. Características de transmisor móvil marítimo.**

Diferencia D entre la frecuencia de la emisión no deseada y la frecuencia asignada (kHz)	Atenuación mínima respecto a la potencia en la cresta de la envolvente
$1,5 < D \leq 4,5$	31 dB
$4,5 < D \leq 7,5$	38 dB
$7,5 < D$	43 dB sin que la potencia de la emisión no deseada supere los 50 mW

Para el caso que propone este estudio, se reglamenta la banda de 1530 a 1634,5 MHz para el servicio satelital marítimo.

Los servicios satelitales aeronáuticos son en su mayoría de GPS que a través de antenas GPS/WAAS ofrecen posicionamiento en tiempo real con precisión. Estas comunicaciones de GPS comúnmente se realizan con antenas de polarización vertical de 50 ohmios usando la banda de frecuencias entre los 978 y 1090 MHz.



Los sistemas de comunicación y navegación en aeronaves transmiten en su mayoría en la banda de UHF, polarizadas verticalmente y con 121.15 o 121.175 MHz como frecuencias comúnmente usadas

Para el servicio aeronáutico la regulación dada por la Aeronáutica Civil en el RAC 210 resolución 00714 titulado “Telecomunicaciones Aeronáutica” [18] se establecen los lineamientos de las bandas de frecuencia en aeronaves.

En esta se establece que las comunicaciones aeronáuticas se dan entre los 118 a 137 MHz con canales separados por 25KHz además de otros servicios como ADS-B o ELT que se comunican den los 1090 y 406 MHz. Además, se presentan tablas de atribución de frecuencias dadas por esta normativa. Además, esta proporciona las tablas 10 y tabla 11 correspondientes a los usos y atribuciones de bandas de frecuencia en el contexto aeronáutico colombiano.

*Tabla 10. Atribución de bandas de frecuencia para servicios aeronáuticos en Colombia 1.*

<b>TABLA ADJUDICACIÓN DE SUB-BANDAS VHF</b>		
<b>Sub-banda de frecuencias</b>	<b>Utilización mundial</b>	<b>Aplicación</b>
118,000-118,925	Nacional/Internacional	TWR
119,000-121,375	Nacional/Internacional	APP
121,500	Frecuencia de emergencia	Frecuencia de emergencia
121,600-121,975	Nacional/Internacional	SMC
122,000-,123,050	Nacional	--
123,100	Frecuencia auxiliar SAR	Frecuencia auxiliar SAR
123,150-123,675	Nacional	--
123,450	Comunicaciones aire-aire	Comunicaciones aire-aire
123,700-126,675	Nacional/Internacional	ACC
126,700-127,575	Nacional/Internacional	Fines generales
127,600- 127,900	Nacional/Internacional	VOLMET / ATIS
127,950-128,800	Nacional/Internacional	ACC
128,850-129,850	Nacional/Internacional	APP
129,900-132,025	Nacional/Internacional	AOC
132,050-132,950	Nacional/Internacional	VOLMET / ATIS
133,000-135,875	Nacional/Internacional	ACC
136,000-136-875	Nacional/Internacional	--
136,900-136,975	Nacional/Internacional	Reservada para VDL
(*) Con la excepción de 123,450 MHz que también se usa como canal mundial de comunicaciones aire-aire		

Como información adicional en la tabla 11 se presentan la atribución de bandas de frecuencia entre los 130 kHz y 33 GHz con su utilización aeronáutica.

**Tabla 11. Atribución de bandas de frecuencia para servicios aeronáuticos en Colombia 2.**

<b>BANDA</b>	<b>SERVICIO</b>	<b>UTILIZACIÓN AERONAUTICA</b>
130-535 kHz	SRNA	NDB
2.850-22.000 kHz	SMA(R)	Comunicaciones aeroterrestres (HF voz y datos)
3.023 y 5.680 kHz	SMA(R)	Búsqueda y salvamento
74,8-75,2 MHz	SRNA	Radiobaliza
108-117,975 MHz	SRNA/SMA(R)	Localizador VOR/ILS/GBAS/VDL Modo 4
117,975-137 MHz	SMA(R)	Comunicaciones aire-tierra y aire-aire (voz y datos en VHF)
121,5, 123,1 y 243 MHz	SMA(R)	Frecuencias de emergencia
328,6-335,4 MHz	SRNA	Radioalineamiento de descenso ILS
406-406,1 MHz	SMS	Búsqueda y salvamento (ELT)
960-1.164 MHz	SRNA/ SRNS/ SMA(R)	Comunicaciones aeroterrestres/ DME/SSR/ACAS/UAT
1.030 y 1.090 MHz	SRNA	SSR/ACAS/ADS-B
1.164-1.215 MHz	SRNA / SRNS	DME/GNSS
1.215-1.400 MHz	SRLA/ SRNS/ SRNA	GNSS/ Radar primario por vigilancia (PSR)
1.525-1.559 MHz	SMS (E-s)	Comunicaciones por satélite
1.610-1.626,5 MHz	SMA(R)S (s-E, E-s)	Comunicaciones por satélite
1.626,5-1.660,5 MHz	SMS (E-s)	Comunicaciones por satélite
1.559-1.626,5 MHz	SRNA/ SRNS/ SMS	GNSS
2.700-2.900 MHz	SRNA/ SRN	Radar meteorológico
2.700-3.300 MHz	SRNA/ SRN/ SRL	Radar primario de vigilancia (PSR)
4.200-4.400 MHz	SRNA/ SRL	Radio altímetro WAIC
5.000-5.250 MHz	SRNA/ SMA(R)/ SMA(R)S	MLS/instrucciones UAS y comunicación sin carga útil/comunicación en la superficie del aeropuerto (AeroMACS)
5.350-5.470 MHz	SRNA	Radar meteorológico de a bordo
8.750-8.850 MHz	SRNA/ SRL	Radar Doppler de a bordo
9.000-9.500 MHz	SRNA/SRN	Radar de aproximación de precisión/Radar meteorológico de a bordo/Equipo de detección en la superficie de los aeropuertos (ASDE)
13,25-13,4 GHz	SRNA	Radar Doppler de a bordo
15,4-15,7 GHz	SRNA/ SRL	ASDE/Otros sistemas
24,25-24,65 GHz	SRN	ASDE
31,8-33,4 GHz	SRN	ASDE/sistema de visión en vuelo mejorada (EFVS) con radar a bordo

## 2.4 Interferencia, modelos de propagación y convivencia de servicios

### 2.4.1 Definición de interferencia y tipos

La convivencia de servicios en una misma banda de frecuencia está dada por la interferencia que se genere por la compartición de esta. Tomando las precisiones dadas por la ITU de interferencia, esta se define como “Efecto de una energía no deseada debida a una o varias emisiones, radiaciones, inducciones o sus combinaciones sobre la recepción del sistema de radiocomunicación que se manifiesta como degradación de la calidad, falseamiento o pérdida de la información que se podría obtener en ausencia de la energía no deseada”.

Así mismo la ITU define varios tipos de interferencia que aporta a la comprensión de cuando dos sistemas pueden convivir compartiendo banda de frecuencia tales como:

- Interferencia admisible: Interferencia observada o prevista que satisface los criterios cuantitativos de interferencia y compartición dados en el reglamento de la ITU.
- Interferencia aceptada: Interferencia de nivel más elevado que el definido en la interferencia admisible, que ha sido acordada entre dos o más administraciones, pero sin perjuicio para otras administraciones.
- Interferencia perjudicial: Interferencia que compromete el funcionamiento de un servicio de radionavegación o de otros servicios de seguridad, o que degrada gravemente, interrumpe repetidamente o impide el funcionamiento de un servicio de radiocomunicación explotado de acuerdo con el reglamento de radiocomunicaciones.
- Relación de protección: Valor mínimo, generalmente expresado en decibeles, de relación entre la señal deseada y la señal no deseada a la entrada del receptor, determinada en condiciones específicas, que permite obtener una calidad de la relación especificada de la señal de salida deseada a la salida del receptor.
- Temperatura de ruido equivalente: Temperatura de ruido referida a la salida de la antena receptora de la estación terrena que corresponda a la potencia de ruido de radiofrecuencia que produce el ruido total observado en la salida del enlace por satélite, con exclusión del ruido generado por interferencias de otros sistemas, para la competencia de este estudio tales como las comunicaciones satelitales a bordo de barcos y aviones.

De la misma manera la ITU también define otros conceptos asociados a la compartición y convivencia en el ámbito espacial:

- Zona de Coordinación: Cuando se determina la necesidad de coordinación, zona que rodea una estación terrena que comparte la misma banda de frecuencias con otras estaciones terrenales.
- Distancia de coordinación: Distancia en el azimut a partir de una estación terrena que comparte la misma banda de frecuencias con otras estaciones terrenales.

Referencia [19]: 1.166 del Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT (RR)

- interferencia admisible (véase el número 1.167);
- interferencia aceptable (véase el número 1.168);
- interferencia perjudicial (véase el número 1.169)

#### 2.4.2 Modelos de propagación

Se tuvo en cuenta el modelo de propagación ITU-R P.525-4 2019.

El espacio libre se define como un vacío perfecto que puede considerarse infinito en todas las direcciones. El modelo de propagación en espacio libre predice que la potencia recibida disminuirá en función de la distancia de separación que hay entre el transmisor y el receptor, elevada a cierta potencia, este modelo es utilizado para predecir la fuerza de la señal recibida cuando el transmisor y el receptor tienen una línea de visión clara y sin obstáculos entre ellos.

También se tiene que la propagación en espacio libre es conocida como la propagación en una atmósfera homogénea.

El modelo de pérdida por trayectoria en el espacio libre es usado para predecir la intensidad del nivel de recepción cuando el transmisor y receptor tienen una trayectoria de línea de vista clara, sin obstrucciones entre ellos.

La atenuación en espacio libre es directamente proporcional al cuadrado de la distancia y la frecuencia, la pérdida por espacio libre representa la mayor parte de la atenuación total causada por efectos de propagación de la onda electromagnética.

De acuerdo con la ITU-R P.525-4 2019, cuando se trata de un enlace punto a punto, es preferible calcular la pérdida de espacio libre considerando dos antenas isotrópicas, denominada también pérdida básica de transmisión en el espacio libre, la cual se calcula con la ecuación (5):

$$L_{bf} = 20 \log \left( \frac{4\pi * d}{\lambda} \right) = 20 \log \left( \frac{4\pi * d * f}{c} \right) [dB] \quad (5)$$

En donde

$L_{bf}$  = Pérdida básica de transmisión en el espacio libre [dB].

$d$  = Distancia.

$\lambda$  = Longitud de onda.

$c$  = Velocidad de la luz.

La pérdida por espacio libre entre dos antenas isotrópicas se deriva de la relación entre la potencia total desde el transmisor y la potencia total recibida en el receptor (Manning,2009). La ecuación (5) se transforma en la ecuación (6):

$$L_{bf} = 32.4 + 20\log(f) + 20\log(d)[dB] \quad (6)$$

## 2.5 Casos de estudio

### 2.5.1 Casos de estudio internacionales.

Para el estudio del estado se hizo una investigación de la reglamentación y recomendaciones dada por la UIT y otros trabajos desarrollados previamente con relación al tema propuesto.

Durante la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones desarrollada en Egipto en el año 2019[1] se establecieron algunas normas y se dieron algunas recomendaciones para el desarrollo de prácticas y estudios en los sistemas fijos satelitales (SFS), y más concretamente en la resolución 172 de dicha jornada, donde se trató del funcionamiento de las estaciones terrenas a bordo de aeronaves y barcos que se comunican con estaciones espaciales geoestacionarias del servicio fijo por satélite (Tierra-espacio) en la banda de frecuencias 12,75-13,25 GHz.

En esta conferencia se trataron temas de reglamentación de la banda de frecuencias utilizada para sistemas SFS y recomendaciones para su uso en aeronaves y barcos, se estipula que los sistemas SFS funcionan con redes OSG (Satélites de Órbita Geoestacionaria) y se acuerda un acceso equitativo a las bandas de frecuencia de los países en desarrollo. Se establece la referencia de relación portadora-interferencia de una fuente tierra-espacio, a su vez que en la banda de frecuencias 12,75-13,25 GHz (Tierra-espacio), el plan para el servicio fijo por satélite en las bandas de frecuencias, la DFP (densidad de flujo de potencia) producida en la ubicación en la órbita de satélites geoestacionarios, los límites aplicables a las comunicaciones recibidas, según las modificaciones del apéndice 30B entre otras.

Dando por resultado una serie de recomendaciones para el estudio de la compatibilidad de los sistemas ETEM de barcos y aviones en la banda de frecuencias 12,75-13,25 GHz.

En el artículo **“Electromagnetic Compatibility Studies: LTE BS vs. Aeronautical Radionavigation Services in 694-790 MHz Frequency Band”** [20] se presenta el análisis de compartición de la banda de frecuencia 694-790 MHz para servicios móviles IMT y servicios de radionavegación aeronáutica (ARNS) utilizando el software SEAMCAT basado en el método de simulación estadística (Monte-Carlo). En 2012, la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (CMR-12) decidió atribuir la banda de frecuencia 694-790 MHz a los servicios móviles IMT (excluido el móvil aeronáutico) después de la Conferencia CMR-15. En este acuerdo se plantea la compatibilidad de los

problemas electromagnéticos. Este estudio se llevó a cabo de dos fases: primero aplicando análisis teóricos, luego simulaciones estadísticas (Monte-Carlo) con la herramienta de software SEAMCAT con el fin de verificar los resultados obtenidos en el enfoque teórico. Los cálculos analíticos muestran que las distancias de protección requeridas entre las estaciones ARNS y las estaciones base MS son 132 km. Los resultados obtenidos de las simulaciones de SEAMCAT indican que la distancia de separación debería ser superior a 100 km. Estos resultados ilustran que los sistemas no son compatibles electromagnéticamente. La posible técnica de mitigación podría ser la corrección del patrón de antena.

El potencial de interferencia de radiofrecuencia entre las estaciones terrestres y las naves espaciales en órbita. Es información que se puede utilizar para seleccionar frecuencias para sistemas de radio. para evitar interferencias o para determinar si la coordinación entre radio y los sistemas son necesarios. Además, es útil para planificar estándares de emisiones. y requisitos de filtrado para futuros equipos de telecomunicaciones.

#### 2.5.2 Casos de estudio nacionales.

Como casos de estudio nacionales se tuvo en cuenta el estudio “Parámetros Técnicos Para Evaluar Interferencias en la Simulación de Enlaces Microondas, Aplicable a la Agencia Nacional del Espectro” [21], desarrollado en la Universidad Distrital en el 2017, cuyo objetivo definir los parámetros técnicos para simular interferencias en enlaces microondas aplicable en la ANE usando del software ICS TELECOM, el análisis se hizo en base de las variables C/I y T/I.

## Capítulo 3: Metodología.

### 3.1 Escenarios de interferencia.

En este capítulo se evidenciará el proceso de identificación de los escenarios correspondientes a la compartición y convivencia de los servicios fijo por satélite y ETEM en la banda Ku de 12,75 a 13,25 GHz. Para esto se parte de la identificación de zonas de posible afectación en Colombia, para su posterior selección teniendo en cuenta criterios de ubicación importancia y distancia al servicio primario. Además de la creación de dichos escenarios, se elaboró un protocolo de simulación (Anexo 1), para guiar la obtención de los datos de la simulación; posteriormente se hizo un análisis de interferencia y convivencia tolerable y crítica entre los servicios propuestos en esta investigación.

#### 3.1.1 Identificación y selección.

Para este estudio se identificaron tres escenarios en los que se puede presentar una coexistencia de servicios, teniendo en cuenta que la propuesta de investigación se centra en que el servicio primario o afectado siempre debe ser los SFS y los interferentes los producidos por las ETEM.

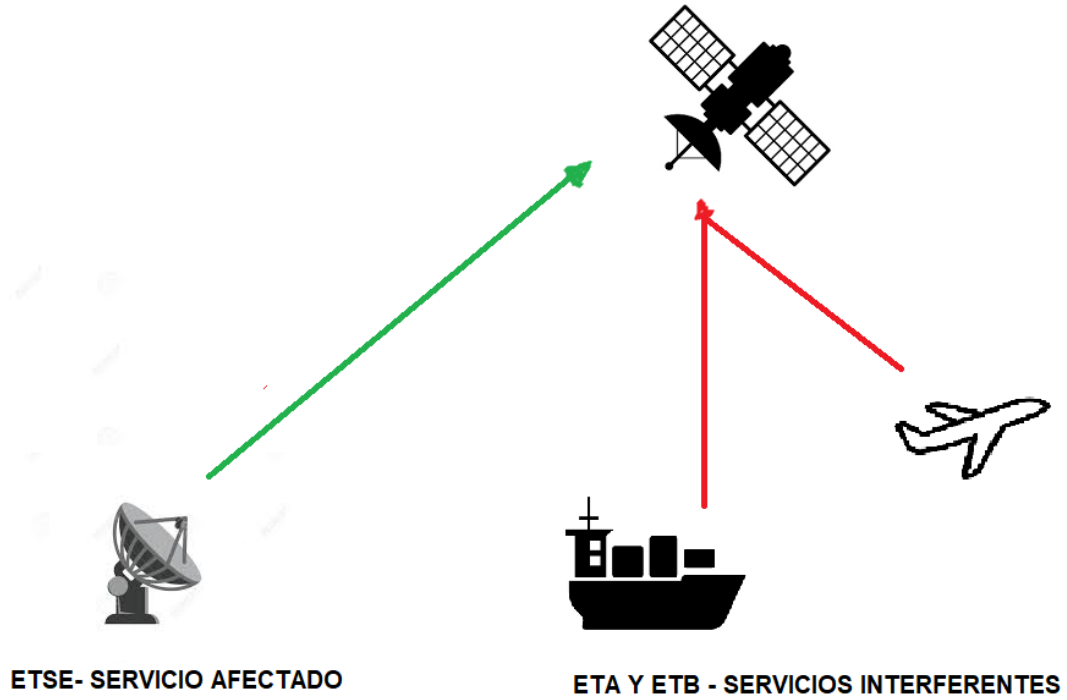
Convenciones:

- ETB => Estación terrena a bordo de un barco.
- ETA => Estación terrena a bordo de una aeronave.
- ETSE=> Estación terrena de servicios existentes según la CMR-23, puno 1.15.

*Tabla 12. Tabla de codificación de los escenarios.*

<b>Número de caso</b>	<b>Servicio(s) interferente(s)</b>	<b>Servicio afectado</b>
1	TX ETB y ETA	RX ETS
2	TX ETA	TX ETSE
3	TX ETB	RX ETSE

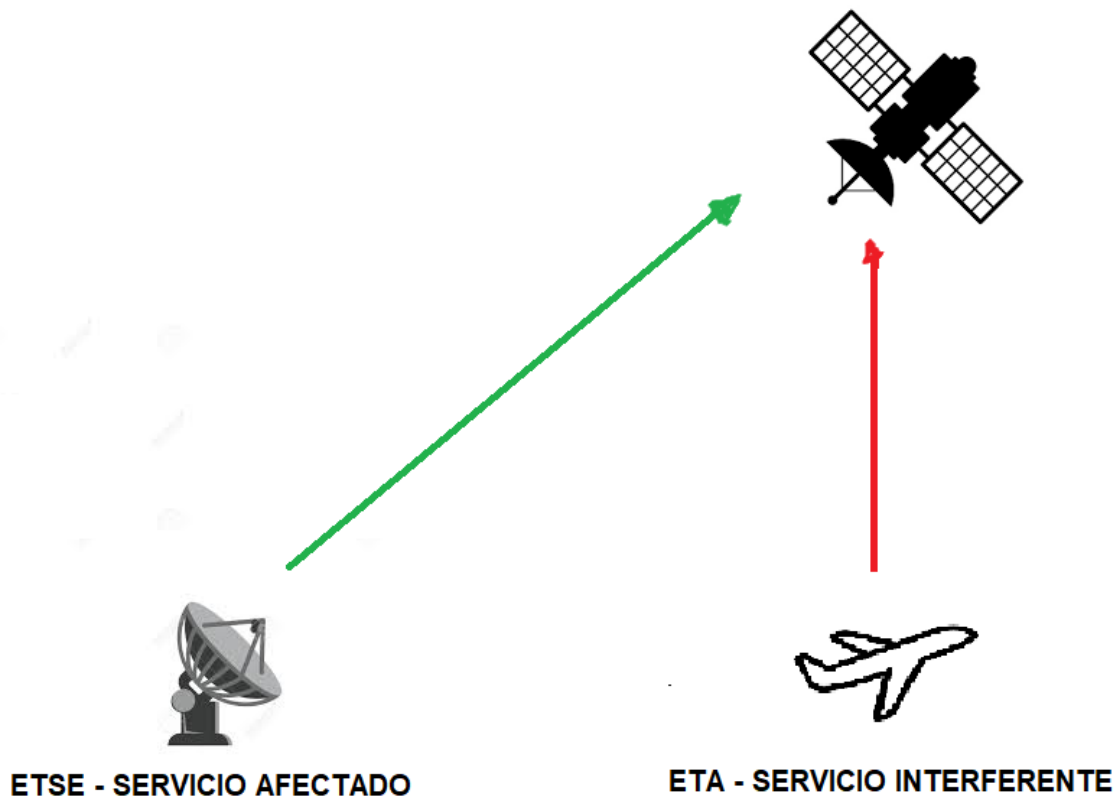
Escenario uno (1): Para este primer caso tanto barcos como aeronaves transmiten simultáneamente al satélite en conjunto con la estación terrena.



*Figura 7. Escenario 1 con SFS como víctima y las ETEM como interferentes.*

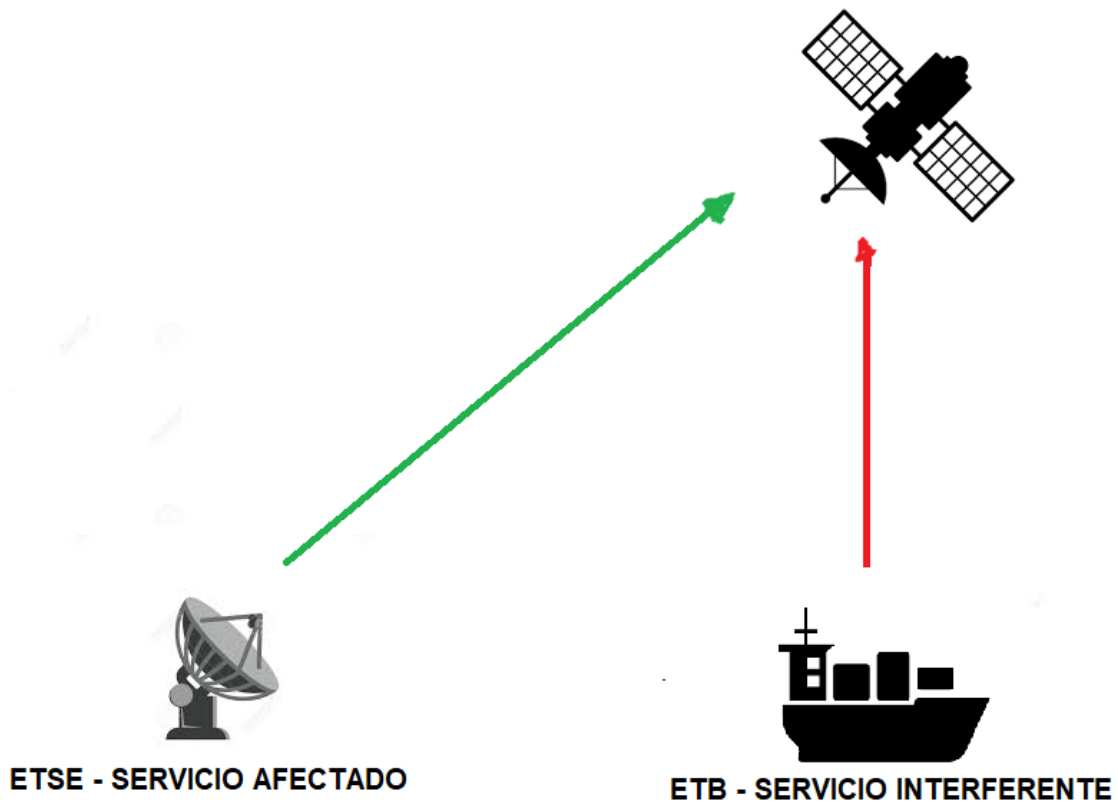


Escenario dos (2): Para este caso transmiten simultáneamente aviones y el SFS, el servicio interferente es el producido por las ETEM a bordo de aeronaves.



*Figura 8. Escenario 2 con SFS como víctima y los servicios aeronáuticos como interferentes.*

Escenario tres (3): Para este caso transmiten simultáneamente barcos y el SFS, el servicio interferente es el producido por las ETEM a bordo de barcos.



*Figura 9. Escenario 3 con SFS como víctima y las comunicaciones a bordo de barcos como interferentes.*

Para la identificación de los escenarios se tomaron las principales zonas portuarias y aeroportuarias del país, las cuales se pueden observar en las siguientes tablas.

- Puertos

Colombia cuenta con ocho zonas portuarias, las cuales se describen con ubicación y funciones principales en la tabla 13.

*Tabla 13. Zonas portuarias de Colombia*

Zona Portuaria	Ubicación	Coordenada	Descripción
Guajira	<a href="#">Bahía Portete</a> ; <a href="#">Uribia</a> , <a href="#">La Guajira</a>	12°15'20"N 71°58'01"O	El puerto recibe barcos hasta de 175.000 toneladas de peso muerto, destinado a la exportación de las minas de carbón del Cerrejón
Santa Marta	Taganga - Ciénaga y Santa Marta, Magdalena	11°15'N 74°13'O.	Gráneles, contenedores, carga general y carbón.

<b>Zona Portuaria</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Coordenada</b>	<b>Descripción</b>
Barranquilla	Barranquilla, Atlántico	10°57'42"N, -74°45'32"O.	Multipropósito
Cartagena	Cartagena, Bolívar	10°24'20"N, -74°32'O.	Madera, cemento, carga general, hidrocarburos, líquidos al granel, hidrocarburos-.
Golfo de Morrosquillo	Tolú – Coveñas, Sucre	9°24'52"N, -75°42'28"O.	Descargue de productos de pesca y aprovisionamiento de las embarcaciones pesqueras, gráneles líquidos, hidrocarburos de exportación
Golfo de Urabá	Turbo, Antioquia	8°04'N, -76°44'07"O.	Contenedores, graneles, carga general, combustibles, vehículos, banano, plátano de exportación, empaque de fruta
Buenaventura	Buenaventura, Valle del Cauca	3°53'32"N, -77°04'20"O.	Descargue y tránsito de madera, cemento y pesca, Hidrocarburos: Gas Licuado de Petróleo- GLP y productos refinados de petróleo, 30.000 kg por año de alimentos perecederos, 50.000 kg por año de alimentos no perecederos y 15.000 kg al año en electrodomésticos, Cereales y graneles solidos

Teniendo en cuenta que no solo existen barcos privados y comerciales es prudente tener en cuenta las bases militares de la armada ubicadas principalmente en zonas marítimas y al igual que lo identificado anteriormente es posible casos de convivencia de los servicios de interés en la banda de 12,75 a 13,25 GHz.



*Figura 10. Ubicación bases marítimas en Colombia.*

Fuente: Obtenido de [22].

Teniendo como guía el mapa anterior se realizan tablas distinguiendo entre escuelas de formación, bases navales y puestos fluviales con las ubicaciones y coordenadas correspondientes a las bases de la ARC.

- Escuelas de formación naval:

*Tabla 14. Ubicación de escuelas de formación naval en Colombia.*

<b>Nombre</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Coordenadas</b>
<a href="#"><u>Escuela Naval de Cadetes Almirante Padilla</u></a>	Cartagena, Bolívar	10°23'31"N, - 75°31'36"O.
<a href="#"><u>Escuela Naval de Suboficiales A.R.C. Barranquilla</u></a>	Barranquilla, Atlántico	10°00'15"N, - 74°47'13"O.
<a href="#"><u>Escuela de Formación de Infantería de Marina</u></a>	Coveñas, Sucre	9°24'26"N, -75°41'10"O.

- Bases Navales:

*Tabla 15. Coordenadas bases navales en Colombia.*

<b>Nombre</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Coordenadas</b>
Base Naval ARC Bolívar -BN1	Cartagena, Bolívar	10°24'28"N, - 75°32'54"O.
Base Naval ARC Bahía Málaga - BN2	Buenaventura, Valle del Cauca	3°58'22"N, -77°19'30"O.
Base Naval ARC Leguizamo - BN3	Puerto Leguizamo, Putumayo	0°12'08"S, -74°46'44"O.
Base Naval ARC San Andrés - BN4	San Andrés islas	12°31'34"N, - 81°43'45"O.
Base Naval ARC Orinoquía - BN5	Puerto Carreño, Vichada	6°11'10"N, -67°28'57"O.
Base Naval ARC Bogotá - BN6	Bogotá D.C	4°38'11"N, - 74°06'48"O.

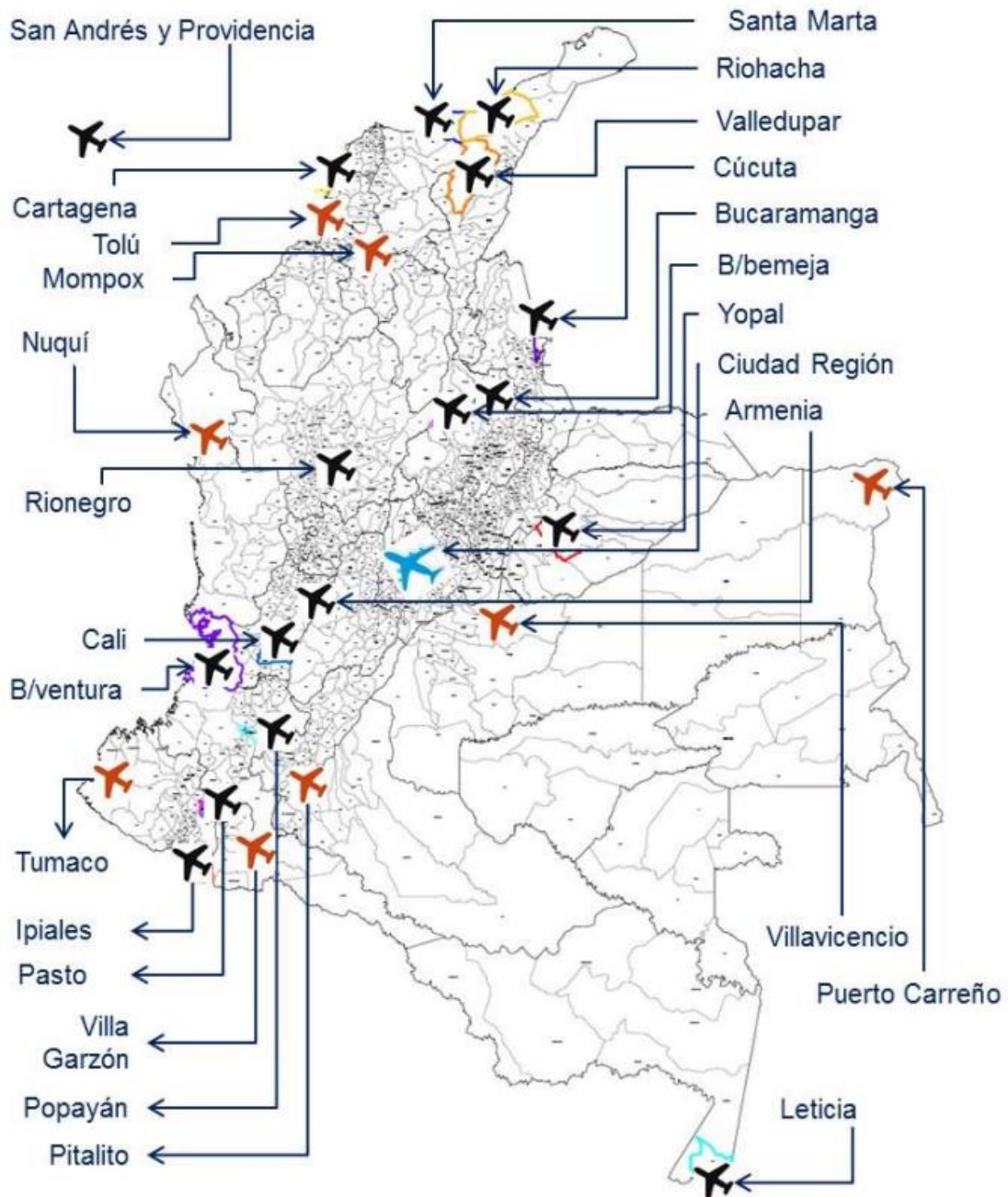
- Puestos fluviales:

*Tabla 16. Coordenadas de los puestos fluviales en Colombia.*

<b>Nombre</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Coordenadas</b>
Puesto Fluvial y de Guardacostas	Tumaco, Nariño	1°49'22"N, - 78°44'27"O.
Comando Guardacostas del Amazonas	Amazonas, Leticia	4°12'28"S, - 69°56'37"O.
Puesto Fluvial y de Infantería de Marina	Puerto Berrío, Antioquia	6°29'08"N, - 74°24'04"O.
Puesto Fluvial y de Infantería de Marina, Puerto Carreño	Puerto Carreño, Vichada	6°10'53"N, - 67°28'31"O.
Puesto Fluvial y de Infantería de Marina, Puerto Inírida	Puerto Inírida, Guainía	3°51'56"N, - 67°55'58"O.

- Aeropuertos:

Colombia cuenta con 412 aeropuertos de los cuales 214 son privados, 108 son administrativos o del estado, 77 de la Aerocivil y 13 militares de los cuales los principales se pueden observar en la figura 11.



*Figura 11. Ubicación principales aeropuertos en Colombia.*

Fuente: Obtenido de [23].

Para este estudio se tienen en cuenta los principales aeropuertos del país. Los aeropuertos internacionales de Colombia se muestran en la tabla 17.

*Tabla 17. Coordenadas de los principales aeropuertos en Colombia*

<b>Abreviación</b>	<b>Nombre</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Coordenadas</b>
BOG	El Dorado Internacional	Bogotá	4°41'45"N, - 74°08'33"O.
CLO	Alfonso Bonilla Aragón Internacional	Cali	3°32'08"N, - 76°23'14"O.
MDE	José María Córdova Internacional	Rionegro, Antioquia	6°10'20"N, - 75°25'46"O.
CTG	Rafael Núñez Internacional	Cartagena	10°26'51"N, - 75°30'51"O.
BAQ	Ernesto Cortissoz Internacional	Barranquilla	10°53'11"N, - 74°46'35"O.
LET	Alfredo Vásquez Cobo Internacional	Leticia	4°11'52"S, - 59°56'28"O.
ADZ	Gustavo Rojas Pinilla Internacional	San Andrés	12°35'52"N, - 81°42'07"O.
CUC	Camilo Daza Internacional	Cúcuta	7°55'37"N, - 72°30'29"O.

No solo existen aeropuertos privados y comerciales por lo que para este estudio e identificación se tendrán en cuenta las bases militares de la fuerza aérea colombiana FAC que de igual manera que los otros aeropuertos anteriormente identificados son posibles casos de convivencia de los servicios de interés en la banda de 12,75 a 13,25 GHz.

Inicialmente se presenta un mapa y listado de dichas bases repartidas por el territorio nacional para posteriormente presentar una tabla con ubicación y coordenadas de cada una de ellas.





*Figura 12. Ubicación bases militares aéreas en Colombia.*

Fuente: Obtenido de [24].



- CACOM 1 - Comando Aéreo de Combate No.1
  - CACOM 2 - Comando Aéreo de Combate No.2
  - CACOM 3 - Comando Aéreo de Combate No.3
  - CACOM 4 - Comando Aéreo de Combate No.4
  - CACOM 5 - Comando Aéreo de Combate No.5
  - CACOM 6 - Comando Aéreo de Combate No.6
1. Grupo Aéreo del Amazonas
  2. GAORI - Grupo Aéreo del Caribe
  3. GACAS - Grupo Aéreo del Casanare
  4. GAORI - Grupo Aéreo del Oriente
  5. CATAM- Comando Aéreo de Transporte Militar
- CAMAN- Comando Aéreo de Mantenimiento

**Tabla 18. Coordenadas de bases aéreas en Colombia.**

<b>Nombre</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Coordenadas</b>
CACOM 1 - Comando Aéreo de Combate No.1	Puerto Salgar, Cundinamarca	5°28'14"N, - 74°39'11"O.
CACOM 2 - Comando Aéreo de Combate No.2	Villavicencio, Meta	4°04'40"N, - 73°33'46"O.
CACOM 3 - Comando Aéreo de Combate No.3	Soledad – Malambo, Atlántico	10°52'46"N, - 74°46'54"O.
CACOM 4 - Comando Aéreo de Combate No.4	Melgar, Tolima	4°12'47"N, - 74°37'53"O.
CACOM 5 - Comando Aéreo de Combate No.5	Rionegro, Antioquia	6°09'57"N, - 75°25'13"O.
CACOM 6 - Comando Aéreo de Combate No.6	Solano, Caquetá	0°44'43"N, - 75°14'08"O.
Grupo Aéreo del Amazonas	Leticia, Amazonas	4°11'24"S, - 69°56'18"O.
GAORI - Grupo Aéreo del Caribe	San Andrés	12°35'10"N, - 81°42'03"O.
GACAS - Grupo Aéreo del Casanare	Yopal, Casanare	5°19'05"N, - 72°23'26"O.
GAORI - Grupo Aéreo del Oriente	Marandúa, Vichada	5°31'31"N, - 68°41'13"O.
CATAM- Comando Aéreo de Transporte Militar	Bogotá D.C	4°42'12"N, - 74°08'58"O.
CAMAN- Comando Aéreo de Mantenimiento	Madrid, Cundinamarca	4°43'39"N, - 74°16'14"O.

- Estaciones terrenas:

Por último, resta identificar y ubicar las estaciones terrenas de Servicios Fijos por satélite en la banda Ku, para esto se identificaron los principales operadores satelitales en Latinoamérica y se seleccionaron únicamente los que funcionan en banda Ku, finalmente con ayuda de la herramienta de cobertura de CLARO se ubicaron las estaciones terrenas cercanas a los puertos y aeropuertos previamente identificados.

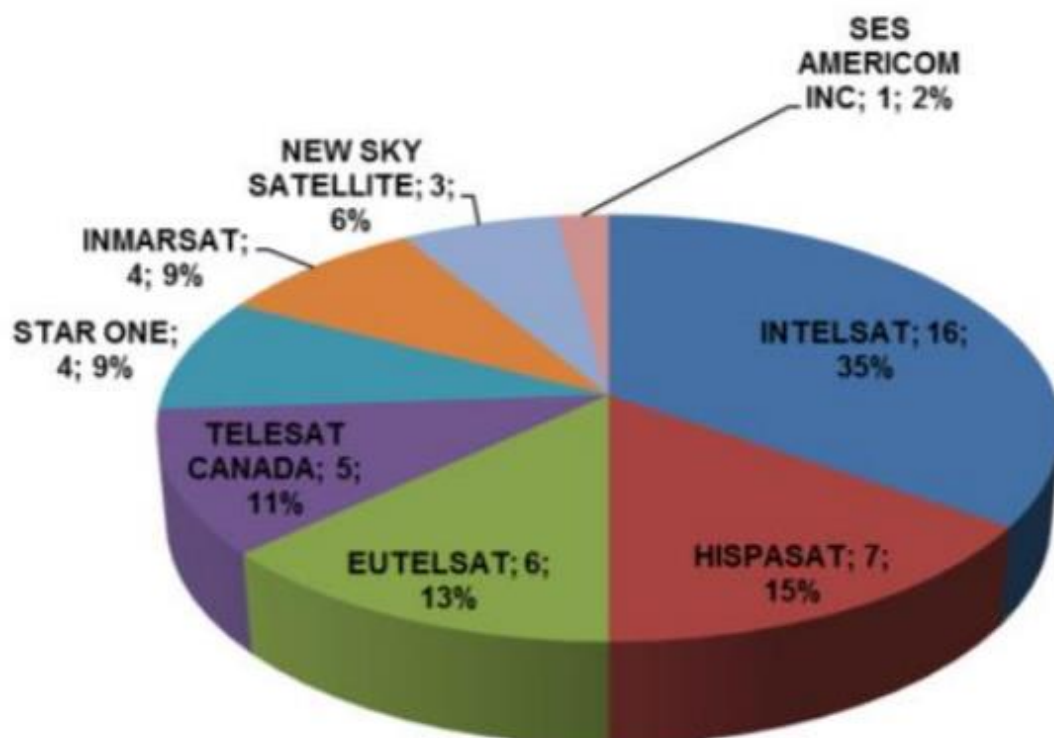
De acuerdo con el párrafo anterior se identificaron que los principales prestadores de los servicios satelitales en Colombia están constituidos por ocho operadores:

- EUTELSAT
- HISPASAT
- INTELSAT
- SES
- STAR ONE
- TELESAT
- INMARSAT
- IRIDIUM

A continuación, se presentan gráficos que ayudan a identificar la cantidad de satélites en la banda de frecuencia de interés por cada empresa operadora satelital:

*Tabla 19. Proveedores del servicio satelital en Colombia.*

<b>Operador</b>	<b>Cantidad de satélites</b>	<b>Servicio prestado</b>
EUTELSAT	5	Ministerio de Defensa
HISPASAT	2	Internet y contenidos audiovisuales
INTELSAT	14	ETB, internet y contenidos audiovisuales
SES	0	N/A
STAR ONE	4	Telefonía, televisión, radio, transmisión de datos e internet
TELESAT	2	Internet y contenidos audiovisuales
INMARSAT	0	N/A
IRIDIUM	0	N/A
New Sky Satellite / SkyNet	2	Televisión, conectividad empresarial



*Figura 13. Distribución del servicio satelital por proveedores en LATAM*

Fuentes: BlueNote – Afianza, basado en Reporte de Contraprestaciones de Proveedores de Capacidad Satelital 2009-2015 (FonTic)

De este mismo estudio se obtuvo que para Colombia en banda Ku se presta el servicio de treinta satélites como se muestra en la tabla 20.

*Tabla 20. Satélites en la banda Ku para Colombia*

Operador Satelital	Satélite	Banda de operación
Eutelsat	Eutelsat 113 West A - SATMEX 6	C-Ku
Eutelsat	Eutelsat 117 West A - SATMEX 8	C-Ku
Eutelsat	SATMEX 5 (MORELOS 2)	C-Ku
Eutelsat	EUTELSAT 115 WEST B - SATMEX 7	C-Ku
Eutelsat	Eutelsat 117 West A (E117WA)	C-Ku
Eutelsat	EUTELSAT 65 WEST A (E65WA)	C-Ku
Hispasat	AMAZONAS 3	C-Ku
Hispasat	AMAZONAS 2	C-Ku
Intelsat	IS-21	C-Ku
Intelsat	GALAXY 3C	C-Ku
Intelsat	IS-31	C-Ku
Intelsat	IS-14 (USASAT-60I)	C-Ku

<b>Operador Satelital</b>	<b>Satélite</b>	<b>Banda de operación</b>
Intelsat	IS-907	C-Ku
Intelsat	IS-805	C-Ku
Intelsat	IS-1R	C-Ku
Intelsat	IS-23	C-Ku
Intelsat	IS-801	C-Ku
Intelsat	IS-903	C-Ku
Intelsat	IS-29e	C-Ku
Intelsat	IS-14 (SES-4)	C-Ku
Intelsat	IS-27	C-Ku
Intelsat	IS-34	C-Ku
New Sky Satellite	SES-4 (NSS-16)	C-Ku
New Sky Satellite	SES-6	C-Ku
Star One	STAR ONE C1 (SBTS-B2)	C-Ku
Star One	STAR ONE C2 (B-SAT-1C)	C-Ku
Star One	STAR ONE C3 (2012-062A)	C-Ku
Star One	STAR ONE D1 (BSAT – 1C)	C-Ku
Telesat Canada	ANIK-F1 (CANSAT - 34)	C-Ku
Telesat Canada	ANIK G1	C-Ku

Teniendo en cuenta las locaciones se obtuvo la tabla 21 donde se ilustra las distancias entre los principales puertos y aeropuertos del país, criterio que será usado posteriormente para la selección de escenarios. Estas ciudades fueron escogidas por ser las más grandes del país y con mayor actividad de puertos y/o aeropuertos.

*Tabla 21. Distancia puerto-aeropuerto para las principales ciudades del país.*

<b>Ciudad</b>	<b>Aeropuerto</b>	<b>Puerto</b>	<b>Distancia [Km]</b>
Bogotá	4.700843483645527, -74.1462259489281	-	-
Medellín	6.170783028860571, -75.42771504892121	Turbo, Antioquia. Latitud norte 8.081617004307107, - Longitud 76.72320964502269	206.09
Cali	3.536206934829313, -76.38769026797836	Buenaventura 3.8911828707315284, - 77.08083272855659	86.41
Cartagena	10.446093421302567, -75.5164754605313	10.406332236365493, - 75.5284170427762	4.62
Barranquilla	10.886389791706858, -74.77656483354251	10.9665086604526, - 74.76083131321306	8.97

Ciudad	Aeropuerto	Puerto	Distancia [Km]
Leticia	- 4.1915607357078475, -69.94051337062818	-4.2154589228150625, - 69.94511621407244	1.98
San Andrés	12.585812731420924, -81.7021899893457	12.551142085867491, - 81.7012263910467	3.91km

Ya identificadas las estaciones terrenas, puertos y aeropuertos se procede a la selección de escenarios, para esto se tendrán en cuenta tres criterios, el primero, es que la locación cuente con los tres servicios en el mismo lugar, la segunda es que entre estos servicios halla la mínima distancia posible para acercarse más a los casos críticos de interferencia, y por último es que en estas locaciones los barcos y aeronaves tengan comunicación satelital por banda Ku.

Teniendo en cuenta estos criterios se decidió elegir dos lugares, siguiendo las directrices del párrafo anterior se procedió a realizar un cuadro de distancias entre aeropuerto y estación terrena, de la misma manera que otro para puertos y estaciones terrenas.

**Tabla 22. Distancias entre aeropuerto y estación terrena más cercana.**

Ciudad	Aeropuerto	Estación Terrena	Distancia [Km]
Bogotá	4.700843483645527, - 74.1462259489281	4.693685831633263, - 74.07297669493448	8,20
Medellín	6.170783028860571, - 75.42771504892121	6.237273866790282, - 75.55625215052189	16
Cali	3.536206934829313, - 76.38769026797836	3.4897442421691047, -76.48810820105068	12,30
Cartagena	10.446093421302567, - 75.5164754605313	10.387813109609986, -75.44500430689193	10,06
Barranquilla	10.886389791706858, - 74.77656483354251	10.992500856524995, -74.84029445158622	13,72
Leticia	-4.1915607357078475, -69.94051337062818	-4.1915607357078475, -69.94051337062818	0,85
San Andrés	12.585812731420924, - 81.7021899893457	12.575646, -81.704765	1,20

**Tabla 23. Distancias entre puerto y estación terrena más cercana.**

Ciudad	Estación Terrena	Puerto	Distancia [Km]
Bogotá	4.693685831633263, -74.07297669493448	-	-
Medellín	6.237273866790282, -75.55625215052189	Turbo, Antioquia. Latitud norte 8.081617004307107, -Longitud 76.72320964502269	240

Ciudad	Estación Terrena	Puerto	Distancia [Km]
Cali	3.4897442421691047, -76.48810820105068	Buenaventura 3.8911828707315284, -77.08083272855659	78,86
Cartagena	10.387813109609986, -75.44500430689193	10.406332236365493, -75.5284170427762	9,35
Barranquilla	10.992500856524995, -74.84029445158622	10.9665086604526, -74.76083131321306	8,91
Leticia	- 4.1915607357078475, -69.94051337062818	- 4.2154589228150625, -69.94511621407244	1,81
San Andrés	12.575646, -81.704765	12.551142085867491, -81.7012263910467	2,53

### 3.1.2 Priorización de locaciones.

De esta manera se descartan Cali, Medellín y Bogotá por no poseer puertos en su área metropolitana, por otra parte, se descarta Leticia por tener en su mayoría lanchas y barcos fluviales pequeños que generalmente no poseen comunicaciones satelitales.

Restando Cartagena Barranquilla, Santa Marta y San Andrés se procede a descartar estas locaciones por distancia a la estación terrena por lo quedan fuera Barranquilla y Santa Marta.

Teniendo en cuenta la información suministrada en el numeral anterior se establecieron dos locaciones para realizar las simulaciones de esta investigación, teniendo en cuenta que contara con puerto y aeropuerto y descartando por cercanía entre estos y la estación terrena, por lo cual las locaciones seleccionadas fueron la isla de San Andrés y Cartagena.

A partir de la priorización de los puntos anteriores se seleccionaron tres escenarios dependiendo del servicio interferente y afectado en dos ubicaciones, Cartagena y San Andrés.

### 3.2 Criterios: parámetros, umbrales

Se determinó realizar el análisis en dos ciudades de Colombia, que pertenecen a la región caribe: San Andrés islas, y Cartagena esto debido a que se encuentran cercanas a puertos marítimos; en ellas se tuvo en cuenta tres escenarios a simular y analizar.

*Tabla 24. Definición de escenarios.*

Escenario 1	BT    TB, TA
Escenario 2	BT    TA
Escenario 3	BT    TB

Figura o factor de ruido es la degradación de la relación señal/ruido provocado por el dispositivo, factor que para las simulaciones se usó de un valor de 5 dB

El piso de ruido es el nivel de ruido residual de un sistema de instrumentación, factor que para las simulaciones se usó de un valor de 110 dBm.

La sensibilidad se define como el mínimo nivel de señal a la entrada del receptor, es decir el satélite para la demodulación y la escucha de audio de la señal recibida la cual se usó de BER  $10^{-3}$ - 80dBm.

En la Tabla 25. se describen los valores de los umbrales de los parámetros que nos permitieron evaluar el nivel de interferencia (perjudicial, aceptada y admisible) y los intervalos de operación recomendados para cada uno de ellos en el análisis de las simulaciones.

*Tabla 25. Umbrales de parámetros de evaluación de las simulaciones.*

Parámetro	Umbrales			Referencia
	Perjudicial	Aceptada	Admisible	
<b>TD</b>	TD>1	0<TD<1	TD=0	Acuerdo HCM Anexo #9
<b>I/N</b>	I/N > -6.5 dB	-12.2 dB < I/N < -6.5 dB	I/N < -12.2dB	Rec UIT-R S.1432 (ITU, 2006)
<b>C/I</b>	C/I < 17dB	17 dB < C/I < 20 dB	20 dB < C/I	Rec UIT-R S.1432 (ITU,2006) UIT-R S.1328-4 (UIT-R, 2002)
<b>C/N+I</b>	C/N+I < 5 dB	5 dB < C/N+I < 12 dB	12 dB < C/N+I	UIT-R S.1328-4 (UIT-R, 2002)

Para el parámetro TD (Threshold Degradation), que se define como el nivel mínimo de señal deseada en el receptor para una buena calidad de señal recibida. En presencia de señal interferente este nivel debe aumentar para preservar la misma calidad de recepción, el TD permitido causado por la interferencia de una estación fija extranjera no debe exceder 1 dB, para valores entre 0 y 1 se considera un tipo de interferencia aceptada e interferencia perjudicial para valores mayores que 1 (HCM, 2017), este umbral es recomendado en el HCM (Harmonised Calculation Method).

Para el cálculo TD se aplica la ecuación (7) (HCM, 2017).

$$TD = 10 \log \left( 1 + 10^{\frac{I-N}{10}} \right) \quad (7)$$

Donde:

$I$  (dBW): Nivel de potencia interferente en el receptor desde una fuente interferente que se observa en la ecuación (8).

$N$  (dBW) o  $KTB$ : Nivel de potencia de ruido en el ancho de banda del receptor.

$$I = P_{TX} + A_{tot} \quad (8)$$

$P_{TX}$ : Potencia radiada del transmisor interferente.

$A_{tot}$ : Atenuación entre la salida del transmisor y la entrada del receptor.

## Capítulo 4: Resultados.

### 4.1. San Andrés

En la Tabla 26, Tabla 28 y Tabla 30 se presentan los resultados de las variables TD para cada escenario en San Andrés, en la cual, sus filas representan el ancho de banda y sus columnas las distancias a las que se encuentran los interferentes del enlace primario de la banda.

*Tabla 26. Formato de resultados con parámetro de evaluación TD para San Andrés Escenario 1.*

TD (dB)	Distancia (Km)								
BW (MHz)	5	10	20	30	40	50	60	70	80
3,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
14	0,37	0,36	0,35	0,33	0,32	0,30	0,29	0,27	0,26
28	1,16	1,15	1,12	1,10	1,08	1,06	1,03	1,01	0,98
56	2,02	2,01	2,00	1,98	1,96	1,95	1,93	1,91	1,88

Para el caso de la Tabla 26 se observa como a medida que aumenta el ancho de banda va aumentando el valor de TD, de tal forma que solo se encuentra en el umbral admisible el ancho de banda de 3.5 MHz, además se ve que a medida que disminuye la distancia entre los interferentes respecto al enlace primario, se va obteniendo también un mayor valor de TD.



**Tabla 27. Agrupación de ancho de banda y distancias de interferentes San Andrés Escenario 1.**

Rango	Distancia
14 MHz – 28 MHz	80Km
3.5 MHz – 14 MHz	70Km
3.5 MHz – 14 MHz	60Km
3.5 MHz – 14 MHz	50Km
3.5 MHz – 14 MHz	40Km
3.5 MHz – 14 MHz	30Km
3.5 MHz – 14 MHz	20Km
3.5 MHz – 14 MHz	10Km
3.5 MHz – 14 MHz	5Km

Según los valores registrados en la Tabla 26 del parámetro TD en función del ancho de banda y las distancias entre el interferente y el enlace primario se realizó la agrupación de anchos de banda respecto a la distancia que se encuentren en el umbral mínimo aceptable definido en la Tabla 25.

**Tabla 28. Formato de resultados con parámetro de evaluación TD para San Andrés Escenario 2.**

TD (dB)	Distancia (Km)								
	5	10	20	30	40	50	60	70	80
<b>BW</b>									
<b>3,5</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>7</b>	0,37	0,36	0,35	0,33	0,32	0,31	0,29	0,27	0,26
<b>14</b>	1,17	1,14	1,12	1,10	1,06	1,04	1,02	0,98	0,97
<b>28</b>	1,45	1,42	1,41	1,39	1,37	1,33	1,32	1,28	1,24
<b>56</b>	1,75	1,73	1,69	1,67	1,62	1,60	1,58	1,56	1,54

Para el caso de la Tabla 28 se observa como a medida que aumenta el ancho de banda va aumentando el valor de TD, de tal forma que solo se encuentra en el umbral admisible el ancho de banda de 3.5 MHz, además se ve que a medida que disminuye la distancia entre los interferentes respecto al enlace primario, se va obteniendo también un mayor valor de TD, y respecto a los resultados que se observa en la Tabla 26 podemos darnos cuenta que se encuentra una mayor cantidad de datos en el umbral perjudicial en el escenario dos que en el escenario uno.

**Tabla 29. Agrupación de ancho de banda y distancias de interferentes San Andrés Escenario 2.**

Rango	Distancia
7 MHz – 14 MHz	80Km
7 MHz – 14 MHz	70Km
3.5 MHz – 7 MHz	60Km
3.5 MHz – 7 MHz	50Km
3.5 MHz – 7 MHz	40Km
3.5 MHz – 7 MHz	30Km
3.5 MHz – 7MHz	20Km
3.5 MHz – 7 MHz	10Km
3.5 MHz – 7 MHz	5Km

Según los valores registrados en la Tabla 28 del parámetro TD en función del ancho de banda y las distancias entre el interferente y el enlace primario se realizó la agrupación de anchos de banda respecto a la distancia que se encuentren en el umbral mínimo aceptable definido en la Tabla 25.

**Tabla 30. Formato de resultados con parámetro de evaluación TD para San Andrés Escenario 3.**

TD (dB)	Distancia (Km)								
	5	10	20	30	40	50	60	70	80
<b>BW</b>									
<b>3,5</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>7</b>	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09
<b>14</b>	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	15,27	0,12	0,12	0,11
<b>28</b>	0,19	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13
<b>56</b>	0,20	0,19	0,18	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13

Para el caso de la Tabla 30 se observa como a medida que aumenta el ancho de banda va aumentando el valor de TD, de tal forma que solo se encuentra en el umbral admisible el ancho de banda de 3.5 MHz, además se ve que a medida que disminuye la distancia entre los interferentes respecto al enlace primario, se va obteniendo también un mayor valor de TD, y respecto a los resultados que se observan en la Tabla 26 y la Tabla 28 se evidencia que se encuentra una mayor cantidad de datos en el umbral perjudicial en el escenario dos que en el escenario uno y el escenario tres, dando así por conclusión que el escenario más crítico para la ciudad de San Andrés es el escenario tres.

**Tabla 31. Agrupación de ancho de banda y distancias de interferentes San Andrés Escenario 3.**

<b>Rango</b>	<b>Distancia</b>
<b>3.5 MHz – 56 MHz</b>	80Km
<b>3.5 MHz – 56 MHz</b>	70Km
<b>3.5 MHz – 56 MHz</b>	60Km
<b>3.5 MHz – 56 MHz</b>	50Km
<b>3.5 MHz – 56 MHz</b>	40Km
<b>3.5 MHz – 56 MHz</b>	30Km
<b>3.5 MHz – 56 MHz</b>	20Km
<b>3.5 MHz – 56 MHz</b>	10Km
<b>3.5 MHz – 56 MHz</b>	5Km

Según los valores registrados en la Tabla 30 del parámetro TD en función del ancho de banda y las distancias entre el interferente y el enlace primario se realizó la agrupación de anchos de banda respecto a la distancia que se encuentren en el umbral mínimo aceptable definido en la Tabla 25.

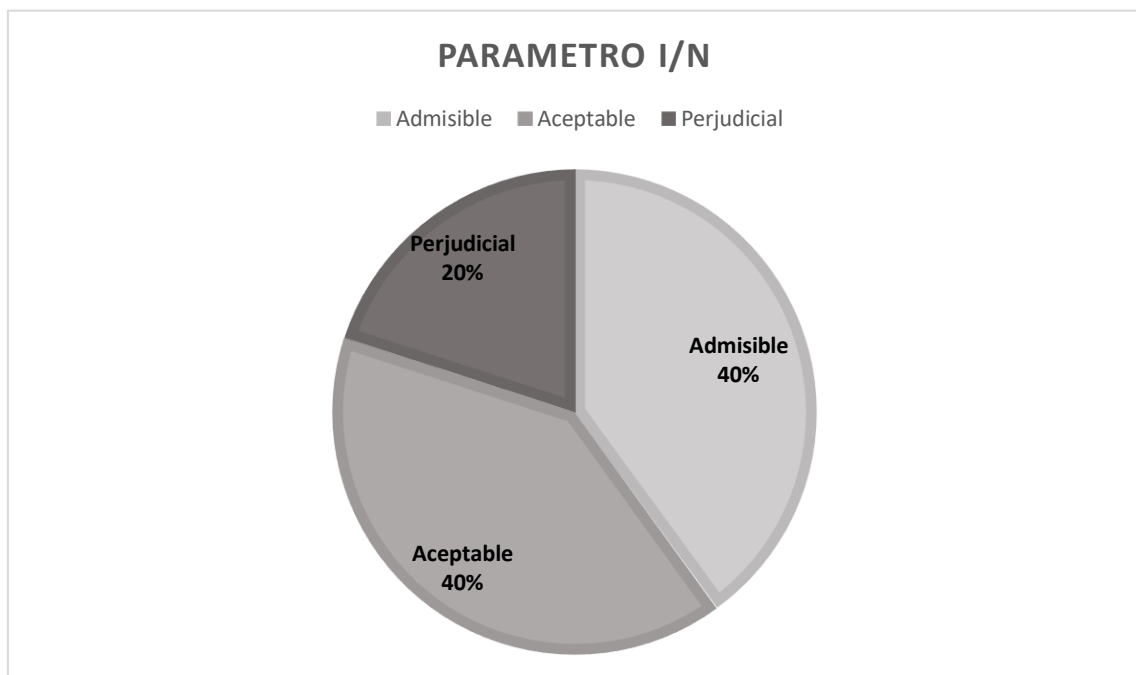
Para el parámetro I/N teniendo en cuenta la Tabla 25. Se obtiene la siguiente clasificación de los datos obtenidos en la simulación realizada en el software SeamCat.

Para la Tabla 32, se observa como a medida que aumenta el ancho de banda se tienen valores perjudiciales para el parámetro de relación de interferencia a ruido, donde además también se ve que a medida que aumenta la distancia de los interferentes respecto al enlace primario se obtiene un valor menor del parámetro de relación de interferencia a ruido, en donde se evidencia el umbral admisible en los anchos de bandas de 3,5 y 7 MHz, teniendo como referencia una distancia mínima de 5Km entre el enlace primario y los interferentes, que para este escenario son el enlace primario SFS, y los interferentes los enlaces de las aeronaves y barcos, además se observa en la tabla que los anchos de bandas de 14 y 28 MHz se encuentran en el umbral aceptado también partiendo con una distancia mínima de 5Km, por lo que se realiza un enlace SFS con ese ancho de banda sin tener interferencia, además se ve los valores en el ancho de banda de 56 MHz, los cuales se encuentran en el umbral perjudicial, con esto se deduce que el ancho de banda de 56 MHz no es apto para utilizar a la hora de realizar un enlace SFS, ya que al tener como interferentes los enlaces de las aeronaves y barcos sin importar la distancia no se es posible realizar una comunicación con el satélite.

**Tabla 32. Formato de resultados con parámetro de evaluación I/N para San Andrés Escenario 1.**

I/N (dB)	Distancia (Km)									
	5	10	20	30	40	50	60	70	80	
<b>3,5</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-23,3
	22,75	22,78	22,84	22,89	22,97	23,04	23,11	23,19		
<b>7</b>	-	-13,3	-	-	-	-	-	-	-	-
	13,25		13,34	13,41	13,48	13,56	13,63	-13,7		13,78
<b>14</b>	-	-	-	-	-	-10,6	-	-	-	-
	10,25	10,32	10,38	10,46	10,52		10,68	10,77		10,85
<b>28</b>	-7,25	-7,31	-7,4	-7,48	-7,54	-7,61	-7,69	-7,78		-7,88
<b>56</b>	-4,25	-4,28	-4,32	-4,39	-4,45	-4,51	-4,58	-4,66		-4,75

En la Figura 14 se observa de forma porcentual la cantidad de datos recopilados para el parámetro I/N en el escenario uno en la ciudad de San Andrés, y su respectiva clasificación respecto a la Tabla 25, observando el porcentaje crítico que se obtiene al realizar un enlace SFS, mientras se tiene como interferentes los enlaces de las aeronaves y barcos.



**Figura 14. Porcentajes de valores relación interferencia/ruido (I/N) en San Andrés Escenario 1.**

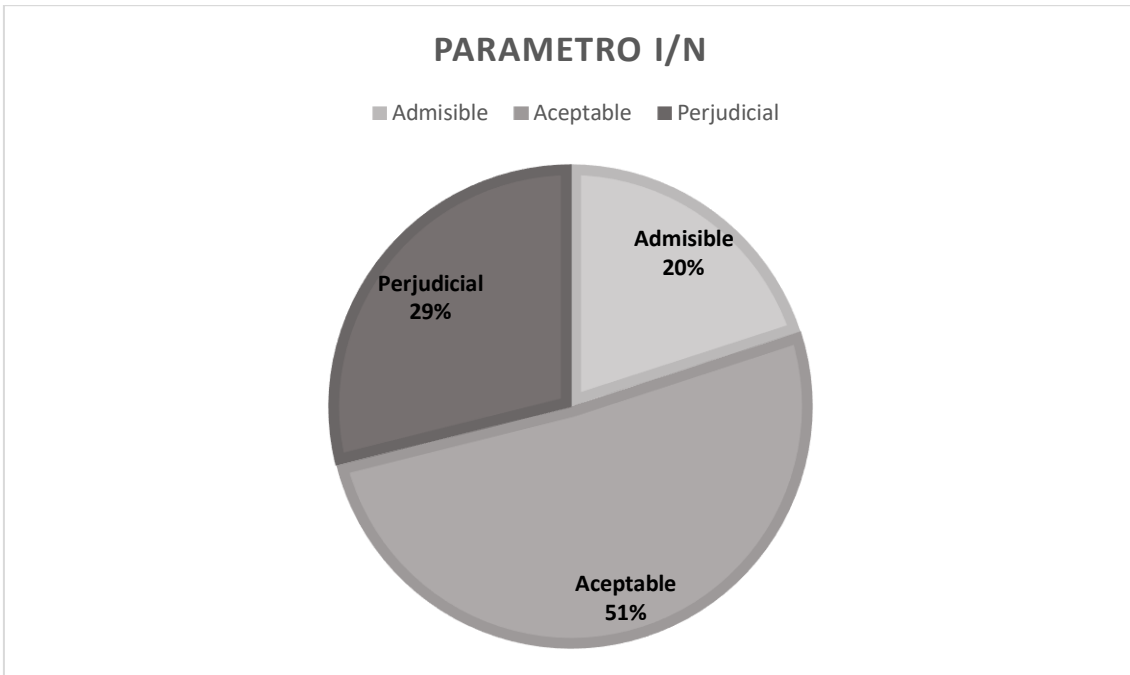
Para la Tabla 33, se observa como a medida que aumenta el ancho de banda se tienen valores perjudiciales para el parámetro de relación de interferencia a ruido, donde además también se ve que a medida que aumenta la distancia de los

interferentes respecto al enlace primario se obtiene un valor menor del parámetro de relación de interferencia a ruido, en donde se encuentra el umbral admisible el ancho de banda de 3,5 MHz, teniendo como referencia una distancia mínima de 5Km entre el enlace primario y los interferentes, que para este escenario el enlace primario SFS, y los interferentes los enlaces de las aeronaves, además se observa en la tabla que los anchos de bandas de 7 y 14 MHz se encuentran en el umbral aceptado también partiendo con una distancia mínima de 5Km, por lo que se puede realizar un enlace SFS con ese ancho de banda sin tener interferencia, además se observa un caso más crítico, respecto al ancho de banda de 28 MHz, ya que como se observa en la tabla se registraron valores en la simulación, en los que si la distancia es mayor a 40Km entre el enlace primario y los interferentes, se encuentra en el umbral aceptable, pero si la distancia entre el enlace primario y los interferentes es menor a 40 Km se encuentra en el umbral perjudicial, es decir no se podría establecer un enlace SFS con éxito, ya que se tendría interferencia, además se pueden ver los valores en el ancho de banda de 56 MHz, los cuales se encuentran en el umbral perjudicial, con esto se deduce que el ancho de banda de 56 MHz no es apto para utilizar a la hora de realizar un enlace SFS, ya que al tener como interferentes los enlaces de las aeronaves y barcos sin importar la distancia no se puede realizar una comunicación con el satélite.

**Tabla 33. Formato de resultados con parámetro de evaluación I/N para San Andrés Escenario 2.**

I/N (dB)	Distancia (Km)								
	5	10	20	30	40	50	60	70	80
<b>BW</b>									
<b>3,5</b>	- 19,74	-19,8	- 19,87	- 19,94	- 19,99	- 20,03	- 20,11	- 20,17	- 20,24
<b>7</b>	- 10,24	- 10,31	- 10,37	- 10,44	- 10,51	- 10,59	- 10,67	- 10,78	- 10,84
<b>14</b>	-7,24	-7,33	-7,41	-7,48	-7,59	-7,66	-7,74	-7,88	-7,92
<b>28</b>	-6,3	-6,38	-6,42	-6,48	-6,57	-6,68	-6,74	-6,87	-6,99
<b>56</b>	-5,24	-5,33	-5,46	-5,54	-5,69	-5,78	-5,84	-5,91	-5,98

En la Figura 15 se observa de forma porcentual la cantidad de datos recopilados para el parámetro I/N en el escenario dos en la ciudad de San Andrés, y su respectiva clasificación respecto a la Tabla 25, observando el porcentaje crítico que se obtiene al realizar un enlace SFS, mientras se tiene como interferentes los enlaces de las aeronaves.



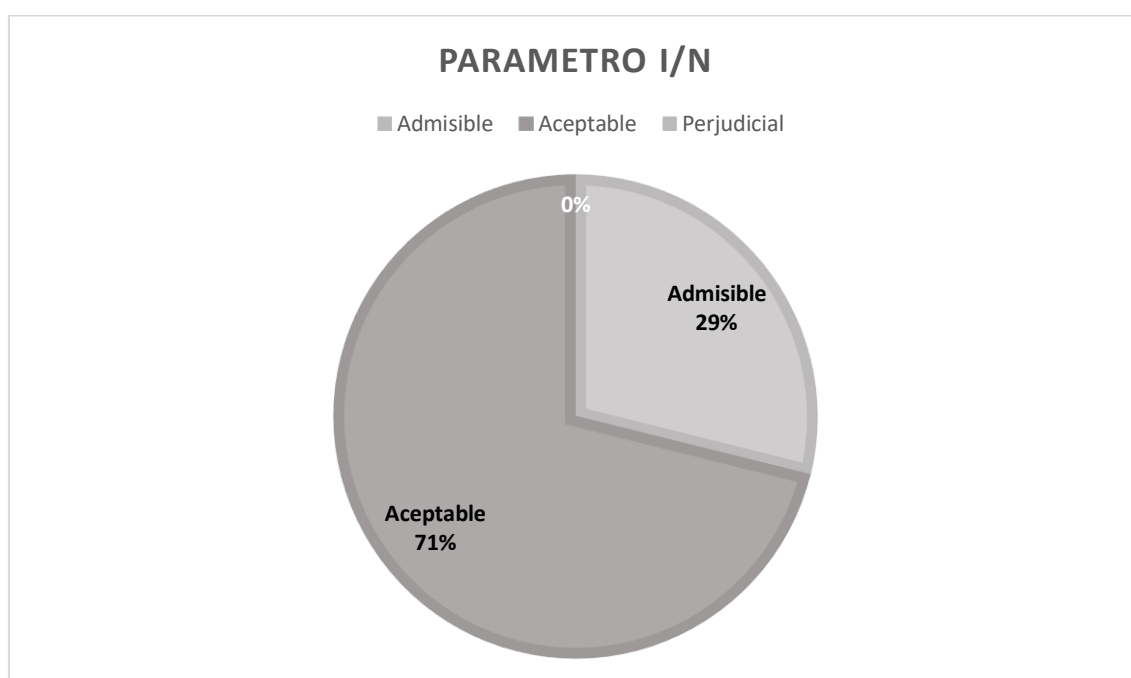
*Figura 15. Porcentajes de valores relación interferencia/ruido (I/N) en San Andrés Escenario 2.*

Para la Tabla 34, se observa como a medida que aumenta el ancho de banda se tienen valores perjudiciales para el parámetro de relación de interferencia a ruido, donde además también se puede ver que a medida que aumenta la distancia de los interferentes respecto al enlace primario se tiene un valor menor al del parámetro de relación de interferencia a ruido, en donde podemos decir que encontramos en el umbral admisible el ancho de banda de 3,5 MHz, teniendo como referencia una distancia mínima de 5Km entre el enlace primario y los interferentes, que para este escenario sería el enlace primario el enlace SFS, y los interferentes los enlaces de las aeronaves, además se logra observar en la tabla que el ancho de banda de 7 MHz es un caso más crítico ya que como se observa en la tabla se registraron valores regulares de la simulación, en los que si la distancia es mayor a 50Km entre el enlace primario y los interferentes, se encuentra en el umbral admisible, pero si la distancia entre el enlace primario y los interferentes es menor a 50 Km se encuentra en el umbral aceptable, y para los casos de ancho de banda de 14, 28 y 56 MHz se encuentran en el umbral aceptable, teniendo en cuenta una distancia mínima entre el enlace primario y los interferentes de 5Km, con base a estas deducciones se puede concluir que para el escenario tres en la ciudad de San Andrés no se tendría problemas de interferencia en el enlace SFS, mientras el enlace de los barcos se encuentren a una distancia de 5Km.

**Tabla 34. Formato de resultados con parámetro de evaluación I/N para San Andrés Escenario 3.**

I/N (dB)	Distancia (Km)								
	5	10	20	30	40	50	60	70	80
<b>3,5</b>	- 18,08	- 18,14	- 18,21	- 18,28	- 18,36	- 18,45	- 18,54	- 18,66	- 18,74
<b>7</b>	- 11,62	- 11,68	- 11,77	- 11,84	- 11,97	- 12,04	- 12,12	- 12,18	- 12,27
<b>14</b>	- 11,41	- 11,46	- 11,54	- 11,63	- 11,74	- 11,82	- 11,89	- 11,94	- 12,03
<b>28</b>	- 11,31	- 11,36	- 11,42	- 11,49	- 11,54	- 11,62	-11,7	- 11,79	- 11,85
<b>56</b>	- 11,26	- 11,31	- 11,38	- 11,43	- 11,49	- 11,56	- 11,63	- 11,71	- 11,82

En la Figura 16 se observa en un diagrama de torta los datos recopilados para el parámetro I/N en el escenario tres en la ciudad de San Andrés, y su respectiva clasificación respecto a la Tabla 25, observando el porcentaje crítico que se obtiene al realizar un enlace SFS, mientras se tiene como interferentes los enlaces de los barcos.



**Figura 16. Porcentajes de valores relación interferencia/ruido (I/N) en San Andrés Escenario 3.**

Para la Tabla 35, se observa como a medida que aumenta el ancho de banda se tienen valores perjudiciales para el parámetro de relación de portadora a interferencia, donde además también se puede ver que a medida que aumenta

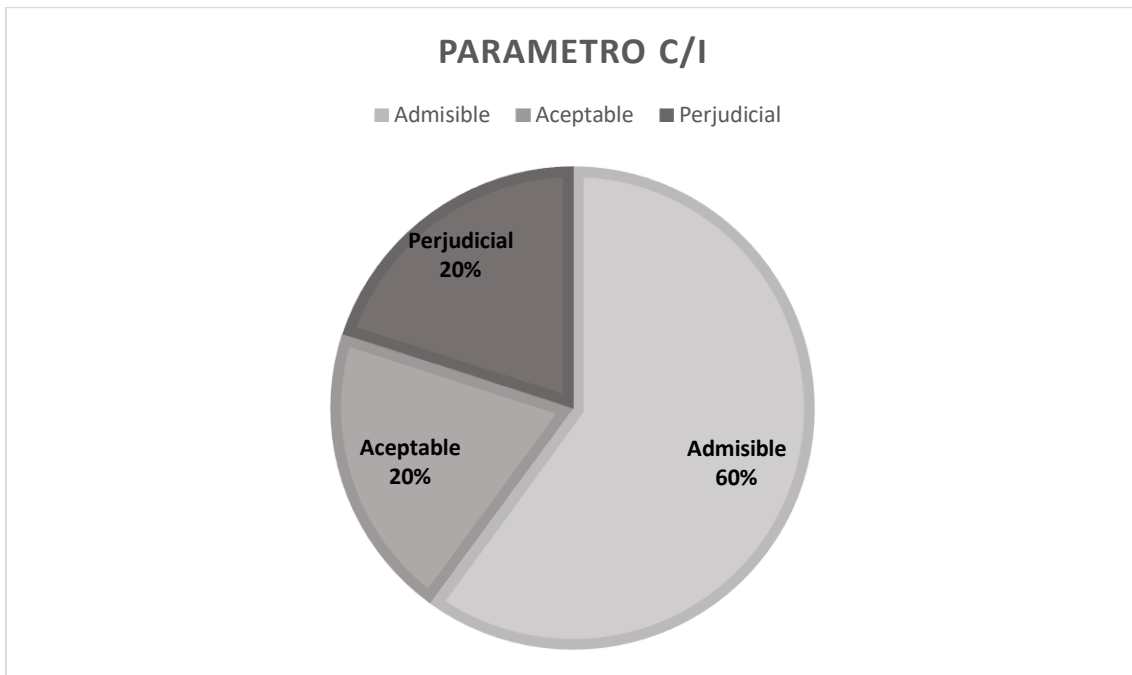
la distancia de los interferentes respecto al enlace primario se reduce el valor del parámetro de relación de interferencia a ruido, en donde se encuentra el umbral admisible los anchos de bandas de 3.5, 7 y 14 MHz, teniendo como referencia una distancia mínima de 5Km entre el enlace primario y los interferentes, que para este escenario sería el enlace primario el enlace SFS, y los interferentes los enlaces de las aeronaves y barcos, además se observa en la tabla que los anchos de bandas de 28 MHz se encuentran en el umbral aceptado también partiendo con una distancia mínima de 5Km, por lo que se puede realizar un enlace SFS con ese ancho de banda sin tener interferencia, además se pueden ver los valores en el ancho de banda de 56 MHz, los cuales se encuentran en el umbral perjudicial, con esto se puede deducir que el ancho de banda de 56 MHz no sería apto para utilizar a la hora de realizar un enlace SFS, ya que al tener como interferentes los enlaces de las aeronaves y barcos sin importar la distancia no se podría realizar una comunicación con el satélite.

**Tabla 35. Formato de resultados con parámetro de evaluación C/I para San Andrés Escenario 1.**

<b>C/I (dB)</b>	<b>Distancia (Km)</b>								
	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>	<b>80</b>
<b>3,5</b>	39,33	39,39	39,52	39,72	39,88	40,03	40,14	40,24	40,36
<b>7</b>	23,37	23,47	23,56	23,71	23,91	24,1	24,31	24,51	24,72
<b>14</b>	20,16	20,34	20,47	20,62	20,81	21,07	21,31	21,64	21,84
<b>28</b>	17,06	17,21	17,38	17,54	17,69	18	18,23	18,57	18,83
<b>56</b>	14,01	14,15	14,28	14,42	14,57	14,83	15,09	15,39	15,65

En la Figura 17 se observa de forma porcentual la cantidad de datos recopilados para el parámetro C/I en el escenario uno en la ciudad de San Andrés, y su respectiva clasificación respecto a la Tabla 25, observando el porcentaje crítico que se obtiene al realizar un enlace SFS, mientras se tiene como interferentes los enlaces de las aeronaves y barcos.





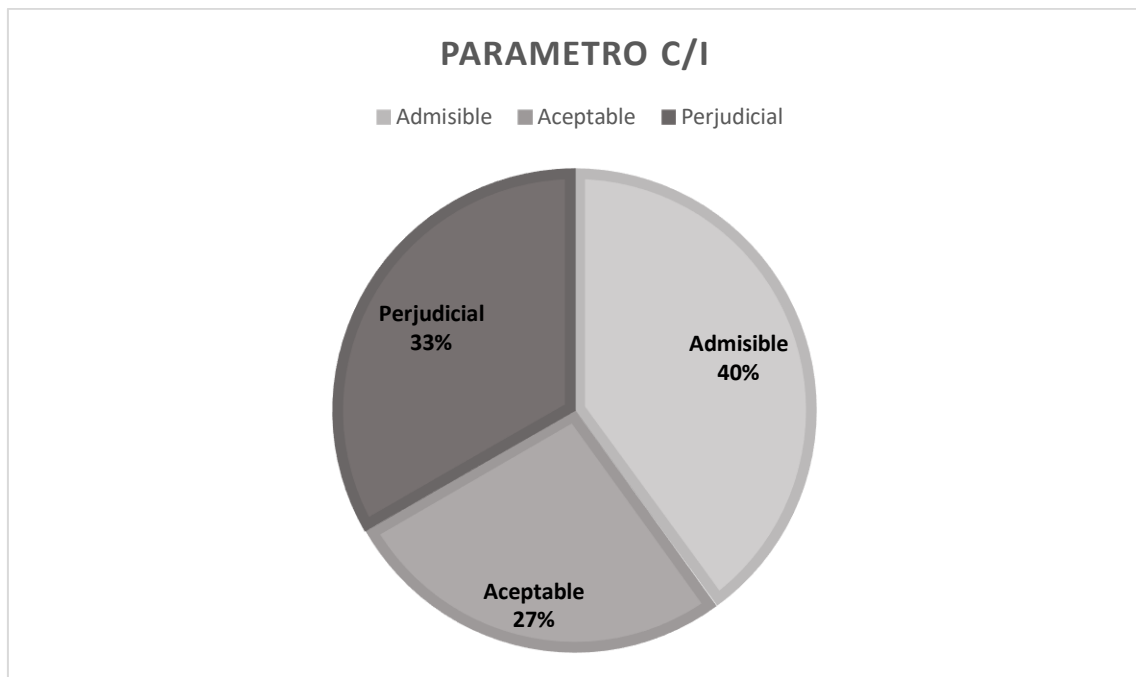
**Figura 17. Porcentajes de valores relación portadora/interferencia (C/I) en San Andrés Escenario 1.**

Para la Tabla 36, se puede observar como a medida que aumenta el ancho de banda se tienen valores perjudiciales para el parámetro de relación de portadora a interferencia, donde además también se puede ver que a medida que aumenta la distancia de los interferentes respecto al enlace primario se reduce el valor parámetro de relación de interferencia a ruido, en donde se puede decir que encontramos en el umbral admisible el ancho de banda de 3,5 y 7 MHz, teniendo como referencia una distancia mínima de 5Km entre el enlace del primario y los interferentes, que para este escenario el primario sería el enlace SFS, y los interferentes los enlaces de las aeronaves, además se observar en la tabla que los anchos de bandas de 14 MHz se encuentran en el umbral aceptado también partiendo con una distancia mínima de 5Km, por lo que se puede realizar un enlace SFS con ese ancho de banda sin tener interferencia, además se puede observar un caso más crítico, respecto al ancho de banda de 28 MHz, ya que como se observa en la tabla se registraron valores en la simulación, en los que si la distancia es mayor a 60Km entre el primario y los interferentes, se encuentra en el umbral aceptable, pero si la distancia entre el enlace primario y los interferentes es menor a 60 Km se encuentra en el umbral perjudicial, es decir no se podría establecer un enlace SFS con éxito, ya que se tendría interferencia, además se pueden ver los valores en el ancho de banda de 56 MHz, los cuales se encuentran en el umbral perjudicial, con esto se puede deducir que el ancho de banda de 56 MHz no sería apto para utilizar a la hora de realizar un enlace SFS, ya que al tener como interferentes los enlaces de las aeronaves y barcos sin importar la distancia no se podría realizar una comunicación con el satélite.

**Tabla 36. Formato de resultados con parámetro de evaluación C/I para San Andrés Escenario 2.**

C/I (dB)	Distancia (Km)								
	5	10	20	30	40	50	60	70	80
<b>BW</b>									
<b>3,5</b>	36,37	36,45	36,56	36,71	36,84	36,94	37,12	37,23	37,4
<b>7</b>	20,41	20,51	20,66	20,81	20,96	21,17	21,39	21,58	21,77
<b>14</b>	17,2	17,32	17,49	17,63	17,82	17,99	18,2	18,48	18,7
<b>28</b>	16,16	16,35	16,46	16,58	16,74	16,96	17,15	17,4	17,63
<b>56</b>	15,05	15,23	15,44	15,6	15,8	15,96	16,07	16,22	16,41

En la Figura 18 se observan los datos recopilados para el parámetro C/I en el escenario dos en la ciudad de San Andrés, y su respectiva clasificación respecto a la Tabla 25, observando el porcentaje crítico que se obtiene al realizar un enlace SFS, mientras se tiene como interferentes los enlaces de las aeronaves y barcos.



**Figura 18. Porcentajes de valores relación portadora/interferencia (C/I) en San Andrés Escenario 2.**

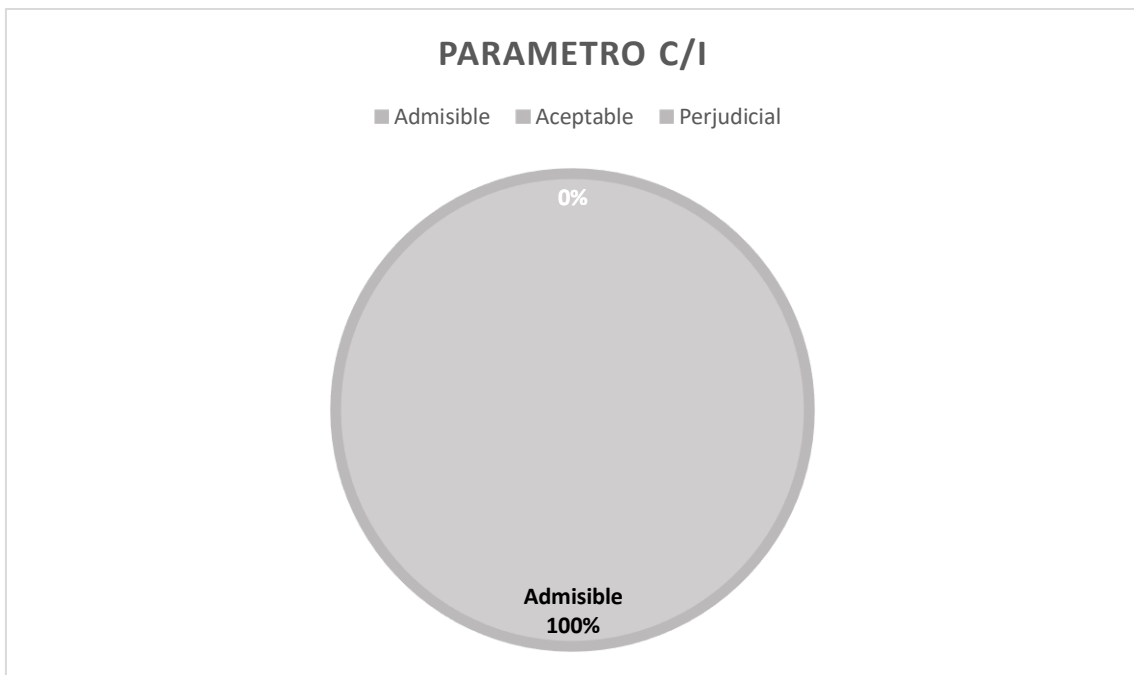
Para la Tabla 37, se observa como a medida que aumenta el ancho de banda se tienen valores perjudiciales para el parámetro de relación de portadora a interferencia, donde además también se puede ver que a medida que aumenta la distancia de los interferentes respecto al enlace primario se reduce el valor del parámetro de relación de interferencia a ruido, en donde podemos decir que encontramos en el umbral admisible los anchos de bandas de 3.5, 7, 14, 28 y 56 MHz, teniendo como referencia una distancia mínima de 5Km entre el enlace

primario y los interferentes, que para este escenario sería el enlace primario el enlace SFS, y los interferentes los enlaces de las aeronaves y barcos, por lo que se puede realizar un enlace SFS con ese ancho de banda sin tener interferencia.

**Tabla 37. Formato de resultados con parámetro de evaluación C/I para San Andrés Escenario 3.**

C/I (dB)	Distancia (Km)									
	BW	5	10	20	30	40	50	60	70	80
3,5		34,685	34,77	34,895	35,08	35,24	35,4	35,56	35,715	35,85
7		21,765	21,865	22,025	22,175	22,41	22,6	22,82	22,985	23,205
14		21,345	21,465	21,625	21,785	22	-1,42	22,435	22,675	22,915
28		21,145	21,295	21,43	21,57	21,7	21,955	22,175	22,45	22,645
56		21,045	21,195	21,35	21,475	21,605	21,81	22	22,23	22,485

En la Figura 19 se observan los datos recopilados para el parámetro C/I en el escenario tres en la ciudad de San Andrés, y su respectiva clasificación respecto a la Tabla 25, observando el porcentaje crítico que se obtiene al realizar un enlace SFS, mientras se tiene como interferentes los enlaces de las aeronaves y barcos.



**Figura 19. Porcentajes de valores relación portadora/interferencia (C/I) en San Andrés Escenario 3.**

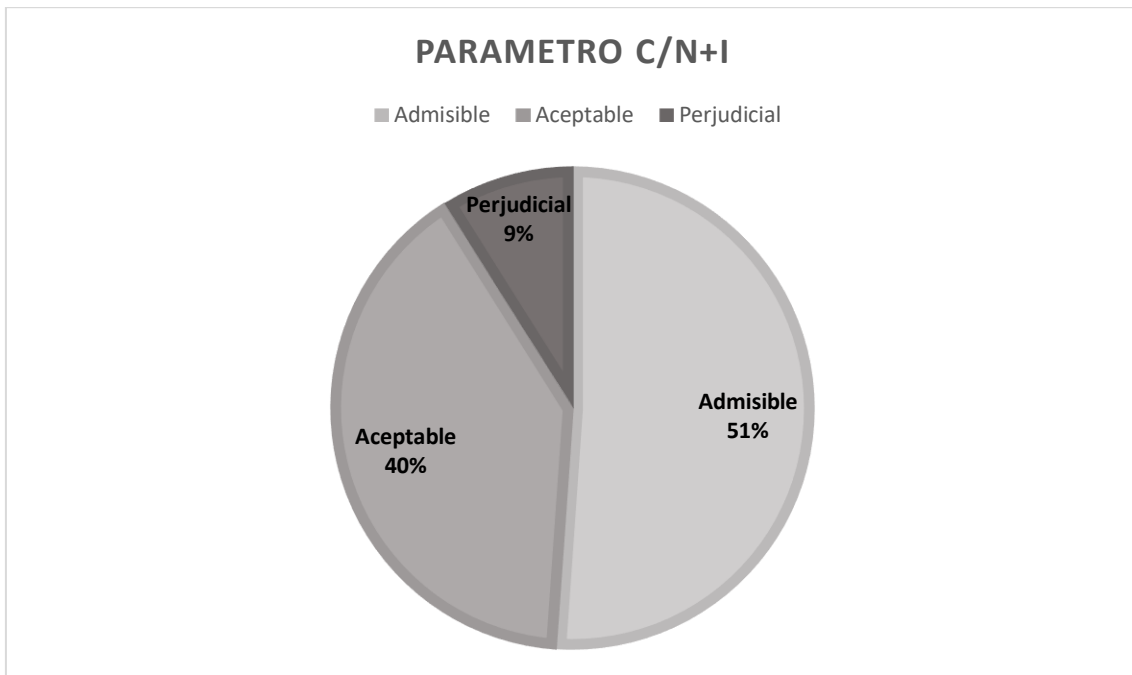
Para la Tabla 38, se observa como a medida que aumenta el ancho de banda se tienen valores perjudiciales para el parámetro de relación de **C/N+I**, donde además también se puede ver que a medida que aumenta la distancia de los interferentes respecto al enlace primario reduce el valor del parámetro de relación de interferencia a ruido, donde se encuentra en el umbral admisible el

ancho de banda de 3,5 y 7 MHz, teniendo como referencia una distancia mínima de 5Km entre el enlace primario y los interferentes, que para este escenario seria el enlace primario el enlace SFS, y los interferentes los enlaces de las aeronaves, además se observa un caso más crítico, respecto al ancho de banda de 14 MHz, ya que como se observa en la tabla se registraron valores en la simulación, en los que si la distancia es mayor a 40Km entre el enlace primario y los interferentes, se encuentra en el umbral admisible, pero si la distancia entre el enlace primario y los interferentes es menor a 40 Km se encuentra en el umbral aceptable por lo que se puede realizar un enlace SFS con ese ancho de banda sin tener interferencia, respecto al ancho de banda de 28 MHz se puede observar que se encuentran en el umbral aceptable, además se pueden ver los valores en el ancho de banda de 56 MHz, que como se observa en la tabla se registraron valores en la simulación, en los que si la distancia es mayor a 40Km entre el enlace primario y los interferentes, se encuentra en el umbral aceptable, pero si la distancia entre el enlace primario y los interferentes es menor a 40 Km se encuentra en el umbral perjudicial.

**Tabla 38. Formato de resultados con parámetro de evaluación C/N+I para San Andrés Escenario 1.**

<b>C/N+I (dB)</b>	<b>Distancia (Km)</b>								
	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>	<b>80</b>
<b>3,5</b>	16	16,39	17,2	17,57	17,78	18,03	18,14	18,26	18,36
<b>7</b>	14	14,47	15,5	15,78	15,94	16,1	16,18	16,21	16,32
<b>14</b>	11	11,34	11,8	11,92	12,1	12,17	12,23	12,27	12,34
<b>28</b>	8	8,21	8,82	8,95	9,09	9,23	9,31	9,37	9,43
<b>56</b>	4	4,15	4,84	4,92	5,15	5,23	5,29	5,34	5,45

En la Figura 20 se observa de forma porcentual la cantidad de datos recopilados para el parámetro C/N+I en el escenario uno en la ciudad de San Andrés, y su respectiva clasificación respecto a la Tabla 25, observando el porcentaje crítico que se obtiene al realizar un enlace SFS, mientras se tiene como interferentes los enlaces de las aeronaves y barcos.



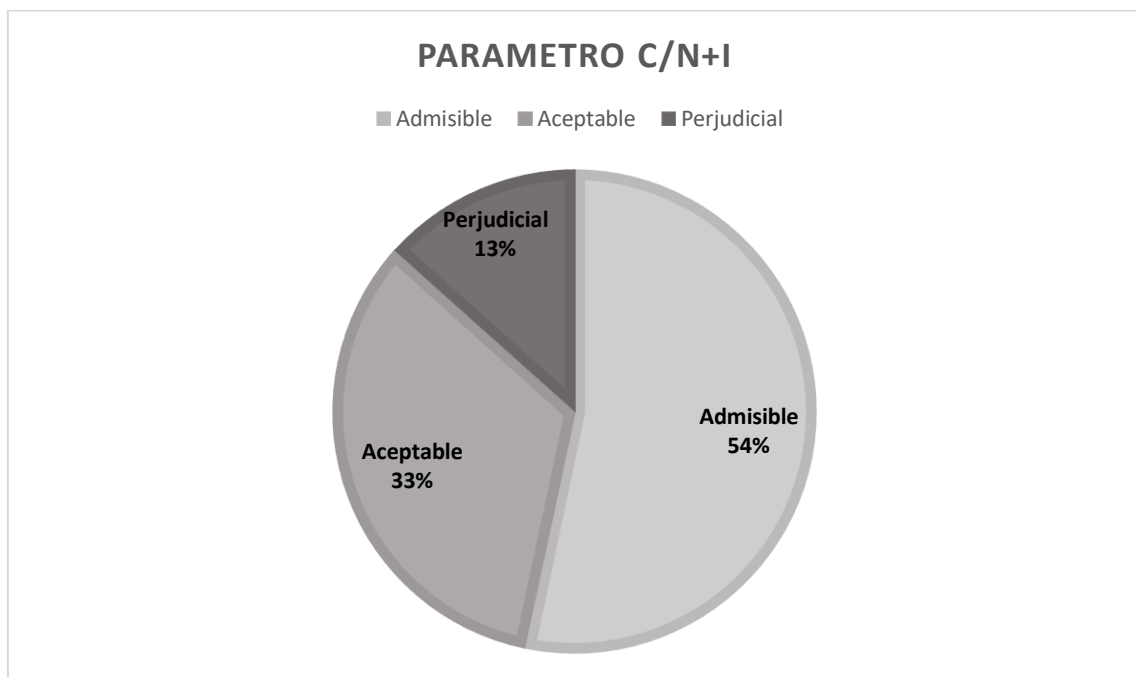
*Figura 20. Porcentajes de valores (C/N+I) en San Andrés Escenario 1.*

Para la Tabla 39, se puede observar como a medida que aumenta el ancho de banda se tienen valores perjudiciales para el parámetro de relación de **C/N+I**, donde además también se puede ver que a medida que aumenta la distancia de los interferentes respecto al enlace primario se reduce el valor del parámetro de relación de interferencia a ruido, donde se encuentra en el umbral admisible el ancho de banda de 3,5 y 7 MHz, teniendo como referencia una distancia mínima de 5Km entre el enlace primario y los interferentes, que para este escenario sería el enlace primario el enlace SFS, y los interferentes los enlaces de las aeronaves, además se puede observar un caso más crítico, respecto al ancho de banda de 14 MHz, ya que como se observa en la tabla se registraron valores en la simulación, en los que si la distancia es mayor a 30Km entre el enlace primario y los interferentes, se encuentra en el umbral admisible, pero si la distancia entre el enlace primario y los interferentes es menor a 30 Km se encuentra en el umbral aceptable por lo que se puede realizar un enlace SFS con ese ancho de banda sin tener interferencia, respecto al ancho de banda de 28 MHz se puede observar que se encuentran en el umbral aceptable, además se pueden ver los valores en el ancho de banda de 56 MHz, que como se observa en la tabla se registraron valores en la simulación, en los que si la distancia es mayor a 60Km entre el enlace primario y los interferentes, se encuentra en el umbral aceptable, pero si la distancia entre el enlace primario y los interferentes es menor a 60 Km se encuentra en el umbral perjudicial.

**Tabla 39. Formato de resultados con parámetro de evaluación C/N+I para San Andrés Escenario 2.**

C/N+I (dB)	Distancia (Km)								
	5	10	20	30	40	50	60	70	80
<b>BW</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>	<b>80</b>
<b>3,5</b>	16,2	16,59	17,12	17,25	17,34	17,66	17,87	18,06	18,17
<b>7</b>	14,7	14,89	15,05	15,38	15,84	16,01	16,14	16,23	16,3
<b>14</b>	11,4	11,79	11,94	12,02	12,14	12,27	12,33	12,42	12,49
<b>28</b>	8,2	8,29	8,72	8,86	8,97	9,03	9,18	9,26	9,35
<b>56</b>	4,4	4,54	4,67	4,72	4,85	4,97	5,09	5,14	5,24

En la Figura 21 se observa de forma porcentual la cantidad de datos recopilados para el parámetro C/N+I en el escenario dos en la ciudad de San Andrés, y su respectiva clasificación respecto a la Tabla 25, observando el porcentaje crítico que se obtiene al realizar un enlace SFS, mientras se tiene como interferentes los enlaces de las aeronaves.



**Figura 21. Porcentajes de valores (C/N+I) en San Andrés Escenario 2.**

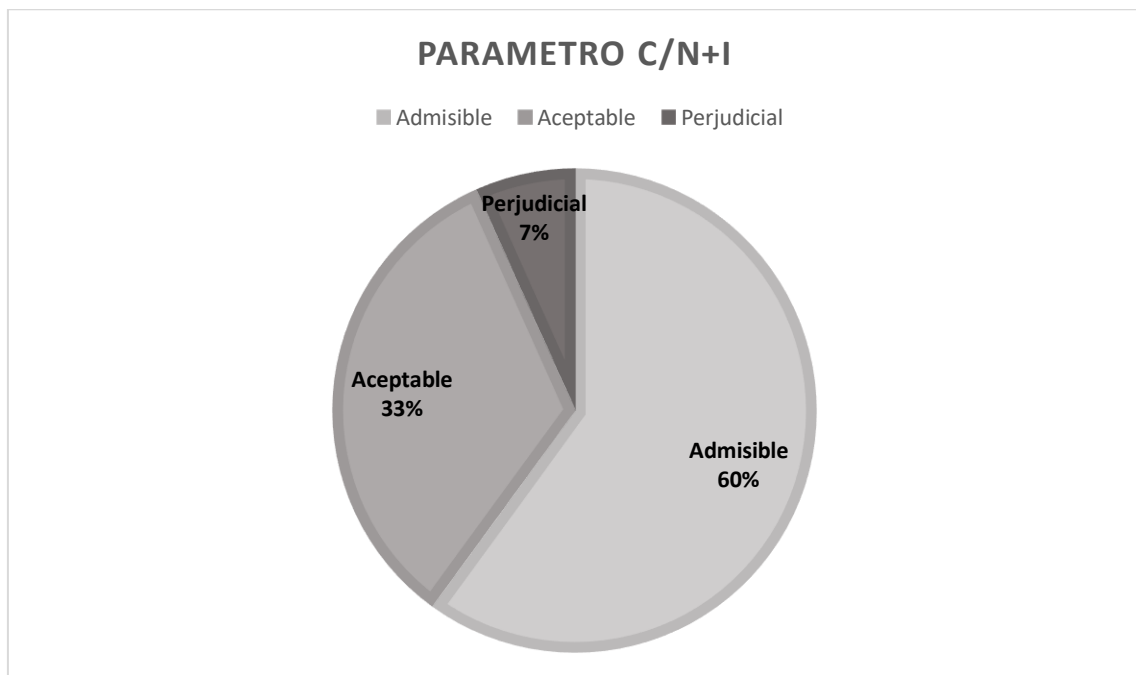
Para la Tabla 40, se puede observar como a medida que aumenta el ancho de banda la relación del criterio pasa a valores perjudiciales para el parámetro de relación de **C/N+I**, donde además también se puede ver que a medida que aumenta la distancia de los interferentes respecto al enlace primario se obtiene reduce el valor del parámetro de relación de interferencia a ruido, en donde podemos decir que encontramos en el umbral admisible el ancho de banda de 3.5, 7 y 14 MHz, teniendo como referencia una distancia mínima de 5Km entre el enlace primario y los interferentes, que para este escenario sería el enlace

primario el enlace SFS, y los interferentes los enlaces de los barcos, respecto al ancho de banda de 28 MHz se puede observar que se encuentran en el umbral aceptable, además se pueden ver los valores en el ancho de banda de 56 MHz, que como se observa en la tabla se registraron valores en la simulación, en los que si la distancia es mayor a 30Km entre el enlace primario y los interferentes, se encuentra en el umbral aceptable, pero si la distancia entre el enlace primario y los interferentes es menor a 30 Km se encuentra en el umbral perjudicial.

**Tabla 40. Formato de resultados con parámetro de evaluación C/N+I para San Andrés Escenario 3.**

C/N+I (dB)	Distancia (Km)								
	5	10	20	30	40	50	60	70	80
<b>BW</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>	<b>80</b>
<b>3,5</b>	18	18,19	18,27	18,54	18,68	18,73	18,81	18,96	19,04
<b>7</b>	15	15,17	15,25	15,35	15,47	15,51	15,63	15,72	15,84
<b>14</b>	13,3	13,41	13,56	13,62	13,74	13,82	13,88	13,93	14,02
<b>28</b>	9,4	9,51	9,58	9,63	9,7	9,78	9,84	9,97	10,13
<b>56</b>	4,7	4,83	4,94	5,09	5,17	5,26	5,34	5,39	5,5

En la Figura 22 se observan los datos recopilados para el parámetro C/N+I en el escenario tres en la ciudad de San Andrés, y su respectiva clasificación respecto a la Tabla 25, observando el porcentaje crítico que se puede obtener al realizar un enlace SFS, mientras se tiene como interferentes los enlaces de los barcos.



**Figura 22. Porcentajes de valores (C/N+I) en San Andrés Escenario 3.**

## 4.2. Cartagena

En las tablas 41,43 y 45 se presentan los resultados de las variables TD para cada escenario en Cartagena, en la cual, sus filas representan el ancho de banda y sus columnas las distancias a las que se encuentran los interferentes del enlace primario de la banda.

*Tabla 41. Formato de resultados con parámetro de evaluación TD para Cartagena Escenario 1.*

TD (dB)	Distancia (Km)									
	BW	5	10	20	30	40	50	60	70	80
3,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
14	0,38	0,39	0,38	0,35	0,34	0,32	0,31	0,31	0,29	0,27
28	1,17	1,17	1,15	1,10	1,08	1,06	1,04	1,04	1,01	0,98
56	2,04	2,05	2,05	2,01	2,00	1,98	1,96	1,96	1,94	1,92

Para el caso de la Tabla 41 se puede observar como a medida que aumenta el ancho de banda va aumentando el valor de TD, de tal forma que solo se encuentra en el umbral admisible el ancho de banda de 3.5 MHz, además se puede ver que a medida que disminuye la distancia entre los interferentes respecto al enlace primario, se va obteniendo también un mayor valor de TD, además respecto a la Tabla 26 que son los resultados del escenario uno de San Andrés podemos observar que son similares a los obtenidos en la Tabla 41 que son los resultados del escenario uno de Cartagena, donde se evidencia que para tener un umbral aceptable o admisible en el escenario uno en cualquiera de las dos ciudades, sin depender de la distancia entre el interferente y el enlace primario necesita un ancho de banda que no sea mayor a 14 MHz, y para un caso ideal necesitaría un ancho de banda de 3.5 MHz.

*Tabla 42. Agrupación de ancho de banda y distancias de interferentes Cartagena Escenario 1.*

Rango	Distancia
14 MHz – 28 MHz	80Km
3.5 MHz – 14 MHz	70Km
3.5 MHz – 14 MHz	60Km
3.5 MHz – 14 MHz	50Km
3.5 MHz – 14 MHz	40Km
3.5 MHz – 14 MHz	30Km
3.5 MHz – 14 MHz	20Km
3.5 MHz – 14 MHz	10Km
3.5 MHz – 14 MHz	5Km

Según los valores registrados en la Tabla 41 del parámetro TD en función del ancho de banda y las distancias entre el interferente y el enlace primario se realizó la agrupación de anchos de banda respecto a la distancia que se encuentren en el umbral mínimo aceptable definido en la Tabla 25.



**Tabla 43. Formato de resultados con parámetro de evaluación TD para Cartagena Escenario 2.**

TD (dB)	Distancia (Km)								
	5	10	20	30	40	50	60	70	80
<b>BW</b>									
<b>3,5</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>7</b>	0,35	0,35	0,33	0,32	0,31	0,29	0,28	0,26	0,25
<b>14</b>	1,13	1,12	1,10	1,08	1,05	1,03	1,00	0,96	0,95
<b>28</b>	1,41	1,38	1,37	1,35	1,33	1,29	1,27	1,24	1,20
<b>56</b>	1,71	1,71	1,67	1,65	1,61	1,58	1,57	1,55	1,53

Para el caso de la Tabla 43 se puede observar como a medida que aumenta el ancho de banda aumenta el valor de TD, de tal forma que solo se encuentra en el umbral admisible el ancho de banda de 3.5 MHz, además se puede ver que a medida que disminuye la distancia entre los interferentes respecto al enlace primario, se va obteniendo también un aumento en el valor de TD, además respecto a la Tabla 28 que son los resultados del escenario dos de San Andrés podemos observar que son similares a los obtenidos en la Tabla 43 que son los resultados del escenario dos de Cartagena, donde se evidencia que para tener un umbral aceptable o admisible en el escenario dos en cualquiera de las dos ciudades, sin depender de la distancia entre el interferente y el enlace primario necesitaríamos un ancho de banda que no sea mayor a 7 MHz, y para un caso ideal necesitaría un ancho de banda de 3.5 MHz, además respecto a la Tabla 41 donde podemos observar los resultados del escenario uno en Cartagena, se puede ver que son más críticos los resultados de las simulaciones del escenario dos que del escenario uno.

**Tabla 44. Agrupación de ancho de banda y distancias de interferentes Cartagena Escenario 2.**

Rango	Distancia
<b>7 MHz – 14 MHz</b>	80Km
<b>7 MHz – 14 MHz</b>	70Km
<b>3.5 MHz – 7 MHz</b>	60Km
<b>3.5 MHz – 7 MHz</b>	50Km
<b>3.5 MHz – 7 MHz</b>	40Km
<b>3.5 MHz – 7 MHz</b>	30Km
<b>3.5 MHz – 7 MHz</b>	20Km
<b>3.5 MHz – 7 MHz</b>	10Km
<b>3.5 MHz – 7 MHz</b>	5Km

Según los valores registrados en la Tabla 43 del parámetro TD en función del ancho de banda y las distancias entre el interferente y el enlace primario se realizó la agrupación de anchos de banda respecto a la distancia que se encuentren en el umbral mínimo aceptable definido en la Tabla 25.

**Tabla 45. Formato de resultados con parámetro de evaluación TD para Cartagena Escenario 3.**

TD (dB)	Distancia (Km)									
	BW	5	10	20	30	40	50	60	70	80
<b>3,5</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>7</b>	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	
<b>14</b>	0,17	0,17	0,16	0,15	0,13	15,07	0,12	0,11	0,10	
<b>28</b>	0,17	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	
<b>56</b>	0,18	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	

Para el caso de la Tabla 45 se puede observar como a medida que aumenta el ancho de banda va aumentando el valor de TD, de tal forma que solo se encuentra en el umbral admisible el ancho de banda de 3.5 MHz, además se puede ver que a medida que disminuye la distancia entre los interferentes respecto al enlace primario, se va obteniendo también un aumento en el valor TD, además respecto a la Tabla 30 que son los resultados del escenario tres de San Andrés podemos observar que son similares a los obtenidos en la Tabla 45 que son los resultados del escenario tres de Cartagena, donde se evidencia que para tener un umbral aceptable o admisible en el escenario tres en cualquiera de las dos ciudades, sin depender de la distancia entre el interferente y el enlace primario necesitaríamos un ancho de banda que no sea mayor a 56 MHz, y para un caso ideal necesitaría un ancho de banda de 3.5 MHz, además respecto a la Tabla 41 donde podemos observar los resultados del escenario uno en Cartagena, y la Tabla 43 donde se observa los resultados del escenario dos en Cartagena se puede ver que son más críticos los resultados de las simulaciones del escenario dos que del escenario uno y del escenario tres, además el escenario tres en la simulación no arroja valores en la umbral perjudicial.

**Tabla 46. Agrupación de ancho de banda y distancias de interferentes Cartagena Escenario 3.**

Rango	Distancia
<b>3.5 MHz – 56 MHz</b>	80Km
<b>3.5 MHz – 56 MHz</b>	70Km
<b>3.5 MHz – 56 MHz</b>	60Km
<b>3.5 MHz – 56 MHz</b>	50Km
<b>3.5 MHz – 56 MHz</b>	40Km
<b>3.5 MHz – 56 MHz</b>	30Km
<b>3.5 MHz – 56 MHz</b>	20Km
<b>3.5 MHz – 56 MHz</b>	10Km
<b>3.5 MHz – 56 MHz</b>	5Km

Según los valores registrados en la Tabla 45 del parámetro TD en función del ancho de banda y las distancias entre el interferente y el enlace primario se

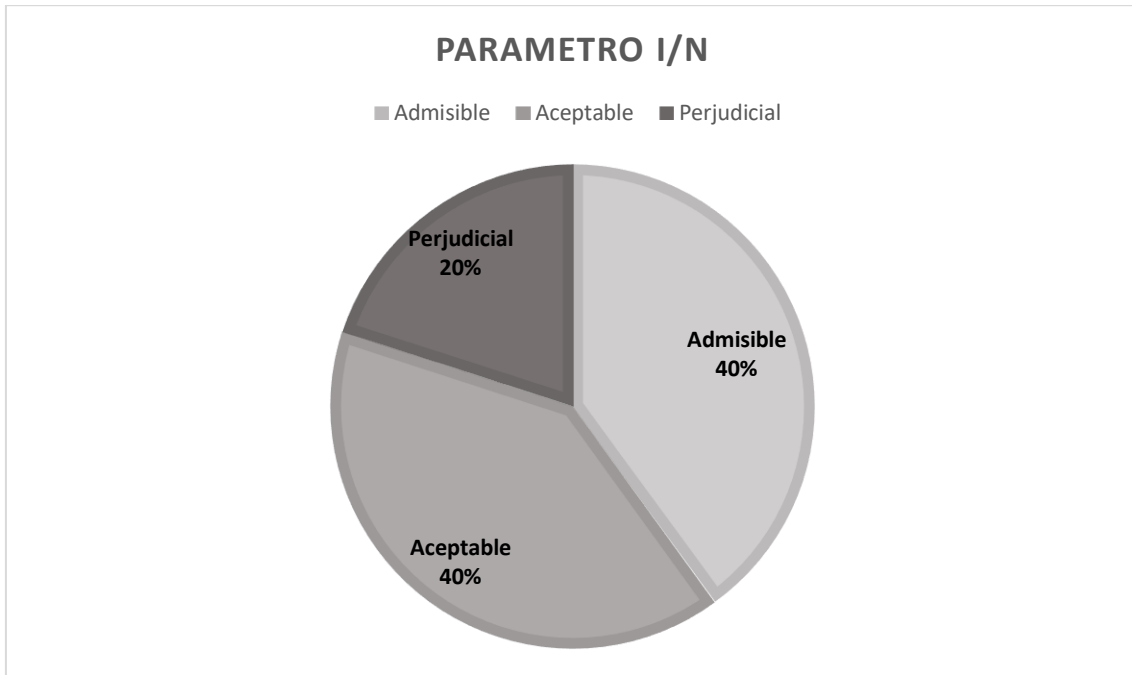
realizó la agrupación de anchos de banda respecto a la distancia que se encuentren en el umbral mínimo aceptable definido en la Tabla 25.

Para la Tabla 47, se puede observar como a medida que aumenta el ancho de banda se tienen valores perjudiciales para el parámetro de relación de interferencia a ruido, donde además también se puede ver que a medida que aumenta la distancia de los interferentes respecto al enlace primario se obtiene un valor menor del parámetro de relación de interferencia a ruido, en donde podemos decir que se encuentra en el umbral admisible los anchos de bandas de 3,5 y 7 MHz, teniendo como referencia una distancia mínima de 5Km entre el enlace primario y los interferentes, que para este escenario sería el enlace primario el enlace SFS, y los interferentes los enlaces de las aeronaves y barcos, además se logra observar en la tabla que los anchos de bandas de 14 y 28 MHz se encuentran en el umbral aceptado también partiendo con una distancia mínima de 5Km, por lo que se puede realizar un enlace SFS con ese ancho de banda sin tener interferencia, además se pueden ver los valores en el ancho de banda de 56 MHz, los cuales se encuentran en el umbral perjudicial, con esto se puede deducir que el ancho de banda de 56 MHz no sería apto para utilizar a la hora de realizar un enlace SFS, ya que al tener como interferentes los enlaces de las aeronaves y barcos sin importar la distancia no se podría realizar una comunicación con el satélite.

**Tabla 47. Formato de resultados con parámetro de evaluación I/N para Cartagena Escenario 1.**

I/N (dB)	Distancia (Km)								
	5	10	20	30	40	50	60	70	80
<b>3,5</b>	- 22,62	- 22,65	- 22,71	- 22,76	- 22,84	- 23,02	- 23,09	- 23,17	- 23,24
<b>7</b>	- 13,21	- 13,22	- 13,17	- 13,24	- 13,34	- 13,42	- 13,49	- 13,56	- 13,64
<b>14</b>	- 10,21	- 10,16	-10,2	- 10,37	- 10,43	- 10,51	- 10,59	- 10,68	- 10,77
<b>28</b>	-7,24	-7,23	-7,3	-7,47	-7,53	-7,6	-7,68	-7,77	-7,87
<b>56</b>	-4,17	-4,11	-4,13	-4,29	-4,32	-4,38	-4,45	-4,53	-4,62

En la Figura 23 se observa de forma porcentual la cantidad de datos recopilados para el parámetro I/N en el escenario uno en la ciudad de Cartagena, y su respectiva clasificación respecto a la Tabla 25, observando el porcentaje crítico que se obtiene al realizar un enlace SFS, mientras se tiene como interferentes los enlaces de las aeronaves y barcos.



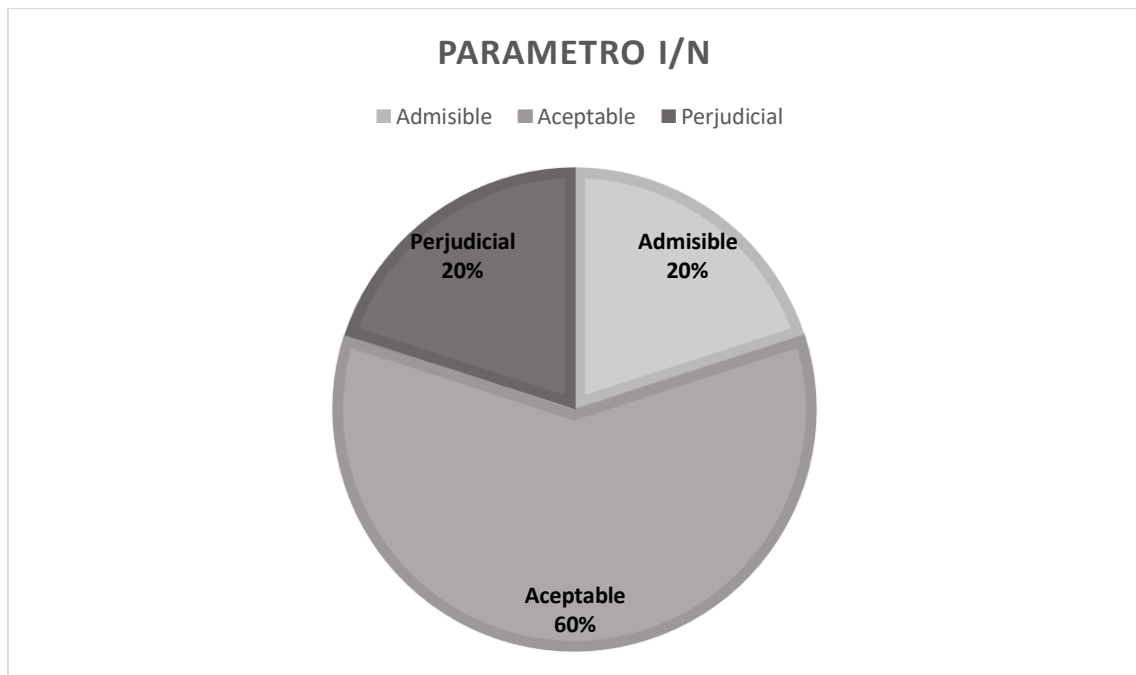
**Figura 23. Porcentajes de valores relación interferencia/ruido (I/N) en Cartagena Escenario 1.**

Para la Tabla 48, se puede observar como a medida que aumenta el ancho de banda los valores simulados en el criterio pasan al umbral perjudicial para el parámetro de relación de interferencia a ruido, donde además también se puede ver que a medida que aumenta la distancia de los interferentes respecto al enlace primario se reduce el parámetro de relación de interferencia a ruido, en donde podemos decir que encontramos en el umbral admisible los anchos de bandas de 3,5 MHz, teniendo como referencia una distancia mínima de 5Km entre el enlace primario y los interferentes, que para este escenario sería el enlace primario el enlace SFS, y los interferentes los enlaces de las aeronaves, además se logra observar en la tabla que los anchos de bandas de 7, 14 y 28 MHz se encuentran en el umbral aceptado también partiendo con una distancia mínima de 5Km, por lo que se puede realizar un enlace SFS con ese ancho de banda sin tener interferencia, además se pueden ver los valores en el ancho de banda de 56 MHz, los cuales se encuentran en el umbral perjudicial, con esto se puede deducir que el ancho de banda de 56 MHz no sería apto para utilizar a la hora de realizar un enlace SFS, ya que al tener como interferentes los enlaces de las aeronaves sin importar la distancia no se podría realizar una comunicación con el satélite.

**Tabla 48. Formato de resultados con parámetro de evaluación I/N para Cartagena Escenario 2.**

I/N (dB)	Distancia (Km)								
	5	10	20	30	40	50	60	70	80
<b>3,5</b>	- 19,85	- 19,91	- 19,98	- 20,05	-20,1	- 20,14	- 20,22	- 20,26	- 20,31
<b>7</b>	- 10,35	- 10,38	- 10,44	- 10,51	- 10,58	- 10,66	- 10,74	- 10,85	- 10,91
<b>14</b>	-7,35	-7,39	-7,47	-7,54	-7,65	-7,72	-7,8	-7,94	-7,99
<b>28</b>	-6,44	-6,52	-6,56	-6,62	-6,71	-6,82	-6,88	-7,01	-7,13
<b>56</b>	-5,38	-5,38	-5,51	-5,59	-5,74	-5,83	-5,89	-5,96	-6,03

En la Figura 24 se observa en un diagrama de torta los datos recopilados para el parámetro I/N en el escenario dos en la ciudad de Cartagena, y su respectiva clasificación respecto a la Tabla 25, observando el porcentaje crítico que se obtiene al realizar un enlace SFS, mientras se tiene como interferentes los enlaces de las aeronaves.



**Figura 24. Porcentajes de valores relación interferencia/ruido (I/N) en Cartagena Escenario 2.**

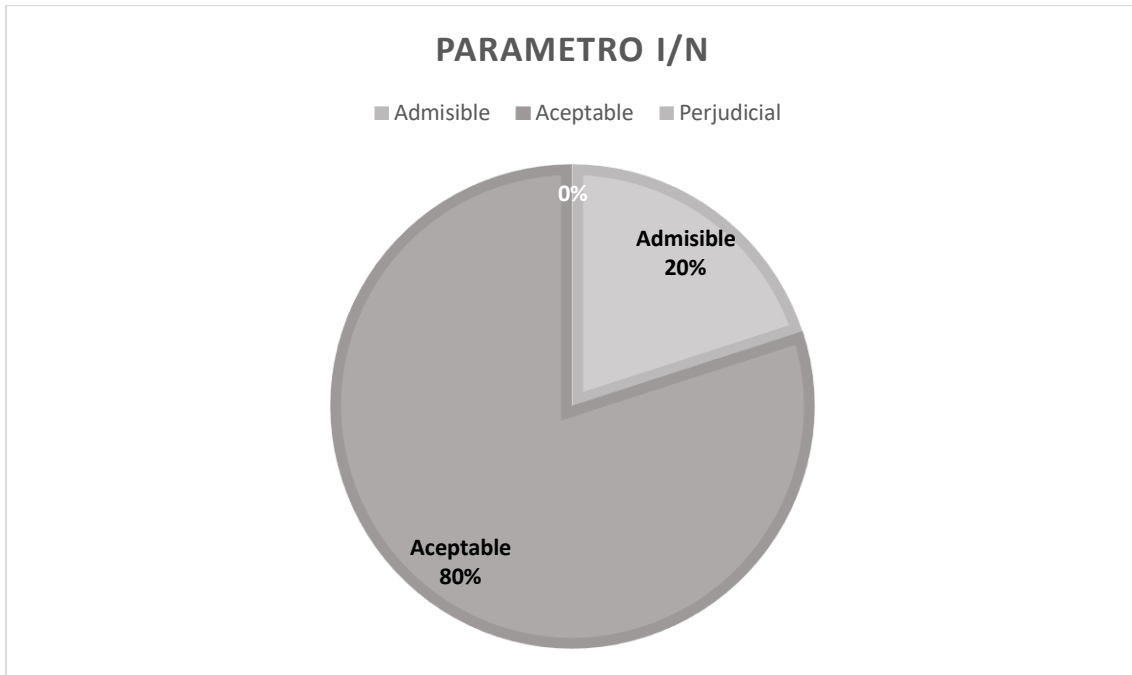
Para la Tabla 49, se observa como a medida que aumenta el ancho de banda se tienen valores perjudiciales para el parámetro de relación de interferencia a ruido, donde además también se puede ver que a medida que aumenta la distancia de los interferentes respecto al enlace primario se obtiene un valor menor del parámetro de relación de interferencia a ruido, en donde podemos decir que

encontramos en el umbral admisible el ancho de banda de 3,5 MHz, teniendo como referencia una distancia mínima de 5Km entre el enlace primario y los interferentes, que para este escenario sería el enlace primario el enlace SFS, y los interferentes los enlaces de las aeronaves, además se logra observar en la tabla que el ancho de banda de 7 MHz un caso más crítico ya que como se observa en la tabla se registraron valores en la simulación, en los que si la distancia es mayor a 70Km entre el enlace primario y los interferentes, se encuentra en el umbral admisible, pero si la distancia entre el enlace primario y los interferentes es menor a 70 Km se encuentra en el umbral aceptable, y para los casos de ancho de banda de 14, 28 y 56 MHz se encuentran en el umbral aceptable, teniendo en cuenta una distancia mínima entre el enlace primario y los interferentes de 5Km, con base a estas deducciones se puede concluir que para el escenario tres en la ciudad de Cartagena no se tendría problemas de interferencia en el enlace SFS, mientras el enlace de los barcos se encuentren a una distancia de 5Km.

**Tabla 49. Formato de resultados con parámetro de evaluación I/N para Cartagena Escenario 3.**

I/N (dB)	Distancia (Km)								
	5	10	20	30	40	50	60	70	80
<b>3,5</b>	- 18,19	- 18,25	- 18,32	- 18,39	- 18,47	- 18,56	- 18,65	- 18,69	- 18,81
<b>7</b>	- 11,73	- 11,75	- 11,84	- 11,91	- 12,04	- 12,11	- 12,19	- 12,25	- 12,34
<b>14</b>	- 11,52	- 11,52	-11,6	- 11,69	-11,8	11,76	- 11,95	-12	-12,1
<b>28</b>	- 11,45	-11,5	- 11,56	- 11,63	- 11,68	- 11,76	- 11,84	- 11,93	- 11,99
<b>56</b>	-11,4	- 11,36	- 11,43	- 11,48	- 11,54	- 11,61	- 11,68	- 11,76	- 11,87

En la Figura 25 se observa de forma porcentual la cantidad de datos recopilados para el parámetro I/N en el escenario tres en la ciudad de Cartagena, y su respectiva clasificación respecto a la Tabla 25, observando el porcentaje crítico que se obtiene al realizar un enlace SFS, mientras se tiene como interferentes los enlaces de los barcos.



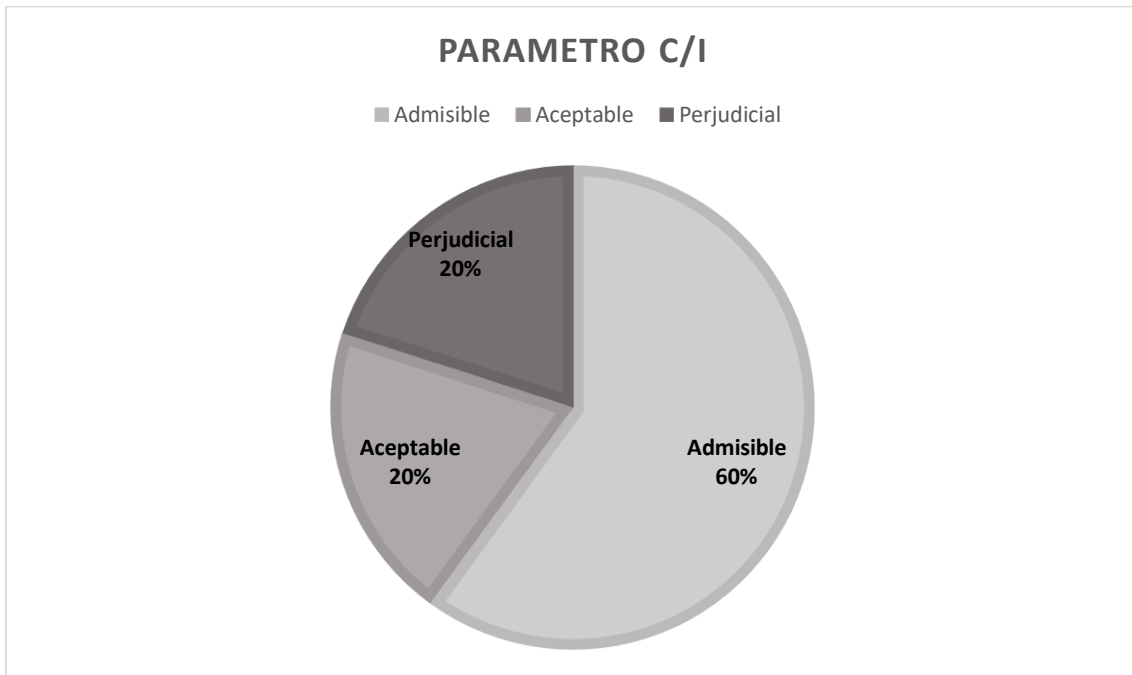
**Figura 25. Porcentajes de valores relación interferencia/ruido (I/N) en Cartagena Escenario 3.**

Para la Tabla 50, se puede observar como a medida que aumenta el ancho de banda se tienen valores perjudiciales para el parámetro de relación de portadora a interferencia, donde además también se puede ver que a medida que aumenta la distancia de los interferentes respecto al enlace primario se reduce parámetro de relación de interferencia a ruido, en donde podemos decir que encontramos en el umbral admisible los anchos de bandas de 3.5, 7 y 14 MHz, teniendo como referencia una distancia mínima de 5Km entre el enlace primario y los interferentes, que para este escenario sería el enlace primario el enlace SFS, y los interferentes los enlaces de las aeronaves y barcos, además se observa en la tabla que los anchos de bandas de 28 MHz se encuentran en el umbral aceptado también partiendo con una distancia mínima de 5Km, por lo que se puede realizar un enlace SFS con ese ancho de banda sin tener interferencia, además se pueden ver los valores en el ancho de banda de 56 MHz, los cuales se encuentran en el umbral perjudicial, con esto se puede deducir que el ancho de banda de 56 MHz no sería apto para utilizar a la hora de realizar un enlace SFS, ya que al tener como interferentes los enlaces de las aeronaves y barcos sin importar la distancia no se podría realizar una comunicación con el satélite.

**Tabla 50. Formato de resultados con parámetro de evaluación C/I para Cartagena Escenario 1.**

C/I (dB)	Distancia (Km)								
	5	10	20	30	40	50	60	70	80
<b>BW</b>									
<b>3,5</b>	39,09	39,15	39,28	39,48	39,64	39,9	40,01	40,11	40,23
<b>7</b>	23,22	23,32	23,32	23,47	23,7	23,89	24,1	24,3	24,51
<b>14</b>	20,01	20,12	20,23	20,47	20,66	20,92	21,16	21,49	21,69
<b>28</b>	16,91	16,99	17,14	17,39	17,54	17,85	18,08	18,42	18,68
<b>56</b>	13,79	13,93	14,04	14,27	14,39	14,65	14,91	15,21	15,47

En la Figura 26 se observa de forma porcentual la cantidad de datos recopilados para el parámetro C/I en el escenario uno en la ciudad de Cartagena, y su respectiva clasificación respecto a la Tabla 25, observando el porcentaje crítico que se puede obtener al realizar un enlace SFS, mientras se tiene como interferentes los enlaces de las aeronaves y barcos.



**Figura 26. Porcentajes de valores relación portadora/interferencia (C/I) en Cartagena Escenario 1.**

Para la Tabla 51, se observa como a medida que aumenta el ancho de banda se tienen los valores obtenidos pasa al umbral perjudicial para el parámetro de relación de portadora a interferencia, donde además también se puede ver que a medida que aumenta la distancia de los interferentes respecto al enlace primario se reduce el parámetro de relación de interferencia a ruido, en donde podemos decir que encontramos en el umbral admisible los anchos de bandas de 3.5, 7 MHz, teniendo como referencia una distancia mínima de 5Km entre el enlace primario y los interferentes, que para este escenario sería el enlace primario el enlace SFS, y los interferentes los enlaces de las aeronaves, además se observa en la tabla que los anchos de bandas de 14 y 28 MHz se encuentran en el umbral aceptado también partiendo con una distancia mínima de 5Km, por lo que se puede realizar un enlace SFS con ese ancho de banda sin tener interferencia, además se ve los valores en el ancho de banda de 56 MHz, los cuales se encuentran en el umbral perjudicial, con esto se puede deducir que el ancho de banda de 56 MHz no sería apto para utilizar a la hora de realizar un enlace SFS, ya que al tener como interferentes los enlaces de las aeronaves y

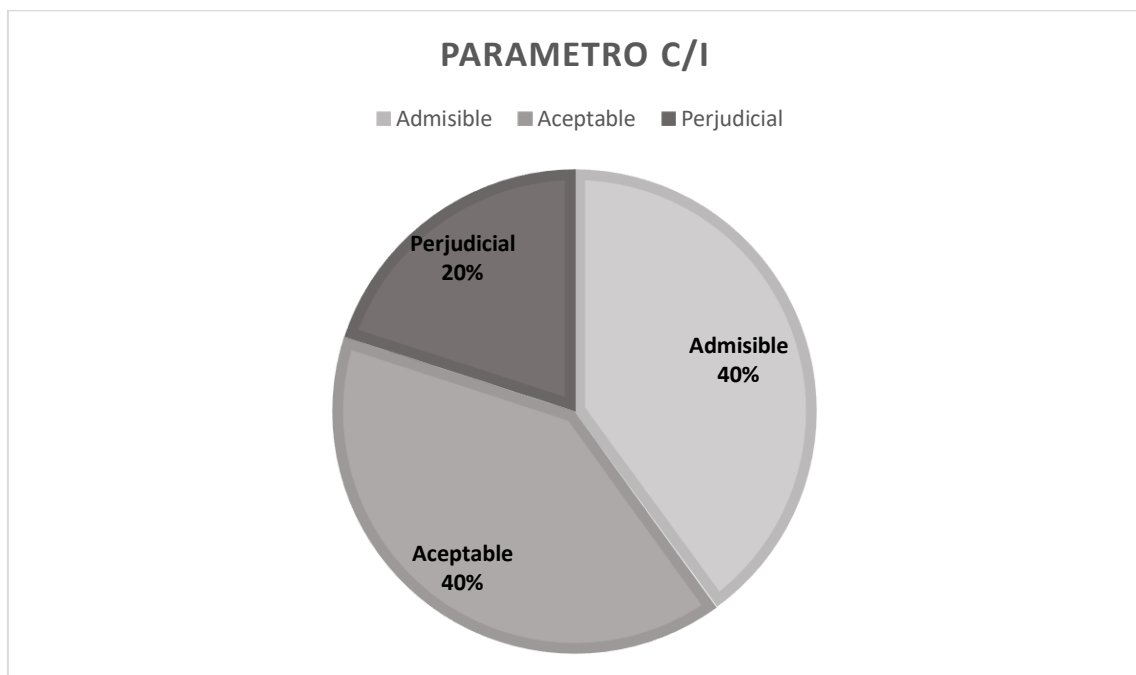


barcos sin importar la distancia no se podría realizar una comunicación con el satélite.

**Tabla 51. Formato de resultados con parámetro de evaluación C/I para Cartagena Escenario 2.**

C/I (dB)	Distancia (Km)									
	BW	5	10	20	30	40	50	60	70	80
3,5		36,48	36,56	36,67	36,82	36,95	37,05	37,23	37,44	37,47
7		20,52	20,58	20,73	20,88	21,03	21,24	21,46	21,65	21,84
14		17,31	17,38	17,55	17,69	17,88	18,05	18,26	18,54	18,77
28		16,3	16,49	16,32	16,72	16,88	17,1	17,29	17,54	17,77
56		15,19	15,28	15,49	15,65	15,85	16,01	16,12	16,27	16,46

En la Figura 27 se observa de forma porcentual la cantidad de datos recopilados para el parámetro C/I en el escenario dos en la ciudad de Cartagena, y su respectiva clasificación respecto a la Tabla 25, observando el porcentaje crítico que se obtiene al realizar un enlace SFS, mientras se tiene como interferentes los enlaces de las aeronaves y barcos.



**Figura 27. Porcentajes de valores relación portadora/interferencia (C/I) en Cartagena Escenario 2.**

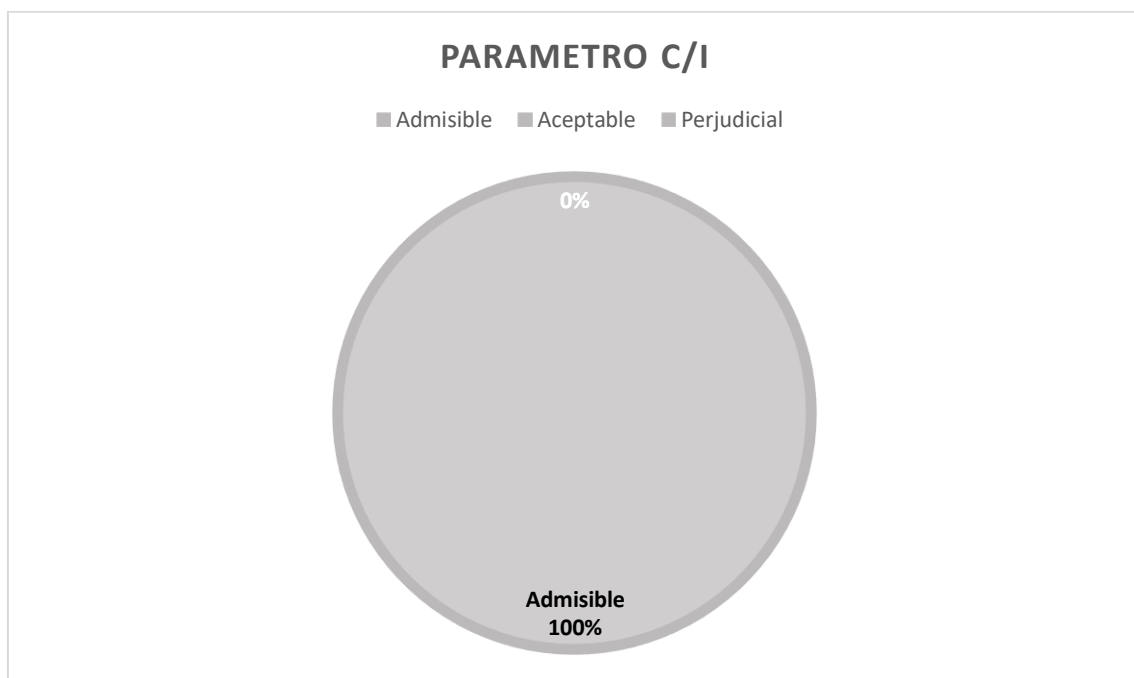
Para la Tabla 52, se observa como a medida que aumenta el ancho de banda se tienen valores perjudiciales para el parámetro de relación de portadora a interferencia, donde además también se puede ver que a medida que aumenta la distancia de los interferentes respecto al enlace primario se reduce el valor del parámetro de relación de interferencia a ruido, en donde se encuentra en el umbral admisible los anchos de bandas de 3.5, 7, 14, 28 y 56 MHz, teniendo

como referencia una distancia mínima de 5Km entre el enlace primario y los interferentes, que para este escenario sería el enlace primario el enlace SFS, y los interferentes los enlaces de las aeronaves y barcos, por lo que se puede realizar un enlace SFS con ese ancho de banda sin tener interferencia.

**Tabla 52. Formato de resultados con parámetro de evaluación C/I para Cartagena Escenario 3.**

C/I (dB)	Distancia (Km)								
	5	10	20	30	40	50	60	70	80
<b>3,5</b>	34,905	34,99	35,115	35,3	35,46	35,62	35,78	-1,55	35,99
<b>7</b>	21,985	22,005	22,165	22,315	22,55	22,74	22,96	23,125	23,345
<b>14</b>	21,565	21,585	21,745	21,905	22,12	22,13	22,555	22,795	23,055
<b>28</b>	21,425	21,575	21,43	21,85	21,98	22,235	22,455	22,73	22,925
<b>56</b>	21,325	21,295	21,45	21,575	21,705	21,91	22,1	22,33	22,585

En la Figura 28 podemos observar de forma porcentual la cantidad de datos recopilados para el parámetro C/I en el escenario tres en la ciudad de Cartagena, y su respectiva clasificación respecto a la Tabla 25, observando el porcentaje crítico que se obtiene al realizar un enlace SFS, mientras se tiene como interferentes los enlaces de las aeronaves y barcos.



**Figura 28. Porcentajes de valores relación portadora/interferencia (C/I) en Cartagena Escenario 3.**

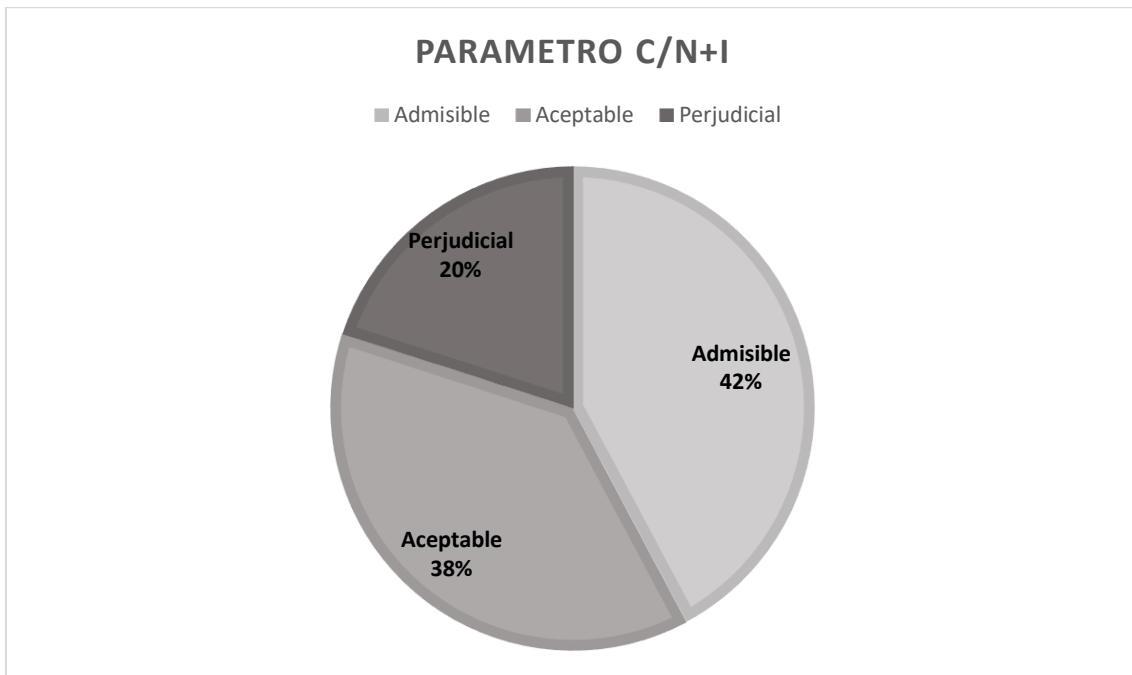
Para la Tabla 53, se puede observar como a medida que aumenta el ancho de banda se tienen valores perjudiciales para el parámetro de relación de **C/N+I**, donde además también se puede ver que a medida que aumenta la distancia de

los interferentes respecto al enlace primario se obtiene un valor menor del parámetro de relación de interferencia a ruido, se encuentra en el umbral admisible el ancho de banda de 3,5 y 7 MHz, teniendo como referencia una distancia mínima de 5Km entre el enlace primario y los interferentes, que para este escenario sería el enlace primario el enlace SFS, y los interferentes los enlaces de las aeronaves, además se puede observar un caso crítico, respecto al ancho de banda de 14 MHz, ya que como se observa en la tabla se registraron valores en la simulación, en los que si la distancia es mayor a 80Km entre el enlace primario y los interferentes, se encuentra en el umbral admisible, pero si la distancia entre el enlace primario y los interferentes es menor a 80 Km se encuentra en el umbral aceptable por lo que se puede realizar un enlace SFS con ese ancho de banda sin tener interferencia, respecto al ancho de banda de 28 MHz se puede observar que se encuentran en el umbral aceptable, además se pueden ver los valores en el ancho de banda de 56 MHz, los cuales se encuentran en el umbral perjudicial, con esto se puede deducir que el ancho de banda de 56 MHz no sería apto para utilizar a la hora de realizar un enlace SFS, ya que al tener como interferentes los enlaces de las aeronaves y barcos sin importar la distancia no se podría realizar una comunicación con el satélite.

**Tabla 53. Formato de resultados con parámetro de evaluación C/N+I para Cartagena Escenario 1.**

C/N+I (dB)	Distancia (Km)								
	5	10	20	30	40	50	60	70	80
<b>BW</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>	<b>80</b>
<b>3,5</b>	16	16,24	16,32	16,47	16,59	16,7	16,84	16,96	17,16
<b>7</b>	14	14,3	14,47	14,58	14,63	14,71	14,84	14,93	15,12
<b>14</b>	11	11,17	11,26	11,34	11,49	11,63	11,79	11,92	12,04
<b>28</b>	7,6	7,82	7,96	8,05	8,19	8,28	8,39	8,57	8,73
<b>56</b>	3,6	3,89	3,97	4,12	4,35	4,52	4,68	4,74	4,87

En la Figura 29 se observa de forma porcentual la cantidad de datos recopilados para el parámetro C/N+I en el escenario uno en la ciudad de Cartagena, y su respectiva clasificación respecto a la Tabla 25, observando el porcentaje crítico que se obtiene al realizar un enlace SFS, mientras se tiene como interferentes los enlaces de las aeronaves y barcos.



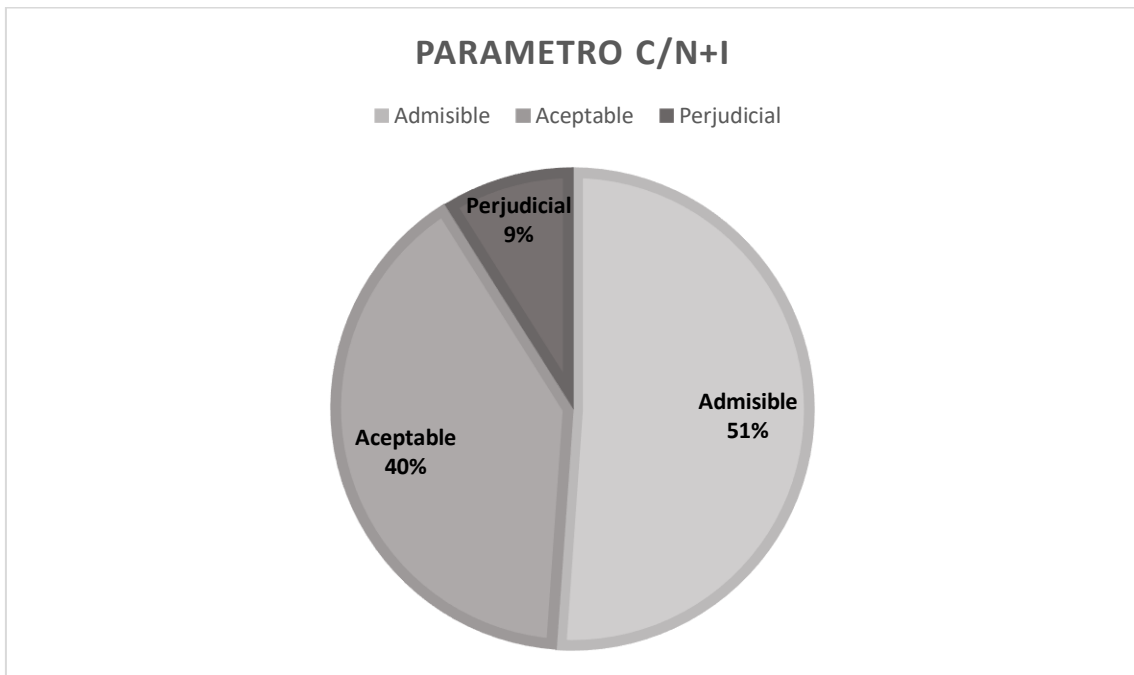
*Figura 29. Porcentajes de valores (C/N+I) en Cartagena Escenario 1.*

Para la Tabla 54, se puede observar como a medida que aumenta el ancho de banda se tienen valores en el rango perjudicial para el parámetro de relación de **C/N+I**, donde además también se puede ver que a medida que aumenta la distancia de los interferentes respecto al enlace primario se obtiene se reduce el valor del parámetro de relación de interferencia a ruido, en donde podemos decir que encontramos en el umbral admisible el ancho de banda de 3,5 y 7 MHz, teniendo como referencia una distancia mínima de 5Km entre el enlace primario y los interferentes, que para este escenario sería el enlace primario el enlace SFS, y los interferentes los enlaces de las aeronaves, además se puede observar un caso más crítico, respecto al ancho de banda de 14 MHz, ya que como se observa en la tabla se registraron valores en la simulación, en los que si la distancia es mayor a 40Km entre el enlace primario y los interferentes, se encuentra en el umbral admisible, pero si la distancia entre el enlace primario y los interferentes es menor a 40 Km se encuentra en el umbral aceptable por lo que se puede realizar un enlace SFS con ese ancho de banda sin tener interferencia, respecto al ancho de banda de 28 MHz se puede observar que se encuentran en el umbral aceptable, además se pueden ver los valores en el ancho de banda de 56 MHz, que como se observa en la tabla se registraron valores en la simulación, en los que si la distancia es mayor a 40Km entre el enlace primario y los interferentes, se encuentra en el umbral aceptable, pero si la distancia entre el enlace primario y los interferentes es menor a 40 Km se encuentra en el umbral perjudicial.

**Tabla 54. Formato de resultados con parámetro de evaluación C/N+I para Cartagena Escenario 2.**

C/N+I (dB)	Distancia (Km)								
	5	10	20	30	40	50	60	70	80
<b>BW</b>									
<b>3,5</b>	16	16,39	17,2	17,57	17,78	18,03	18,14	18,26	18,36
<b>7</b>	14	14,47	15,5	15,78	15,94	16,1	16,18	16,21	16,32
<b>14</b>	11	11,34	11,8	11,92	12,1	12,17	12,23	12,27	12,34
<b>28</b>	8	8,21	8,82	8,95	9,09	9,23	9,31	9,37	9,43
<b>56</b>	4	4,15	4,84	4,92	5,15	5,23	5,29	5,34	5,45

En la Figura 30 se observa un diagrama de torta los datos recopilados para el parámetro C/N+I en el escenario dos en la ciudad de Cartagena, y su respectiva clasificación respecto a la Tabla 25, observando el porcentaje crítico que se obtiene al realizar un enlace SFS, mientras se tiene como interferentes los enlaces de las aeronaves.



**Figura 30. Porcentajes de valores (C/N+I) en Cartagena Escenario 2.**

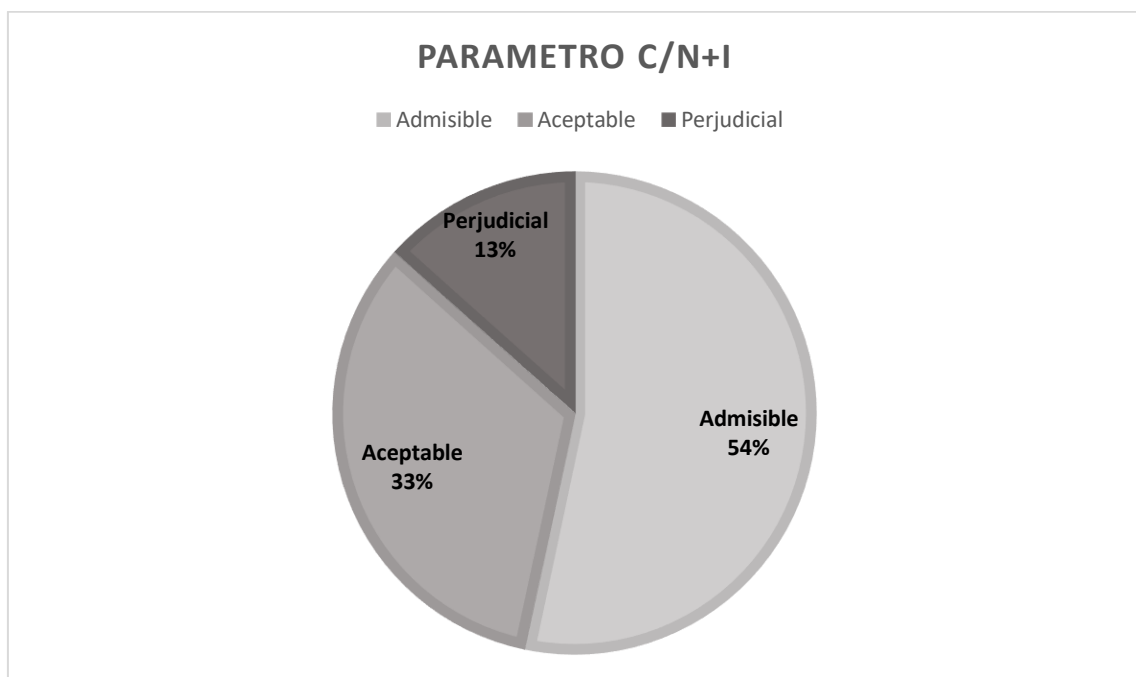
Para la Tabla 55, se observa como a medida que aumenta el ancho de banda se tienen valores perjudiciales para el parámetro de relación de **C/N+I**, donde además también se puede ver que a medida que aumenta la distancia de los interferentes respecto al enlace primario se reduce el valor del parámetro de relación de interferencia a ruido, en donde podemos decir que encontramos en el umbral admisible el ancho de banda de 3,5 y 7 MHz, teniendo como referencia una distancia mínima de 5Km entre el enlace primario y los interferentes, que para este escenario sería el enlace primario el enlace SFS, y los interferentes los enlaces de los barcos, además se puede observar un caso más crítico, respecto al ancho de banda de 14 MHz, ya que como se observa en la tabla se registraron

valores en la simulación, en los que si la distancia es mayor a 30Km entre el enlace primario y los interferentes, se encuentra en el umbral admisible, pero si la distancia entre el enlace primario y los interferentes es menor a 30 Km se encuentra en el umbral aceptable por lo que se puede realizar un enlace SFS con ese ancho de banda sin tener interferencia, respecto al ancho de banda de 28 MHz se puede observar que se encuentran en el umbral aceptable, además se pueden ver los valores en el ancho de banda de 56 MHz, que como se observa en la tabla se registraron valores en la simulación, en los que si la distancia es mayor a 60Km entre el enlace primario y los interferentes, se encuentra en el umbral aceptable, pero si la distancia entre el enlace primario y los interferentes es menor a 60 Km se encuentra en el umbral perjudicial.

**Tabla 55. Formato de resultados con parámetro de evaluación C/N+I para Cartagena Escenario 3.**

C/N+I (dB)	Distancia (Km)								
	5	10	20	30	40	50	60	70	80
<b>BW</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>30</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>	<b>80</b>
<b>3,5</b>	16,8	16,89	16,97	17,06	17,18	17,33	17,48	17,6	17,85
<b>7</b>	14,3	14,45	14,52	14,67	14,74	14,9	15,03	15,26	15,41
<b>14</b>	11,7	11,84	11,92	12,08	12,19	12,26	12,39	12,52	12,68
<b>28</b>	8,4	8,6	8,72	8,88	8,98	9,1	9,24	9,39	9,53
<b>56</b>	4,18	4,44	4,67	4,85	4,91	4,98	5,09	5,24	5,31

En la Figura 31 se observa de forma porcentual la cantidad de datos recopilados para el parámetro C/N+I en el escenario tres en la ciudad de Cartagena, y su respectiva clasificación respecto a la Tabla 25, observando el porcentaje critico que se obtiene al realizar un enlace SFS, mientras se tiene como interferentes los enlaces de los barcos.



**Figura 31. Porcentajes de valores (C/N+I) en Cartagena Escenario 3.**

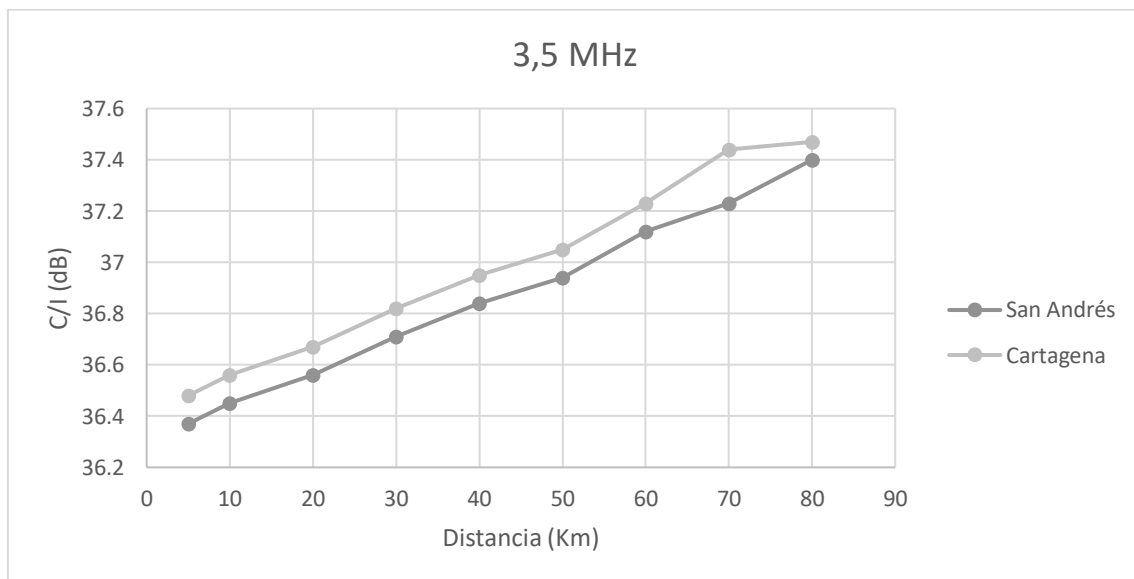
## Capítulo 5: Análisis de resultados.

Respecto a las Tablas y Figuras previamente mencionadas, y con base a la Tabla 25 en la que se especifican criterios de evaluación para la interferencia, se analizaron los valores obtenidos en la simulación realizada en el software Seamcat, en los cuales se observó que en el escenario dos tanto en Cartagena como en San Andrés es en el que se encuentran mayor cantidad de valores en el umbral perjudicial y aceptable, por lo que se concluye que este escenario es el más afectado en el momento que se realiza la convivencia en la banda a estudio.

Por lo cual se desarrolló un análisis exhaustivo en este escenario dos con el fin de poder determinar las características del enlace en los puntos críticos.

Para el análisis de la Figura 32 se tiene en cuenta los umbrales que están registrados en la Tabla 25, específicamente para el parámetro de relación entre portadora y ruido (C/I).

En la Figura 32 se observa el grafico lineal del parámetro C/I en función de la distancia a la que se encuentra el enlace primario de los enlaces interferentes teniendo como parámetro fijo el ancho de banda, que para este caso se utilizó un ancho de banda de 3.5MHz.

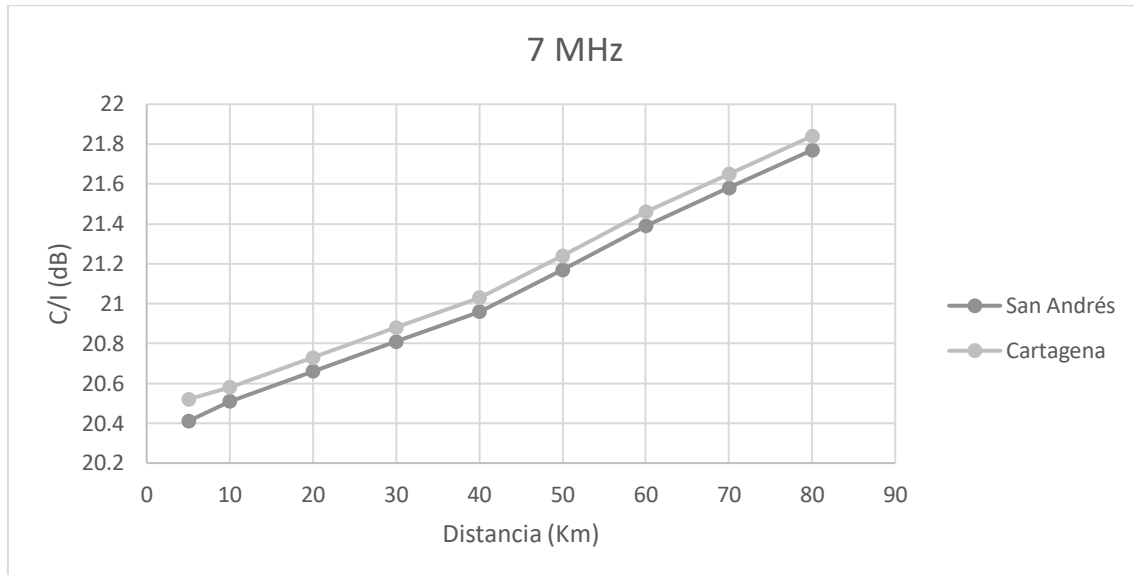


**Figura 32. Gráfico lineal para el parámetro C/I con ancho de banda de 3.5MHz para la evaluación del Escenario 2.**

De la Figura 32 se observan los puntos simulados en Seamcat para el escenario dos en la ciudad de San Andrés se pueden observar de un color oscuro y los puntos simulados para el escenario dos en la ciudad de Cartagena de un color más claro, además se observa que los valores para el parámetro C/I en función de la distancia son mayores en el escenario realizado en Cartagena que al realizado en San Andrés, aunque ambos se encuentren en el umbral admisible

según la Tabla 25, se puede concluir que se tiene un mejor escenario en la ciudad de Cartagena que en la ciudad de San Andrés.

En la Figura 33 se observa el grafico lineal del parámetro C/I en función de la distancia a la que se encuentra el enlace primario de los enlaces interferentes teniendo como parámetro fijo el ancho de banda, que para este caso se utilizó un ancho de banda de 7MHz.



**Figura 33. Gráfico lineal para el parámetro C/I con ancho de banda de 7MHz para la evaluación del Escenario 2.**

De la Figura 33 se observan los puntos simulados en Seamcat para el escenario dos en la ciudad de San Andrés se pueden observar de un color oscuro y los puntos simulados para el escenario dos en la ciudad de Cartagena de un color más claro, además se observa que los valores para el parámetro C/I que respecto a los valores de la Figura 32 son menores considerablemente aunque siguen encontrándose todos los puntos en el umbral admisible, también se nota que los valores registrados en el escenario de San Andrés y Cartagena son más cercanos al utilizar un ancho de banda de 7MHz que en la Figura 32 en la cual se utilizó un ancho de banda de 3.5MHz.

En la Figura 34 se observa el grafico lineal del parámetro C/I en función de la distancia a la que se encuentra el enlace primario de los enlaces interferentes teniendo como parámetro fijo el ancho de banda, que para este caso se utilizó un ancho de banda de 14MHz.



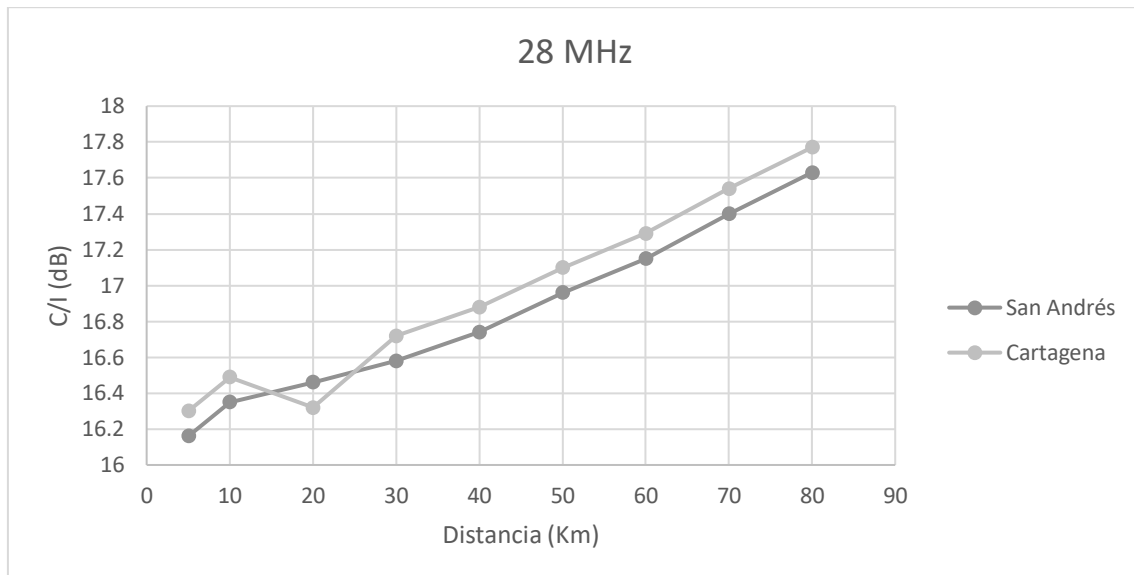


**Figura 34. Gráfico lineal para el parámetro C/I con ancho de banda de 14MHz para la evaluación del Escenario 2.**

De la Figura 34 se observan los puntos simulados en Seamcat para el escenario dos en la ciudad de San Andrés se pueden observar de un color oscuro y los puntos simulados para el escenario dos en la ciudad de Cartagena de un color más claro, además se observa que los valores para el parámetro C/I que respecto a los valores de la Figura 32 y Figura 33 son menores y considerablemente, aunque ya no se encuentran los valores en el umbral admisible.

Los valores del parámetro C/I que se registran en la Figura 34 se encuentran en el umbral aceptable tanto los valores registrados en el escenario de San Andrés como en el escenario de Cartagena, además se nota que los valores registrados en el escenario de San Andrés y Cartagena son más cercanos al utilizar un ancho de banda de 14MHz que en la Figura 32 y Figura 33 en las cuales se utilizaron un ancho de banda de 3.5 y 7 MHz respectivamente.

En la Figura 35 se observa el gráfico lineal del parámetro C/I en función de la distancia a la que se encuentra el enlace primario de los enlaces interferentes teniendo como parámetro fijo el ancho de banda, que para este caso se utilizó un ancho de banda de 28MHz.

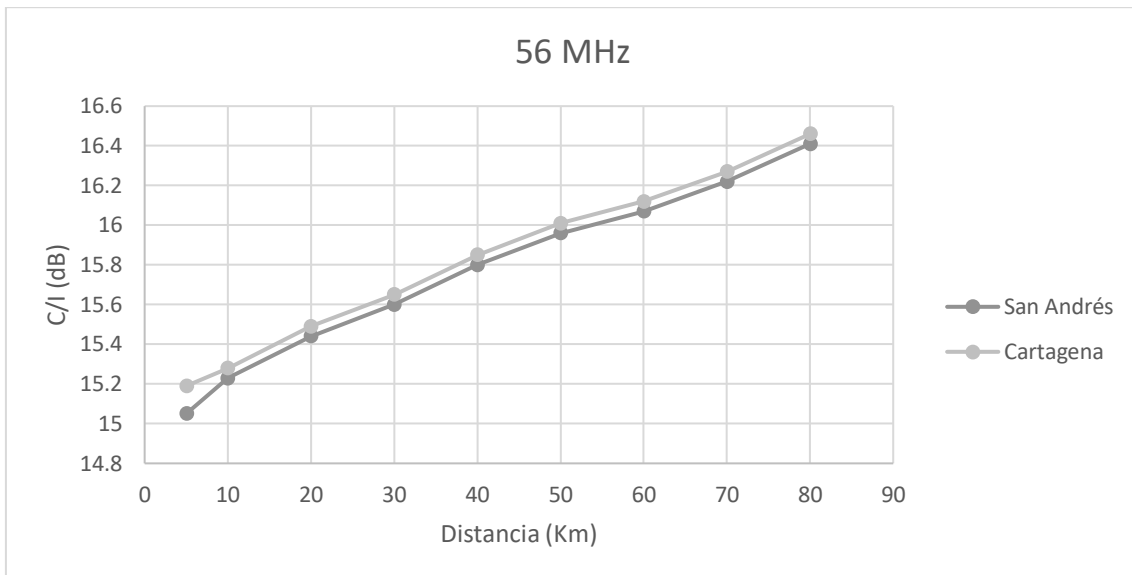


**Figura 35. Gráfico lineal para el parámetro C/I con ancho de banda de 28MHz para la evaluación del Escenario 2.**

De la Figura 35 se observan los puntos simulados en Seamcat para el escenario dos en la ciudad de San Andrés se pueden observar de un color oscuro y los puntos simulados para el escenario dos en la ciudad de Cartagena de un color más claro, además se observa que los valores para el parámetro C/I que respecto a los valores de la Figura 32, Figura 33 y Figura 34 son menores considerablemente, aunque ya no se encuentran todos los valores en un mismo umbral.

Los valores del parámetro C/I que se registran en la Figura 35 se encuentran repartidos entre el umbral aceptable y el umbral perjudicial, en los que tenemos que por parte del escenario en San Andrés se encuentran en el umbral aceptable los valores con distancias igual o mayores a 60Km y los valores con distancias menores a 60Km se encuentran en el umbral perjudicial, y por parte del escenario en Cartagena tenemos que se encuentran en el umbral aceptable los valores con distancias igual o mayores a 50Km y los valores con distancias menores a 50Km se encuentran en el umbral perjudicial, análisis del cual podemos concluir un mejor escenario el de Cartagena, ya que necesitaríamos menos distancias entre la antena entre el enlace primario y la antena de las aeronaves que serían los interferentes, además se nota que los valores registrados en el escenario de San Andrés y Cartagena son más cercanos al utilizar un ancho de banda de 28MHz que en la Figura 32, Figura 33 y Figura 34 en las cuales se utilizaron un ancho de banda de 3.5,7 y 14 MHz respectivamente.

En la Figura 36 se observa el gráfico lineal del parámetro C/I en función de la distancia a la que se encuentra el enlace primario de los enlaces interferentes teniendo como parámetro fijo el ancho de banda, que para este caso se utilizó un ancho de banda de 56MHz.



**Figura 36. Gráfico lineal para el parámetro C/I con ancho de banda de 56MHz para la evaluación del Escenario 2.**

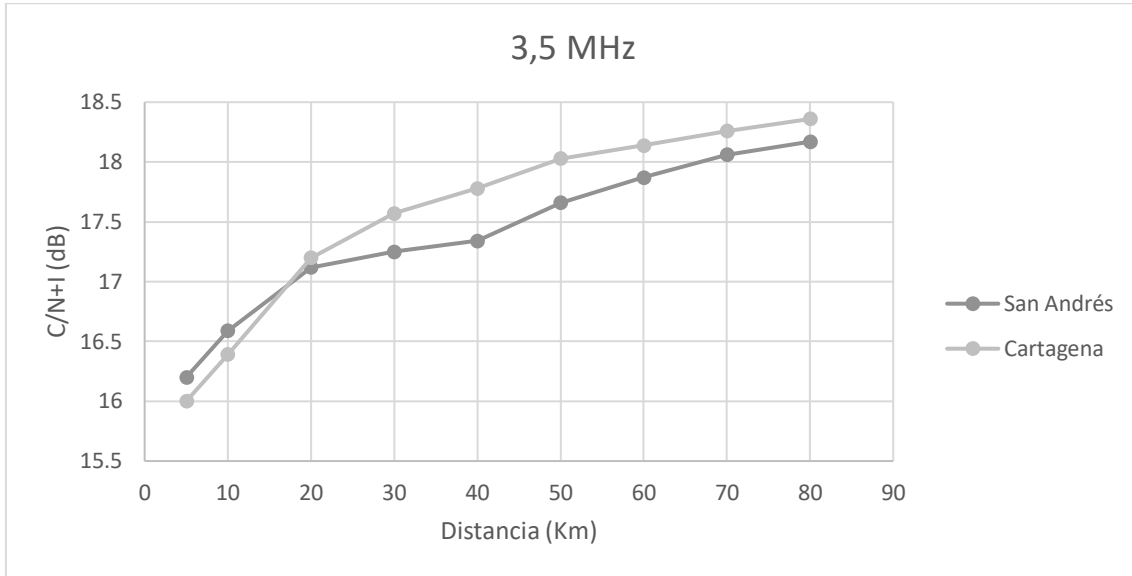
De la Figura 36 se observan los puntos simulados en Seamcat para el escenario dos en la ciudad de San Andrés se pueden observar de un color oscuro y los puntos simulados para el escenario dos en la ciudad de Cartagena de un color más claro, además se observa que los valores para el parámetro C/I que respecto a los valores de la Figura 32, Figura 33, Figura 34 y Figura 35 son menores considerablemente.

Los valores del parámetro C/I que se registran en la Figura 36 se encuentran en el perjudicial, por lo cual se puede concluir que, tanto el escenario en San Andrés como el escenario en Cartagena, no es permisible la convivencia de los servicios en estudio en la misma banda, mientras se utilice un ancho de banda de 56MHz, sin importar la distancia entre el enlace primario y los enlaces de las aeronaves, los cuales serían los interferentes además, se nota que los valores registrados en el escenario de San Andrés y Cartagena son más cercanos al utilizar un ancho de banda de 56MHz que en la Figura 32, Figura 33, Figura 34 y Figura 35 en las cuales se utilizaron un ancho de banda de 3.5,7,14 y 28 MHz respectivamente.

Finalizando con el análisis del parámetro relación portadora e interferencia C/I se puede deducir al observar la Figura 32, Figura 33, Figura 34, Figura 35 y Figura 36 que respecto a este parámetro para poder adicionar al servicio primario en la banda de 12.75-13.25GHz los enlaces de las aeronaves y barcos, debemos hacer uso de canales con anchos de bandas entre 3.5 y 7 MHz para no tener que condicionar las distancias entre las estaciones de dichos servicios.

Para el análisis de la Figura 37 se tiene en cuenta los umbrales que están registrados en la Tabla 25, específicamente para el parámetro (C/N+I).

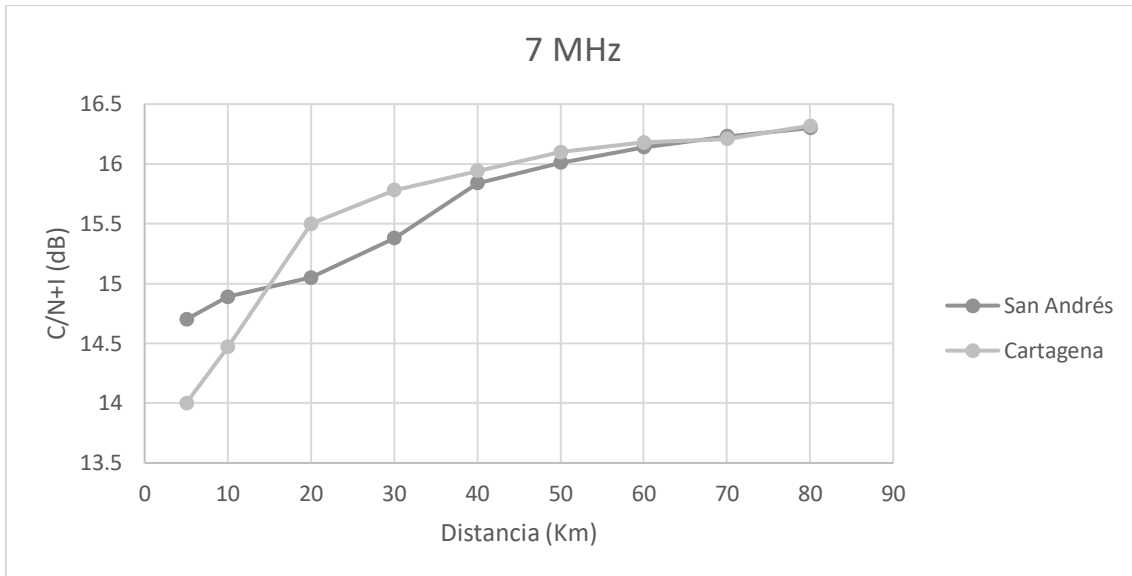
En la Figura 37 se observa el grafico lineal del parámetro C/N+I en función de la distancia a la que se encuentra el enlace primario de los enlaces interferentes teniendo como parámetro fijo el ancho de banda, que para este caso se utilizó un ancho de banda de 3.5MHz.



**Figura 37. Gráfico lineal para el parámetro C/N+I con ancho de banda de 3.5MHz para la evaluación del Escenario 2.**

De la Figura 37 se observan los puntos simulados en Seamcat para el escenario dos en la ciudad de San Andrés se pueden observar de un color oscuro y los puntos simulados para el escenario dos en la ciudad de Cartagena de un color más claro, además se observa que los valores para el parámetro C/N+I en función de la distancia son mayores en el escenario realizado en San Andrés que al realizado en Cartagena hasta cierto punto, el cual es a una distancia de 20Km, distancia en la cual los valores obtenidos en la simulación de San Andrés se cruza con los valores obtenidos en el escenario de Cartagena, siendo así que después de los 20Km sean mayores los valores obtenidos en el escenario de Cartagena que en el escenario de San Andrés, además de que a medida que aumenta la distancia entre el enlace primario y los enlaces de las aeronaves conocido como interferente, disminuye la diferencia entre los valores obtenidos en el escenario de San Andrés con los valores obtenidos en el escenario de Cartagena, aunque ambos se encuentren en su totalidad dentro del umbral admisible.

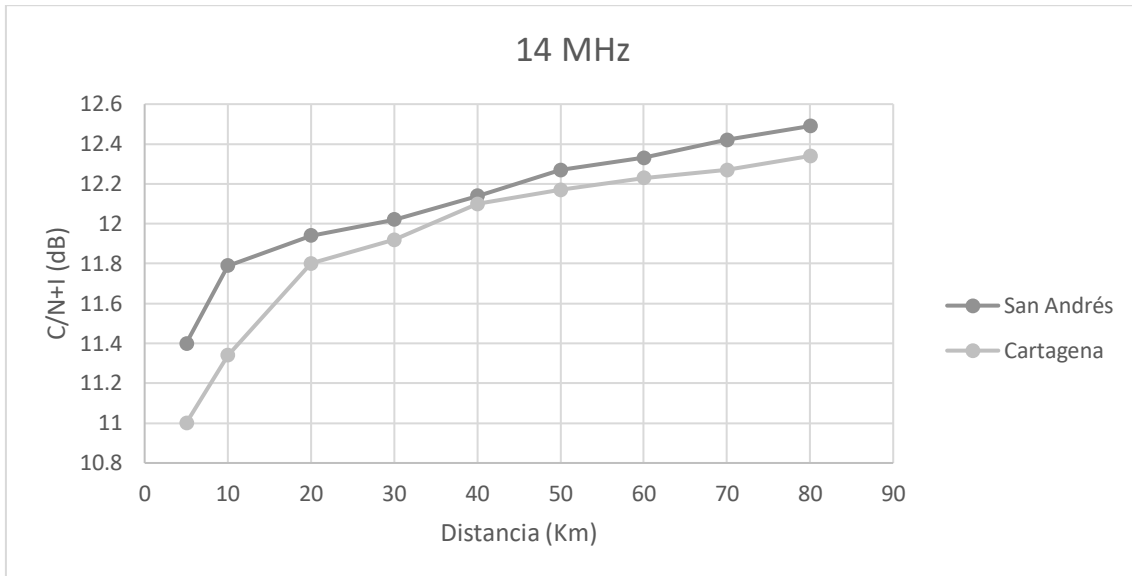
En la Figura 38 se observa el grafico lineal del parámetro C/N+I en función de la distancia a la que se encuentra el enlace primario de los enlaces interferentes teniendo como parámetro fijo el ancho de banda, que para este caso se utilizó un ancho de banda de 7MHz.



**Figura 38. Gráfico lineal para el parámetro C/N+I con ancho de banda de 7MHz para la evaluación del Escenario 2.**

De la Figura 38 se observan los puntos simulados en Seamcat para el escenario dos en la ciudad de San Andrés se pueden observar de un color oscuro y los puntos simulados para el escenario dos en la ciudad de Cartagena de un color más claro, además se puede observar que los valores para el parámetro C/N+I en función de la distancia son mayores en el escenario realizado en San Andrés que al realizado en Cartagena hasta cierto punto, el cual es a una distancia de 20Km, distancia en la cual los valores obtenidos en la simulación de San Andrés se cruza con los valores obtenidos en el escenario de Cartagena, siendo así que después de los 20Km sean mayores los valores obtenidos en el escenario de Cartagena que en el escenario de San Andrés, además de que a medida que aumenta la distancia entre el enlace primario y los enlaces de las aeronaves conocido como interferente, disminuye la diferencia entre los valores obtenidos en el escenario de San Andrés con los valores obtenidos en el escenario de Cartagena hasta un punto en el que casi la diferencia es de 0, aunque ambos se encuentren en su totalidad dentro del umbral admisible.

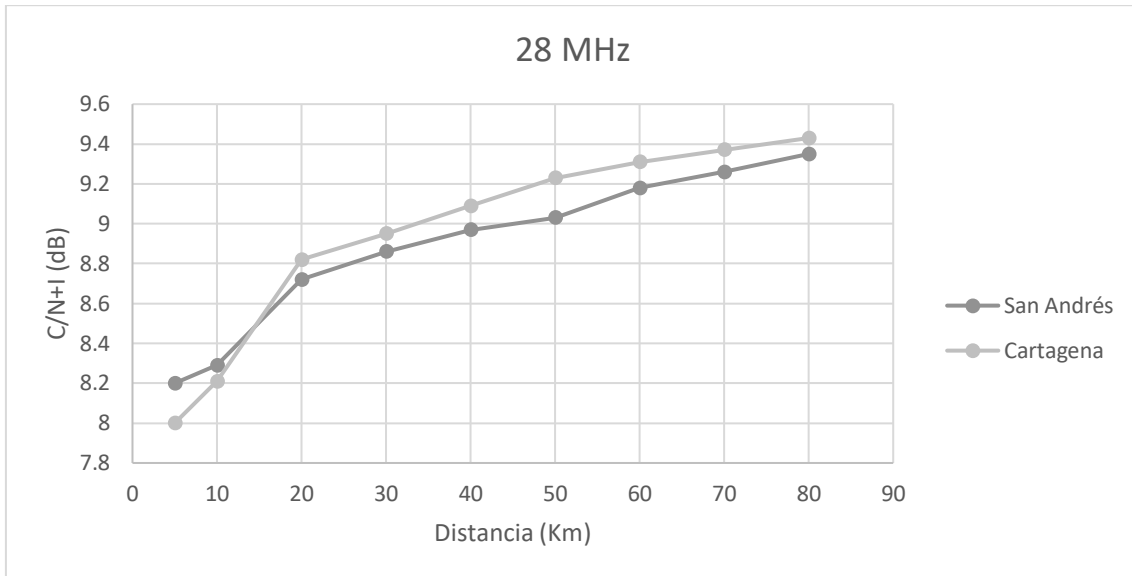
En la Figura 39 se observa el grafico lineal del parámetro C/N+I en función de la distancia a la que se encuentra el enlace primario de los enlaces interferentes teniendo como parámetro fijo el ancho de banda, que para este caso se utilizó un ancho de banda de 14MHz.



**Figura 39. Gráfico lineal para el parámetro C/N+I con ancho de banda de 14MHz para la evaluación del Escenario 2.**

De la Figura 39 se observan los puntos simulados en Seamcat para el escenario dos en la ciudad de San Andrés se pueden observar de un color oscuro y los puntos simulados para el escenario dos en la ciudad de Cartagena de un color más claro, además se observa que los valores para el parámetro C/N+I en función de la distancia son mayores en el escenario realizado en San Andrés que al realizado en Cartagena en cada punto aunque a medida que aumenta la distancia entre el enlace primario y los enlaces con las aeronaves conocidas como interferentes son más cercanos los valores obtenidos en el escenario en San Andrés con los valores obtenidos en el escenario en Cartagena, además los valores se encuentran repartidos entre el umbral admisible y el umbral aceptable, en donde para el caso de San Andrés se tienen que los valores obtenidos con una distancia igual o mayor a 30Km se encuentra en el umbral admisible, y si la distancia es mayor a 30Km se encuentra en el umbral aceptable, y para el caso Cartagena se tienen que los valores obtenidos con una distancia igual o mayor a 40Km se encuentra en el umbral admisible, y si la distancia es mayor a 40Km se encuentra en el umbral aceptable dentro del umbral admisible, además respecto a la Figura 37 y Figura 38 se puede observar que en la Figura 39 no hay un punto en el que se cruzan los datos obtenidos en el escenario de San Andrés con los obtenidos en el escenario de Cartagena.

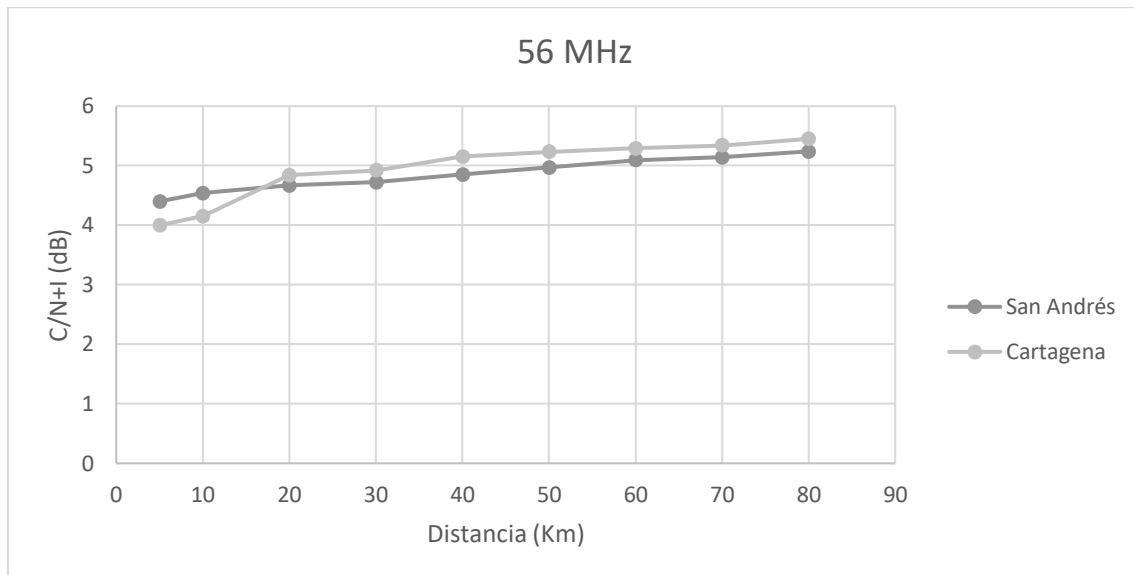
En la Figura 40 se observa el gráfico lineal del parámetro C/N+I en función de la distancia a la que se encuentra el enlace primario de los enlaces interferentes teniendo como parámetro fijo el ancho de banda, que para este caso se utilizó un ancho de banda de 28MHz.



**Figura 40. Gráfico lineal para el parámetro C/N+I con ancho de banda de 28MHz para la evaluación del Escenario 2.**

De la Figura 40 se observan los puntos simulados en Seamcat para el escenario dos en la ciudad de San Andrés se pueden observar de un color oscuro y los puntos simulados para el escenario dos en la ciudad de Cartagena de un color más claro, además se puede observar que los valores para el parámetro C/N+I en función de la distancia son mayores en el escenario realizado en San Andrés que al realizado en Cartagena hasta cierto punto, el cual es a una distancia de 20Km, distancia en la cual los valores obtenidos en la simulación de San Andrés se cruza con los valores obtenidos en el escenario de Cartagena, siendo así que después de los 20Km sean mayores los valores obtenidos en el escenario de Cartagena que en el escenario de San Andrés, además de que a medida que aumenta la distancia entre el enlace primario y los enlaces de las aeronaves conocido como interferente, disminuye la diferencia entre los valores obtenidos en el escenario de San Andrés con los valores obtenidos en el escenario de Cartagena, aunque ambos se encuentren en su totalidad dentro del umbral admisible.

En la Figura 41 se observa el grafico lineal del parámetro C/N+I en función de la distancia a la que se encuentra el enlace primario de los enlaces interferentes teniendo como parámetro fijo el ancho de banda, que para este caso se utilizó un ancho de banda de 56MHz.



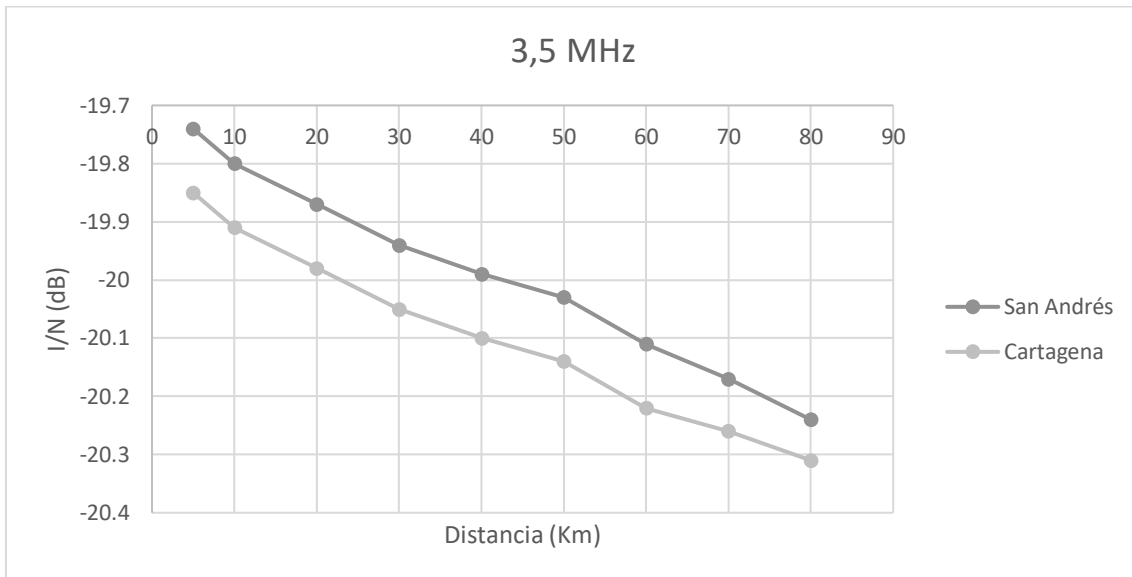
**Figura 41. Gráfico lineal para el parámetro C/N+I con ancho de banda de 56MHz para la evaluación del Escenario 2.**

De la Figura 41 se observan los puntos simulados en Seamcat para el escenario dos en la ciudad de San Andrés se pueden observar de un color oscuro y los puntos simulados para el escenario dos en la ciudad de Cartagena de un color más claro, además se observa que los valores para el parámetro C/N+I en función de la distancia son mayores en el escenario realizado en San Andrés que al realizado en Cartagena hasta cierto punto, el cual es a una distancia de 20Km, distancia en la cual los valores obtenidos en la simulación de San Andrés se cruza con los valores obtenidos en el escenario de Cartagena, siendo así que después de los 20Km sean mayores los valores obtenidos en el escenario de Cartagena que en el escenario de San Andrés, además de que a medida que aumenta la distancia entre el enlace primario y los enlaces de las aeronaves conocido como interferente, disminuye la diferencia entre los valores obtenidos en el escenario de San Andrés con los valores obtenidos en el escenario de Cartagena, aunque ya no se encuentran todos los valores en el mismo umbral, ya que para el caso del escenario de San Andrés tenemos que a una distancia igual o mayor a 40Km se encuentra en el umbral aceptable, pero si se encuentra a una distancia menor a 40Km se encuentra en el umbral perjudicial, y para el caso de Cartagena se tiene que a una distancia igual o mayor a 30Km se encuentra en el umbral aceptable, pero si se encuentra a una distancia menor a 30Km se encuentra en el umbral perjudicial.

Finalizando con el análisis del parámetro C/N+I se puede deducir al observar la Figura 37, Figura 38, Figura 39, Figura 40 y Figura 41 que respecto a este parámetro para poder adicionar al servicio primario en la banda de 12.75-13.25GHz los enlaces de las aeronaves y barcos, debemos hacer uso de canales con anchos de bandas entre 3.5 y 7 MHz para no tener que condicionar las distancias entre las estaciones de dichos servicios y se puede llegar a hacer uso del ancho de banda de 14 MHz, pero este si condicionándolo a una distancia entre el servicio fijo por satélite y los servicios interferentes no menor a 40Km.



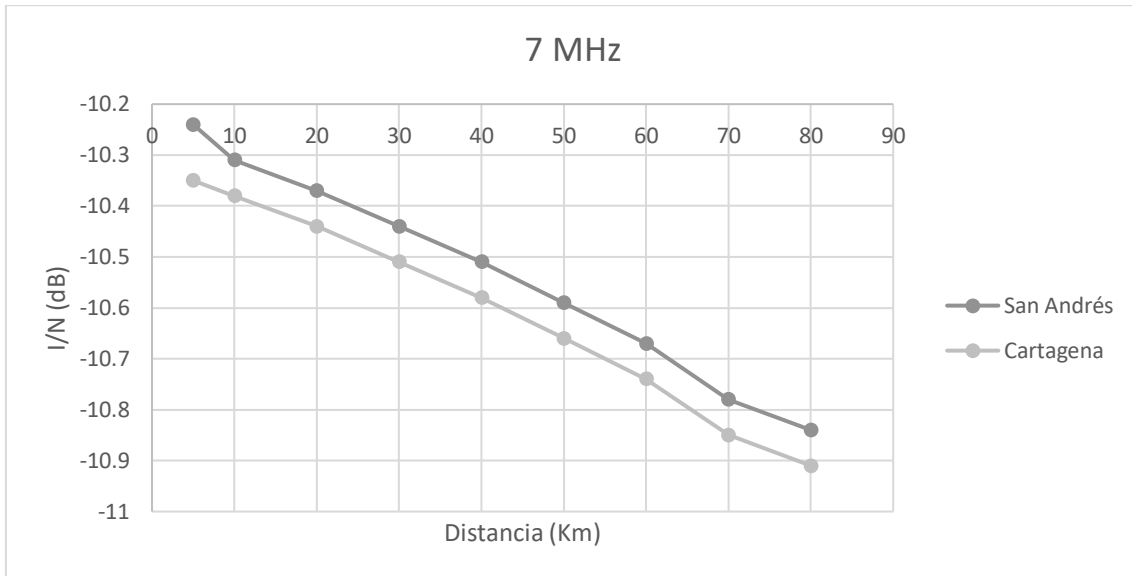
En la Figura 42 se observa el grafico lineal del parámetro I/N en función de la distancia a la que se encuentra el enlace primario de los enlaces interferentes teniendo como parámetro fijo el ancho de banda, que para este caso se utilizó un ancho de banda de 3.5MHz.



**Figura 42. Gráfico lineal para el parámetro I/N con ancho de banda de 3.5MHz para la evaluación del Escenario 2.**

De la Figura 42 se observan los puntos simulados en Seacat para el escenario dos en la ciudad de San Andrés se pueden observar de un color oscuro y los puntos simulados para el escenario dos en la ciudad de Cartagena de un color más claro, además se observa que los valores para el parámetro I/N en función de la distancia son mayores en el escenario realizado en San Andrés que al realizado en Cartagena, además se puede observar que la distancia entre los valores obtenidos en el escenario de San Andrés, respecto a los obtenidos en el escenario de Cartagena, es casi la misma en cada una de las distancias simuladas, y también se puede concluir respecto a la Tabla 25 que todos los valores tanto del escenario de San Andrés como del escenario de Cartagena se encuentran en el umbral de interferencia admisible.

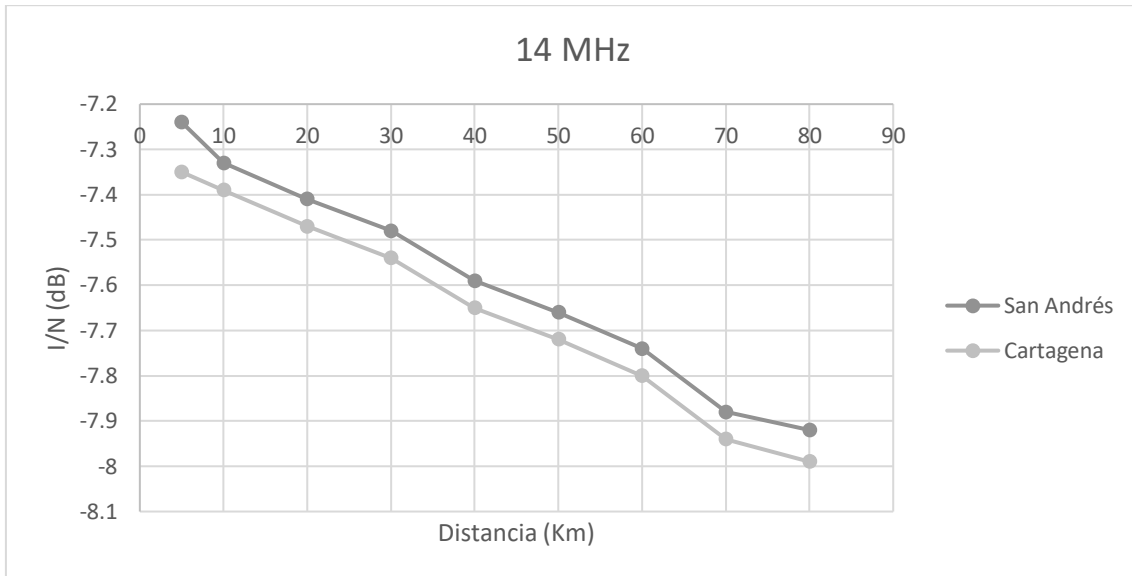
En la Figura 43 se observa el grafico lineal del parámetro I/N en función de la distancia a la que se encuentra el enlace primario de los enlaces interferentes teniendo como parámetro fijo el ancho de banda, que para este caso se utilizó un ancho de banda de 7MHz.



**Figura 43. Gráfico lineal para el parámetro I/N con ancho de banda de 7MHz para la evaluación del Escenario 2.**

De la Figura 43 se observan los puntos simulados en Seamcat para el escenario dos en la ciudad de San Andrés se pueden observar de un color oscuro y los puntos simulados para el escenario dos en la ciudad de Cartagena de un color más claro, además se observa que los valores para el parámetro I/N en función de la distancia son mayores en el escenario realizado en San Andrés que al realizado en Cartagena, además se puede observar que la distancia entre los valores obtenidos en el escenario de San Andrés, respecto a los obtenidos en el escenario de Cartagena, es casi la misma en cada una de las distancias simuladas, aunque si se observa respecto a la Figura 42 podemos observar que la diferencia entre los puntos es menor, con esto podríamos concluir que a medida que aumenta el ancho de banda se pueden asemejar los valores obtenidos entre el escenario de San Andrés respecto a los valores obtenidos en el escenario de Cartagena y también se puede concluir respecto a la Tabla 25 que todos los valores tanto del escenario de San Andrés como del escenario de Cartagena se encuentran en el umbral de interferencia aceptable.

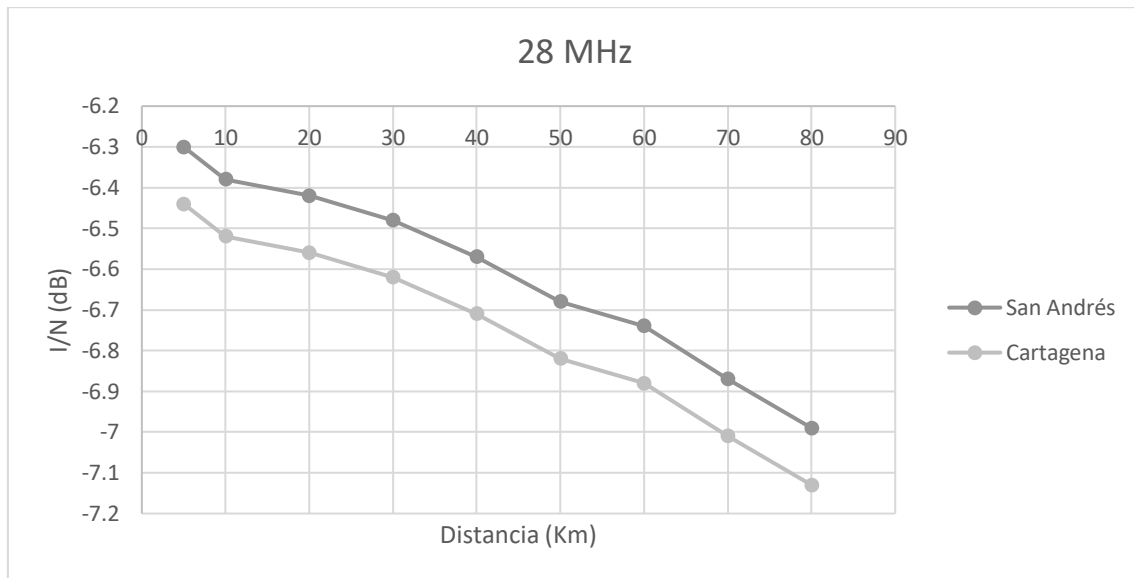
En la Figura 44 se observa el gráfico lineal del parámetro I/N en función de la distancia a la que se encuentra el enlace primario de los enlaces interferentes teniendo como parámetro fijo el ancho de banda, que para este caso se utilizó un ancho de banda de 14MHz.



**Figura 44. Gráfico lineal para el parámetro I/N con ancho de banda de 14MHz para la evaluación del Escenario 2.**

De la Figura 44 se observan los puntos simulados en Seamcat para el escenario dos en la ciudad de San Andrés se pueden observar de un color oscuro y los puntos simulados para el escenario dos en la ciudad de Cartagena de un color más claro, además se observa que los valores para el parámetro I/N en función de la distancia son mayores en el escenario realizado en San Andrés que al realizado en Cartagena, además se puede observar que la distancia entre los valores obtenidos en el escenario de San Andrés, respecto a los obtenidos en el escenario de Cartagena, es casi la misma en cada una de las distancias simuladas, aunque si observamos respecto a la Figura 42 y Figura 43 podemos observar que la diferencia entre los puntos es menor, con esto podríamos ratificar que a medida que aumenta el ancho de banda se asemejan los valores obtenidos entre el escenario de San Andrés respecto a los valores obtenidos en el escenario de Cartagena y también se puede concluir respecto a la Tabla 25 que todos los valores tanto del escenario de San Andrés como del escenario de Cartagena se encuentran en el umbral de interferencia aceptable.

En la Figura 45 se observa el gráfico lineal del parámetro I/N en función de la distancia a la que se encuentra el enlace primario de los enlaces interferentes teniendo como parámetro fijo el ancho de banda, que para este caso se utilizó un ancho de banda de 28MHz.



**Figura 45. Gráfico lineal para el parámetro I/N con ancho de banda de 28MHz para la evaluación del Escenario 2.**

De la Figura 45 se observan los puntos simulados en Seacat para el escenario dos en la ciudad de San Andrés se pueden observar de un color oscuro y los puntos simulados para el escenario dos en la ciudad de Cartagena de un color más claro, además se observa que los valores para el parámetro I/N en función de la distancia son mayores en el escenario realizado en San Andrés que al realizado en Cartagena, además se puede observar que la distancia entre los valores obtenidos en el escenario de San Andrés, respecto a los obtenidos en el escenario de Cartagena, es casi la misma en cada una de las distancias simuladas, aunque si observamos respecto a la Figura 42, Figura 43 y Figura 44 podemos observar que la diferencia entre los puntos es menor, con esto podríamos ratificar que a medida que aumenta el ancho de banda se asemejan los valores obtenidos entre el escenario de San Andrés respecto a los valores obtenidos en el escenario de Cartagena y también se puede concluir respecto a la Tabla 25 que los valores se reparten entre el umbral de interferencia aceptable, y el umbral de interferencia perjudicial, siendo para el caso de San Andrés tenemos que a una distancia igual o mayor a 40Km se encuentra en el umbral aceptable, pero si se encuentra a una distancia menor a 40Km se encuentra en el umbral perjudicial, y para el caso de Cartagena se tiene que a una distancia igual o mayor a 10Km se encuentra en el umbral aceptable, pero si se encuentra a una distancia menor a 10Km se encuentra en el umbral perjudicial.

En la Figura 46 se observa el gráfico lineal del parámetro I/N en función de la distancia a la que se encuentra el enlace primario de los enlaces interferentes teniendo como parámetro fijo el ancho de banda, que para este caso se utilizó un ancho de banda de 56MHz.



**Figura 46. Gráfico lineal para el parámetro I/N con ancho de banda de 56MHz para la evaluación del Escenario 2.**

De la Figura 46 se observan los puntos simulados en Seamcat para el escenario dos en la ciudad de San Andrés se pueden observar de un color oscuro y los puntos simulados para el escenario dos en la ciudad de Cartagena de un color más claro, además se observa que los valores para el parámetro I/N en función de la distancia son mayores en el escenario realizado en San Andrés que al realizado en Cartagena, además se puede observar que la distancia entre los valores obtenidos en el escenario de San Andrés, respecto a los obtenidos en el escenario de Cartagena, es casi la misma en cada una de las distancias simuladas, aunque si se observa respecto a la Figura 42, Figura 43, Figura 44 y Figura 45 podemos observar que la diferencia entre los puntos es menor, con esto podríamos ratificar que a medida que aumenta el ancho de banda se asemejan los valores obtenidos entre el escenario de San Andrés respecto a los valores obtenidos en el escenario de Cartagena y también se puede concluir respecto a la Tabla 25 que los valores se encuentran en el umbral de interferencia perjudicial.

Finalizando con el análisis del parámetro relación interferencia a ruido I/N se puede deducir al observar la Figura 42, Figura 43, Figura 44, Figura 45 y Figura 46 que respecto a este parámetro para poder adicionar al servicio primario en la banda de 12.75-13.25GHz los enlaces de las aeronaves y barcos, debemos hacer uso de canales con ancho de banda de 3.5 MHz para no tener que condicionar las distancias entre las estaciones de dichos servicios.

### 5.1 Recomendaciones.

Con el presente documento, se describe la recomendación final a la ANE producto de la investigación realizada, sobre el estudio y evaluación de convivencia y compatibilidad de los servicios existentes entre las estaciones

terrenas a bordo de aeronaves y barcos (ETEM) con las estaciones actuales y planificadas para la banda de frecuencia 12.75-13.25 GHz (Tierra-Espacio) en la isla de San Andrés y la ciudad de Cartagena en Colombia.

1. La recomendación surge debido a una convocatoria realizada por la ANE dirigido a las instituciones de educación superior que cuenten con grupos de investigación en las temáticas de interés u otras instituciones o centros de investigación y desarrollo cuyo objetivo social incluya la generación y desarrollo de conocimiento científico y tecnológico. El cual fue planteado para el desarrollo del proyecto en el sentido de investigación, desarrollo y evaluación de escenarios mediante simulación por el software SEAMCAT para recolectar resultados de convivencia y compartición de los servicios involucrados con el propósito de expandir la cantidad de servicios por banda de frecuencias.
2. El grupo de investigación, después de haber realizado el estudio durante un semestre académico, y haciendo uso de la herramienta de software SEAMCAT, se obtuvo resultados en el umbral de interferencia admisible en el escenario tres en San Andrés.

**Tabla 56. Resultados escenario 3 San Andrés**

Escenario 3 - San Andrés				
Parámetro	% Admisible	Ancho de banda (MHz)	Distancias (Km)	Umbral admisible
C/I	100	[3,5-56]	[5-80]	C/I > 20dB
C/N+I	60	[3,5-14]	[5-80]	C/N+I > 12dB
I/N	29	[3,5-7]	[5-80]	I/N < -12,2dB
		14	[50-80]	

Por lo tanto, se RECOMIENDA a la ANE tener en cuenta los escenarios creados, y así mismo el uso de ancho de banda por canal de 3.5MHz para una convivencia admisible dentro de los parámetros de distancia entre 5 y 80 Km, y umbrales de interferencia admisible C/I, C/N+I e I/N para que puedan convivir los servicios de SFS y ETEM a bordo de barcos y aeronaves.

## Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones.

En la presente investigación, la evaluación de convivencia entre los servicios fijos por satélite y las estaciones terrenas móviles, a bordo de barcos y aeronaves en la banda de 12.75-13.25 GHz para el territorio colombiano arrojó las siguientes conclusiones: ITU-R P.525-4 2019

En primera instancia, se pudo concluir que debido a que las distancias entre receptores y transmisores son extensas se recomienda el uso del modelo de propagación por espacio libre (Free Space) ITU-R P.525-4 2019, además este modelo es permisible para frecuencia de hasta 30GHz.

Al analizar el entorno colombiano para el problema propuesto en esta investigación se plantearon tres posibles casos de interferencia en las siete principales ciudades del país, como criterio de selección las condiciones de proximidad entre estación terrenas, tráfico aéreo y marítimo, se redujeron a las ciudades de San Andrés y Cartagena, para luego ser simulados con el software Seacat lo que permitió identificar los escenarios uno(servicio afectado el servicio fijo por satélite, servicios interferentes aeronaves y barcos simultáneamente), escenario dos(servicio afectado el servicio fijo por satélite, servicios interferentes aeronaves) y escenario tres(servicio afectado el servicio fijo por satélite, servicios interferentes barcos).

De los resultados de las simulaciones se puede inferir que el ancho de banda y las distancias entre los servicios fijos por satélite y los servicios interferentes dependen del parámetro usado para analizar la interferencia. Los resultados mostraron interferencia aceptable para el parámetro TD, los resultados son similares en particular para anchos de banda de 7 y 14 MHz. Por su parte los resultados basados en el I/N presenta resultados semejantes para anchos de banda de 14 y 28 MHz, para el parámetro C/I se presentan resultados comparables para anchos de banda de 28 MHz.

Al observar los resultados obtenidos en las simulaciones se puede concluir que el escenario más afectado por la interferencia es en el que conviven los servicios fijos por satélite y las comunicaciones a bordo de aeronaves, en donde se identificó el escenario dos en San Andrés como el caso más crítico ya que se obtuvo un resultado del 33% de los valores pertenecientes al umbral de interferencia perjudicial, por lo cual no se recomienda la convivencia de esos servicios con anchos de banda de 28 y 56 MHz a distancias menores a 50 Km.

Con base a los resultados obtenidos en las simulaciones se concluye que el caso con mejor desempeño en convivencia y compartición de servicios es el escenario tres en San Andrés ya que se obtiene un 0% de los resultados en el umbral de interferencia perjudicial, y además presenta un 30% de los resultados en el umbral de interferencia admisible.

Finalmente, este trabajo deja abierta posibles investigaciones futuras en estrategias de canalización, modulación y distancias de guarda para mejorar las

condiciones de convivencia y compartición entre los servicios presentes en los escenarios en que la interferencia fue aceptable o perjudicial.

## Referencias

1. UIT, “Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2019 (CMR-19)”, 22/Nov/2019, Disponible en: <https://www.itu.int/es/ITU-R/conferences/wrc/2019/Pages/default.aspx>
2. C, Hofer, “Comisión de Estudio 4 del UIT-R – servicios por satélite en la CMR-19”, 2019, Disponible en: [https://www.itu.int/en/ituNews/Documents/2019/2019-02/2019\\_ITUNews02-es.pdf](https://www.itu.int/en/ituNews/Documents/2019/2019-02/2019_ITUNews02-es.pdf)
3. “Microondas”, Wikipedia, 2021. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Microondas>, (Accedido: 20-Nov-2021).
4. “Banda Ku”, Wikipedia, 2021. Disponible en: [https://es.wikipedia.org/wiki/Banda\\_Ku](https://es.wikipedia.org/wiki/Banda_Ku), (Accedido: 20-Nov-2021).
5. ANE, “Propuesta para actualizar el régimen satelital y los parámetros de valoración para la contraprestación por utilización del espectro asociado al servicio satelital”, Disponible en: <https://www.ane.gov.co/Documentos%20compartidos/ArchivosDescargables/consultapublica/contenidos/Propuestaparametroscontrapestaciones/PropuestacontrapestacionesserviciossatelitalesV4.1CONSULTAPUBLICApublicada.pdf>.
6. CNABF, “CNABF, Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencia”, 2021. Disponible en: <https://portalespectro.ane.gov.co:10253/JsonConfigAne/CNABF.pdf>, (Accedido: 26-Nov-2021).
7. UIT, “Actas finales Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones 2003 (CMR-03)”, 04-Jul-2003. Disponible en: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/act/R-ACT-WRC.7-2003-PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/act/R-ACT-WRC.7-2003-PDF-S.pdf), (Accedido: 26-Nov-2021).
8. [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-S.2151-1-2012-PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-S.2151-1-2012-PDF-E.pdf)
9. <https://www.rtv.gov.co/content/servicio-fijo-por-satelite>
10. <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0843871418824955#>
11. Rec. ITU-R M.1478 and
12. [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/md/15/wrs16/sp/R15-WRS16-SP-0026!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/md/15/wrs16/sp/R15-WRS16-SP-0026!!PDF-E.pdf)
13. ITU-R M.633.
14. UIT, “Aspectos técnicos de los sistemas de estaciones terrenas de barco digitales”, Disponible en: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.921-2-1990-PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-M.921-2-1990-PDF-S.pdf)
15. UIT, “Use and examples of systems in the fixed satellite service in the event of natural disasters and similar emergencies for warning and relief operations”, Disponible en: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/f/R-REC-F.746-10-201203-!!PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/f/R-REC-F.746-10-201203-!!PDF-S.pdf)
16. UIT, “Manual Servicio móvil por satélite (SMS)”, Disponible en: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-41-2002-OAS-PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-41-2002-OAS-PDF-S.pdf)
17. MINTIC, “Reglamentación de las telecomunicaciones marítimas”, Decreto 2061 de 15 de noviembre de 1996, Disponible en: [https://normograma.mintic.gov.co/mintic/docs/decreto\\_2061\\_1996.htm](https://normograma.mintic.gov.co/mintic/docs/decreto_2061_1996.htm)
18. UAEAC, “Reglamentos Aeronáuticos de Colombia RAC 210”, Enmienda 1 septiembre 2021, Disponible en:



<https://www.aerocivil.gov.co/normatividad/RAC/RAC%20%20210%20%20-%20Telecomunicaciones%20%20Aeron%C3%A1uticas.pdf>

19. UIT, “Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT (RR)”, 2020, Disponible en: <https://search.itu.int/history/HistoryDigitalCollectionDocLibrary/1.44.48.es.303.pdf>

20. E.Stankevičius y Š.Oberauskas (October 2014) “Electromagnetic Compatibility Studies: LTE BS vs. Aeronautical Radionavigation Services in 694-790 MHz Frequency Band”, Disponible en: <https://sciendo.com/es/article/10.2478/ecce-2014-0016>

21. Y. Corredor y Castro (2017) “Parámetros Técnicos Para Evaluar Interferencias en la Simulación de Enlaces Microondas, Aplicable a la Agencia Nacional del Espectro”, Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/7974/CastroJimenezGefryAndres2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

22. “Colombian Navy (ARC) Major bases”, Wikipedia 26 de abril de 2011, Disponible en: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2a/Colombian\\_Navy\\_%28ARC%29\\_Major\\_bases.svg/375px-Colombian\\_Navy\\_%28ARC%29\\_Major\\_bases.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2a/Colombian_Navy_%28ARC%29_Major_bases.svg/375px-Colombian_Navy_%28ARC%29_Major_bases.svg.png)

23. UAEAC, “Crecimiento del Transporte Aéreo en la Región Latinoamericana y del Caribe”, Disponible en: [https://www.icao.int/Meetings/iwaf2018/Documents/Presentations/IWAF\\_Presentation\\_Session4\\_Colombia\\_SOnly.pdf](https://www.icao.int/Meetings/iwaf2018/Documents/Presentations/IWAF_Presentation_Session4_Colombia_SOnly.pdf)

24. “Fuerza Aérea Colombiana”, Wikipedia 24 jul 2022, Disponible en: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/eb/Mapa\\_Fac\\_2.png/800px-Mapa\\_Fac\\_2.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/eb/Mapa_Fac_2.png/800px-Mapa_Fac_2.png)

25. G. Teuta, H. Paz, G. Castellanos, M. Montero y L. Riaño, “Estudio de la coexistencia de los servicios IMT y fijo por satélite en la banda de 3.5 GHz para Colombia”, 31 de marzo de 2020.

26. Maldonado. C,” Diseño y realización de pruebas de simulación para determinar los parámetros críticos de coexistencia de los futuros servicios de Televisión Digital Terrestre DVB-T2 y las comunicaciones móviles LTE en Colombia.”, 30 de mayo de 2017.

27. UIT, “Metodología de simulación Monte Carlo para su aplicación en estudios de compartición y compatibilidad entre distintos servicios o sistemas de radiocomunicaciones”, junio de 2017, Disponible en: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2028-2-2017-PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2028-2-2017-PDF-S.pdf)

## WEBGRAFÍA

- <https://www.navy-radio.com/ant-ship.htm>
- [https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/41178/LD5655.V851\\_1996.H377.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/41178/LD5655.V851_1996.H377.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- [https://normograma.mintic.gov.co/mintic/docs/decreto\\_1078\\_2015.htm?q=estaciones+terrenas+en+movimiento](https://normograma.mintic.gov.co/mintic/docs/decreto_1078_2015.htm?q=estaciones+terrenas+en+movimiento)
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Puerto\\_Bol%C3%ADvar\\_\(La\\_Guajira\)#:~:text=Puerto%20Bol%C3%ADvar%20es%20un%20puerto,baja%20pluviosidad%20y%20vientos%20permanentes.](https://es.wikipedia.org/wiki/Puerto_Bol%C3%ADvar_(La_Guajira)#:~:text=Puerto%20Bol%C3%ADvar%20es%20un%20puerto,baja%20pluviosidad%20y%20vientos%20permanentes.)
- <https://www.ani.gov.co/proyecto/puertos/sociedad-portuaria-regional-de-santa-marta-sa-21360>
- <https://www.puertodebarranquilla.com/index.php/nuestros-servicios/>
- <https://www.ani.gov.co/zonas-portuarias/zona-portuaria-de-cartagena>

- <https://www.ani.gov.co/zonas-portuarias/zona-portuaria-del-golfo-de-morrosquillo>
- <https://www.ani.gov.co/zonas-portuarias/zona-portuaria-de-uraba>
- <https://www.ani.gov.co/zonas-portuarias/zona-portuaria-de-buenaventura>
- <https://www.businesswire.com/news/home/20171206005804/es/>
- <https://www.hispasat.com/es/grupo-hispasat/acerca-de-hispasat>
- <https://www.newslinereport.com/satelite/nota/intelsat-y-skynet-llevar-banda-ancha-de-alta-velocidad-a-zonas-remotas-de-colombia>
- <https://www.eje21.com.co/2015/07/nuevo-satelite-de-telecomunicaciones-star-one-c4-llega-a-colombia/>
- <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-560299>
- <https://www.portafolio.co/internacional/el-satelite-star-one-d2-es-puesto-en-orbita-con-exito-554589>
- <https://sky.net.co/servicios2/>
- <https://wiki.cept.org/display/SH/5.4.2+Coverage+radius>
- [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/s/R-REC-S.524-9-200604-I!!PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/s/R-REC-S.524-9-200604-I!!PDF-S.pdf)
- [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/s/R-REC-S.2049-0-201312-I!!PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/s/R-REC-S.2049-0-201312-I!!PDF-S.pdf)
-

## **Anexos.**

### **1. Anexo 1. PROTOCOLO DE SIMULACIÓN:**

En este anexo se hará la explicación de los procesos claves para realizar la simulación de la compatibilidad y convivencia de los servicios previamente mencionados.

#### **1.1 Objetivos**

- Comprobación técnica de los niveles de señal de los servicios de enlace de subida en la banda de 12.75-13.25 GHz.
- Medición de interferencias, en unos entornos geográficos definidos, con el fin de determinar la intensidad de la señal y los efectos de la interferencia provocada por los servicios a coexistir en la banda.

#### **1.2 Condiciones preliminares**

El método de simulación Monte-Carlo se basa en la toma de muestras de variables aleatorias sus distribuciones. El usuario ingresa distribuciones de valores posibles de los parámetros, y el software los usa para extraer muestras (también llamado prueba o snapshot). Luego, para cada ensayo, SEAMCAT calcula la intensidad de la interferencia y la señal deseada y las almacena como arreglos. El software deriva la probabilidad de interferencia teniendo en cuenta la calidad del receptor en un entorno conocido y las señales calculadas.

#### **1.3 Metodología de medición**

##### **1.3.1 Modelos de simulaciones.**

En la Figura 47, se describe el árbol de las variaciones de simulaciones que se llevarán a lo largo de las pruebas. En primera instancia se desarrollarán las modificaciones de los escenarios que van a depender del tipo de interferencia si es de ETA o ETB a ETSE o también si se tiene una interferencia de ETA y ETB a ETSE. El tercer elemento de las variaciones serán los modelos de propagación que en este caso es ITU-R P.525(Free Space); también se tendrá como variación la banda para tener en cuenta en la simulación. Y finalmente la ciudad en la que se realizara el estudio. Los 3 escenarios, el modelo de propagación, la banda de frecuencias y la ciudad nos da un total de 6 simulaciones para su posterior análisis, en el que se realiza la simulación con 500 eventos por simulación.

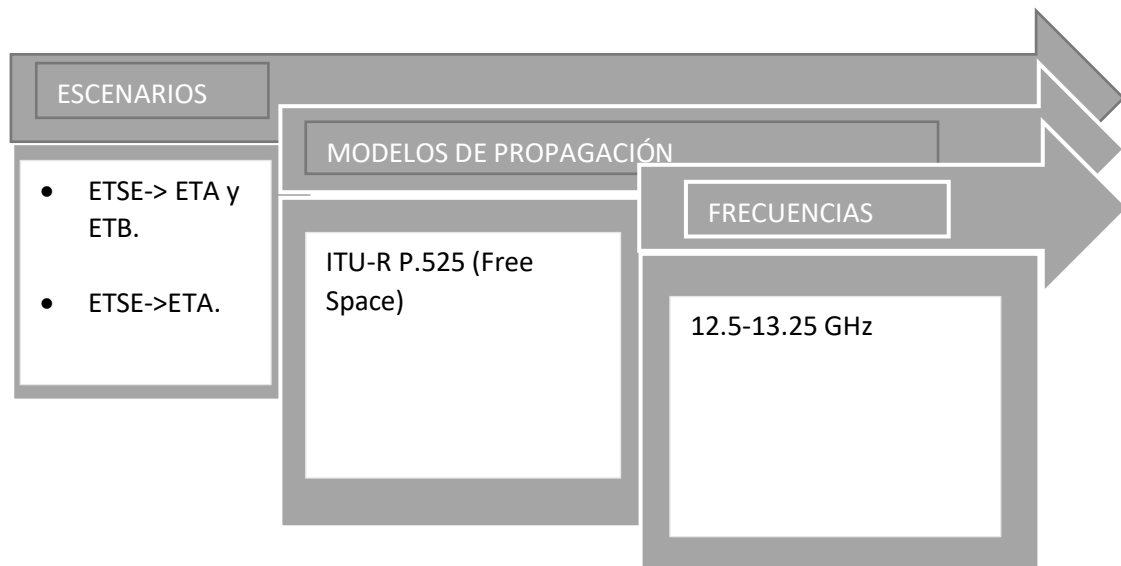


Figura 47. Modelo de árbol de simulaciones y parámetros a variar.

#### 1.4 Especificaciones técnicas de la simulación: cuadro, modelo de propagación.

##### 1.4.1 Características generales de un enlace satelital en la banda Ku.

Según UIT los parámetros típicos de las estaciones terrenas para servicios FSS son los reportados en la Tabla 56, UIT-R S.1328-3

Tabla 57. Parámetros de las estaciones terrenas en servicio FSS.

Parámetro		OSG C
Gama de frecuencias	Enlace Ascendente	12.75-13.25 GHz
	Enlace Descendente	11.2-11.45 GHz
Espectro requerido en cada sentido (MHz)		150
Parámetros de transmisión de portadora		
Anchura de banda del receptor (kHz)		3-90
Anchura de banda atribuida (kHz)		5-1250
Relación ( $C/N_0$ ) global (dB/Hz)		41-57
p.i.r.e/portadora enlace ascendente (dBW)		36-52
p.i.r.e/portadora enlace descendente (dBW)		-2 a 14
Parámetros de antena de satélite		
Ganancia de transmisión de cresta (dB)		30 a todas las frecuencias
Parámetros de antena de estación terrena		
Ganancia de transmisión máxima (dBi)		61.3 a 13 GHz
Ganancia de recepción máxima (dBi)		60 a 11 GHz
Diagrama de radiación		Rec. UIT-R S.580
Angulo mínimo de elevación		25

## 1.4.2 Definición de frecuencias

Los movimientos espectrales están denotados dependiendo del tipo de interferencia de cada escenario. En este caso, se entienden que los movimientos espectrales son las canalizaciones de cada uno de los servicios a evaluar. Como se ha dicho en la definición de escenarios. Los anchos de banda de los servicios están definidos de la siguiente manera FSS=25MHz, ETA=18MHz y ETB=18MHz. Otros tipos de canalización no se tendrán en cuenta en este experimento.

Como las frecuencias posibles dentro de nuestro rango de evaluación son inmensas, se tendrá como primer parámetro de decisión las frecuencias de los canales satelitales ya existentes dentro de nuestro rango de frecuencias. Estos se enumeran en la Tabla 57. Estos canales están también delimitados por las estaciones FSS descritas en la sección anterior.

*Tabla 58. Bandas de frecuencias para los canales satelitales FSS.*

Canal	Frecuencia Central (MHz)	Frecuencia Inicial (Fi) (MHz)	Frecuencia Final (Ff) (MHz)	Satélite
A	13262	13250	13275	Intelsat 21

## 2. Anexo 2. Herramienta de simulación SEAMCAT

SEAMCAT® es una herramienta de software basada en el método de simulación Monte-Carlo, que fue desarrollada en el marco de la Conferencia Europea de Administraciones Postales y de Telecomunicaciones (CEPT). Esta herramienta permite el modelado estadístico de diferentes escenarios de interferencias de radio para realizar estudios de compartición y compatibilidad entre sistemas de radiocomunicaciones en la misma banda de frecuencias o en bandas adyacentes.

El software es mantenido por ECO (European Communications Office) y se tiene acceso de forma gratuita. Además, está disponible un Manual SEAMCAT, que permite al usuario comprender con que precisión funciona el software.

En el software SEAMCAT se puede modelar cualquier tipo de sistemas de radio en escenarios de interferencia terrestre. Los resultados incluyen, entre otras cosas, la cuantificación de la probabilidad de interferencia entre varios sistemas de radio, la consideración de las distribuciones espaciales y temporales requeridas de las señales recibidas o la pérdida de capacidad debido a la interferencia.

## **Lista de acrónimos.**

ACAS : Airborne Collision Avoidance System  
ACC: Centro de Control de Área Superior  
ADS-B: Automatic Dependent Surveillance Broadcast.  
ANE: Agencia Nacional del Espectro  
ARC: Armada de la República de Colombia  
ASDE: Airport Surface Detection Equipment  
ATIS: Automatic Terminal Information System  
BER: Bit Error Rate  
CDMA: Control Division Multiple Access  
CMR: Conferencia mundial de Radiocomunicaciones  
CNABF: Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencia  
DME: Distance Measuring Equipment  
EFVS: Enhanced Flight Vision System  
EHF: Extremely High Frequency  
ELT: Emergency Locator Transmitter  
ETEM: Estación Terrena en Movimiento  
FAC: Fuerza Aérea Colombiana  
FDMA: Frequency Division Multiple Access  
FSS: Fixed Satellite Service.  
GBAS: Ground Based Augmentation System  
GNSS: Global Navigation Satellite System  
GPS: Global Positioning System  
HF: High Frequency  
I+D+i: Investigación, desarrollo e innovación  
IATA : International Air Transport Association  
ILS: Instrument Landing System  
IMT: Telecomunicaciones Móviles Internacionales:  
ITU: International Telecommunication Union  
MES: Mobile Earth Station  
MF: Medium Frequency  
MinTIC: Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones  
OMI: Organización Marítima Internacional  
OSG: Orbita de satélite Geoestacionario  
p.i.r.e: Potencia Isotrópica Radiada Equivalente  
PSR: Primary Surveillance Radar  
SFS: Servicio Fijo por Satélite  
SHF: Super High Frequency  
SMS: Servicio Móvil por Satélite  
SMSSM: Sistema Mundial de Socorro y Seguridad Marítimos  
SRS: Servicio de Radiodifusión por Satélite  
SSR: Secondary Surveillance Radar  
TDMA: Time Division Multiple Access  
TWR: Air Traffic Control Tower  
UHF: Ultra High Frequency

UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones.  
VDL: Very High Frequency Data Link  
VHF: Very High Frequency  
VOLMET: Información meteorológica para aeronaves en vuelo  
VOR: Very High Frequency Omnidirectional Radio Range  
WAIC: Wireless Avionics Intra Communication