



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**CARACTERIZACION DE UN CAMPO
DE MEDIDAS DE ANTENAS**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

PRESENTA:

PACHECO CASTAÑEDA CARLOS EDGARDO

**DIRECTOR DE TESIS:
DR. JOSE MARIA MATIAS MARURI**

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO ,2015.





ÍNDICE.

Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	4
Glosario.....	6
Referencias.....	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	9
CAPÍTULO II. ANTECEDENTES.....	11
2.1. UTILIDAD DEL ÁREA ABIERTA.....	11
2.2. NORMAS Y ESTÁNDARES PARA CAMPOS DE MEDIDAS.....	11
2.2.1. NOM-088/1-SCT1-2002.....	11
2.2.2. CISPR-16-14.....	13
2.2.3. ANSI C63.4-2001.....	14
CAPÍTULO III. OBJETIVO.....	16
CAPÍTULO IV. DESCRIPCION DEL PROYECTO.....	17
4.1. IVESTEL.....	17
4.2. NECESIDAD DEL AREA ABIERTA.....	17
4.3. PLANO DE TIERRA Y TIERRAS FÍSICAS.....	18
4.3.1. PLANO DE TIERRA.....	18
4.3.2. TIERRAS FÍSICAS.....	20
4.4. MÁSTIL Y BARRIDO DE ALTURA.....	23
CAPÍTULO V. ANÁLISIS Y METODOLOGÍA EMPLEADA.....	24
5.1. PROCEDIMIENTOS DE MEDIDA.....	24
5.2. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS.....	25
CAPÍTULO VI. REALIZACIÓN DE MEDIDAS.....	29
6.1. PRECAUCIONES E INDICACIONES.....	29
6.2. COMPROBACION DE DISEÑO Y PROPORCIONES DEL CAMPO.....	30
6.3. EQUIPAMIENTO.....	33
6.3.1. ANALIZADOR DE ESPECTRO.....	33



6.3.2. GENERADOR DE RADIO FRECUENCIA.....	35
6.3.3. CABLES COAXIALES.....	35
6.3.4. ANTENAS.....	37
6.3.4.1. ANTENA BICONICA.....	37
6.3.4.2. ANTENA LOGOPERIODICA.....	42
6.3.5. PROBADOR DE AISLAMIENTO DE TIERRA.....	46
6.4. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	47
6.5. RUIDO AMBIENTAL.....	49
CAPÍTULO VII. RESULTADOS.....	50
7.1. MEDIDAS CAMPO ORIGINAL.....	50
7.1.1. POLARIZACIÓN VERTICAL.....	52
7.1.2. POLARIZACIÓN HORIZONTAL.....	54
7.2 MEDIDAS DE CAMPO MODIFICADO.....	56
7.2.1. POLARIZACIÓN VERTICAL.....	56
7.2.1. POLARIZACIÓN HORIZONTAL.....	60
7.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....	62
7.3.1. POLARIZACIÓN VERTICAL.....	63
7.3.2. POLARIZACIÓN HORIZONTAL.....	65
CAPÍTULO VIII. CONCLUSIONES.....	68



Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama de reflexiones.....	19
Figura 2. Distribución y medidas de las placas en plano de tierra de Ivestel.	19
Figura 3. Puntos de conexión y perímetro del área abierta.....	20
Figura 4. Planos de tierras físicas.	21
Figura 5. Conjunto de tierras A.	22
Figura 6. Conjunto de tierras B y C.....	22
Figura 7. Mástil.....	23
Figura 8. Diagrama de proporciones teóricas de un área abierta.....	30
Figura 9. Plano de la azotea de Ivestel y del área abierta.....	32
Figura 10. Analizador de espectro R&S FSV40.	34
Figura 11. Generador de radio frecuencia R&S SMT 02.....	35
Figura 12. Esquema cable coaxial.....	36
Figura 13. Atenuación del cable LMR400 a 0 dBm.....	37
Figura 14. Dimensiones de la antena bicónica (Dimensiones en pulgadas).	39
Figura 15. Patron de radiacion antena biconica.	39
Figura 16 .Grafica de ganancia antena bicónica.	41
Figura 17. Antena logo periódica	43
Figura 18. Patrón de radiación antena logoperiodica. Campo electrico.....	44
Figura 19. Patrón de radiación antena logoperiodica. Campo magnético.....	44
Figura 20. Gráfica de la ganancia de la antena Logoperiodica.....	45
Figura 21. Probador de aislamiento de tierra.	47
Figura 22. Pantalla analizador de espectro polarización vertical campo original.....	50
Figura 23. Pantallazo de V directo.....	51
Figura 24. Grafica de resultados campo original polarización vertical.	53
Figura 25. Pantalla analizador de espectro polarización horizontal campo original.	54
Figura 26. Grafica de resultados campo original polarización horizontal.....	56
Figura 27. Pantalla analizador de espectro polarización vertical campo modificado.....	57
Figura 28. Pantallazo V directo.....	57



Figura 29. Grafica de resultados campo modificado polarización vertical.	59
Figura 30. Pantalla analizador de espectro polarización horizontal campo modificado.	60
Figura 31. Grafica de resultados campo modificado polarización horizontal.....	62
Figura 32. Comparación polarización vertical.	65
Figura 33. Comparación polarización horizontal.	67
Figura 34. Comparación polarización vertical.	69
Figura 35. Comparación polarización horizontal.	69

Índice de Tablas.

<i>Tabla 1. Niveles de ANS para un sitio ideal.</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 2. Especificaciones para la toma de lectura.</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 3. Fuentes de error y magnitudes.</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 4 .Condiciones Atmosféricas Normalizadas.</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 5 .Especificaciones del analizador de espectro R&S FSV40.</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 6. Especificaciones generador de señales R&S SMT 02.</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 7. Especificaciones técnicas antena bicónica.</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 8. Dimensiones de la antena bicónica.</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 9. Factor de antena (FA) de la antena bicónica.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 10. Especificaciones técnicas de la antena logoperiodica.</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 11 .Dimensiones antena logoperiodica.</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 12. Factor de antena (FA) de la antena Logoperiodica.</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 13. Resolución del probador de aislamiento de tierra.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 14. Manejo de datos.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 15. Campo original polarización vertical de 30MHz a 500MHz</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 16. Campo original polarización vertical de 600MHz a 1GHz.</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 17. Campo original polarización horizontal de 30MHz a 40MHz.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 18. Campo original polarización horizontal d 45 MHz a 1GHz.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 19. Campo modificado polarización vertical de 30MHz a 400MHz.</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 20. Campo modificado polarización vertical de 500 MHz a 1GHz.</i>	<i>59</i>



Tabla 21. Campo modificado polarización horizontal de 30MHz a 50MHz. 60

Tabla 22. Campo modificado polarización horizontal 60MHz a 1GHz. 61

Tabla 23. Tabla de comparación polarización vertical 30MHz a 180MHz. 63

Tabla 24. Tabla de comparación polarización vertical de 200MHz a 1GHZ. 64

Tabla 25. Tabla de comparación polarización horizontal. 66

Tabla 26. Cotización Aproximada para un campo de pruebas tipo área abierta. 71



Glosario.

- ANS- Atenuación Normalizada de sitio –Es la atenuación que sufre la señal en su propagación entre las dos antenas del sitio
- ANSI- American National Standards Institute, El Instituto Nacional Estadounidense de Estándares
- BW- Ancho de banda.
- CEI- Comisión Electrotecnia Internacional (IEC, International Electro technical Commission)
- CISPR- Comité Especial Internacional en Radio Interferencia (International Special Committee on Radio Interference)
- COFETEL- Comisión Federal de Telecomunicaciones.
- EMI- Estudios de interferencia electromagnética.
- Factor de Antena (FA)- Es la relación de la intensidad de campo eléctrico incidente a la tensión que se produce en las terminales de la antena a una impedancia de 50 ohmios. El factor de antena es usado para convertir el Voltaje recibido en intensidad del campo en watt/metro ó dBµV/metro, su definición matemática es la siguiente :

$$AF = \frac{E}{V}$$

Dónde:

E- es el campo eléctrico

V- es el voltaje

- Comisión Federal de Comunicaciones (Federal Communications Commission) (FCC) agencia estatal independiente de Estados Unidos, bajo responsabilidad directa del congreso.
- Ganancia- La ganancia de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia y la densidad de potencia que radia a la misma distancia una antena isotrópica con la misma potencia entregada.
- Generador de seguimiento- dispositivo electrónico dentro del analizador de espectro que permite efectuar medidas en un cierto ancho de banda de manera continua.
- Hertz- En el sistema SI es el número de ciclos por segundo de una forma de onda
- IEC. Comisión Electrotécnica Internacional (International Electrotechnical Commission).
- IFT- Instituto Federal de Telecomunicaciones.
- ISO- Organización Internacional de Estandarización (International Organization for Standardization)
- NOM- Norma Oficial Mexicana
- PAT- Probador de aislamiento de tierras
- Patrón de radiación- Representación gráfica las propiedades de radiación de la antena en función de las coordenadas espaciales.
- Ruido- toda perturbación que aparece en el sistema y no tiene ningún tipo de relación con la señal transmitida ni con ninguna otra de la misma naturaleza
- Rx- recepción



- Tx- transmisión
- UHF- Ultra High Frequency, 'frecuencia ultra alta' es una banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 300 MHz a 3 GHz.
- VHF- Very High Frequency 'muy alta frecuencia' es la banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 30 MHz a 300 MHz.
- VSWR-Tasa de ondas estacionarias expresión en unidades de tensión.

NOTA: EL proyecto se desarrolló principalmente mientras existía la COFETEL y se terminó de escribir mientras existía la IFT, por ello, en el documento se hace referencia principalmente a la COFETEL.



Referencias

- [1]. ANSI C63.4-2001. CISPER 16-1-4.
- [2]. NOM-088/1-SCT1-2002. , TELECOMUNICACIONES-RADIOCOMUNICACION-EQUIPOS DE MICROONDAS PARA SISTEMAS DEL SERVICIO FIJO MULTICANAL PUNTO A PUNTO Y PUNTO A MULTIPUNTO-PARTE I: RADIO ACCESO MULTIPLE , 4 de marzo de 2003
- [3]. CISPER 16 -1 -4: 2004, SPECIFICATION FOR RADIO DISTURBANCE AND IMMUNITY MEASURING APPARATUS AND METHODS
- [4]. Recomendación UIT-R F.403-3 (1978) Características de frecuencia intermedia para la interconexión de relevadores radioeléctricos analógicos.
- [5]. Recomendación UIT-R F.701-2 (1997) Disposiciones de radiocanales para sistemas radioeléctricos analógicos y digitales punto a punto y punto multipunto que funcionan en bandas de frecuencias de la gama 1,350 a 2,690 GHz (1,5 GHz/ 1,8 GHz/ 2,0 GHz/ 2,2 GHz/ 2,4 GHz y 2,6 GHz).
- [6]. Recomendación UIT-R F.1191-1 (1997) Anchuras de banda y emisiones no esenciales de los sistemas de relevadores radioeléctricos digitales.
- [7]. Recomendación UIT-R SM.329-7 (1997) Emisiones no esenciales.
- [8]. Recomendación UIT-R SM.328-10 (1999) Espectros y anchuras de bandas de las emisiones no esenciales.
- [9]. Recomendación UIT-R SM. 1045-1 (1997) Tolerancia de frecuencia en los transmisores.
- [10]. Recomendación UIT-R V.574-3 (1990) Uso del decibelio y neperio en Telecomunicaciones.
- [11]. Diccionario Enciclopédico de Términos Técnicos (1995) - Javier L. Collazo - Editorial McGraw Hill.
- [12]. Ley Federal de Metrología y Normalización y su Reglamento, Cámara de diputados H .Congreso de la Unión, Secretaria General ,Secretaria de Servicios Parlamentarios, Publicada en el Diario Oficial de la federación 14 de Enero de 1999, Ultima Reforma 28 de noviembre de 2012.
- [13]. NOM-022-STPS-2008(Electricidad Estática en los Centros de Trabajo-Condiciones de Seguridad e Higiene)
- [14]. Practicas recomendadas para la conexión de tierras de sistemas electrónicos industriales y comerciales, IEEE 142, IEEE ,1991
- [15]. Diccionario de Electrónica, Informática y Energía Nuclear, Mariano Mataix Lorda, Miguel Mataix Hidalgo, edit. Díaz de santos S.A., Pag.30.
- [16]. Manual de usuario antena mini bicónica modelo 3180 ETS LINDGREN™.
- [17]. Analisis de circuitos: Teoría y Práctica, Allan Robbins, Wihelm C.Miller, edit. CENGAGE Learning, pág. 468



CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.

Hoy en día se producen equipos de radiocomunicaciones wifi, bluetooth, radios de onda corta, etc., a lo largo y ancho del mundo, por lo cual surge la necesidad de homologar todos los dispositivos a las regulaciones mexicanas y a las recomendaciones internacionales, para su correcto funcionamiento, es por esto que los organismos nacionales certifican que los equipos funcionan correcta y armónicamente antes de ser lanzados al mercado mexicano. Esto para los casos en que los estándares internacionales no hayan sido considerados como suficientes por la COFETEL para su inserción en el mercado mexicano.

Por esto es necesario el disponer áreas de trabajo homologadas para el estudio de equipos en donde se puedan medir sus características de radiación. Estas áreas de trabajo pueden ser cámaras anecoica o en su defecto áreas abiertas las cuales necesitan una caracterización para conocer sus propiedades de reflexión y sus propiedades de atenuación de las señales que se encuentren viajando en el espacio libre y, de esa forma, estar seguros que son propicias para la certificación de equipos.

Estos espacios de medida, son áreas que cumplen estándares que certifican que los estudios realizados en ellas son de carácter efectivo para las normas a las se tiene que se tiene sujetar los distintos equipos de telecomunicaciones.

Preferentemente las pruebas de certificación deberían de ser hechas en una cámara anecoica, la cual se encuentra totalmente aislada de señales externas pero su construcción resulta ser una inversión considerable. Para resolver esto existe la opción de construir un área abierta, la cual proporciona la misma eficacia pero a un costo menor.

Otra de las ventajas de un área abierta es que su construcción es sencilla y se puede edificar casi en cualquier locación, como una azotea o patio en un espacio no menor de 10 metros cuadrados.

IVESTEL (Ingeniería y Verificación de Equipos y Sistemas de Telecomunicaciones S.A. de C.V.) es la empresa mexicana experta en actividades de evaluación de la conformidad, acreditada como laboratorio de pruebas de telecomunicaciones y radiofrecuencia, así como unidad de verificación comercial y etiquetado por las autoridades mexicanas correspondientes.

El objetivo de esta tesis es evaluar, caracterizar y mejorar un campo de medidas tipo área abierta, ubicada en la empresa Ivestel que será usada para la certificación de equipo, sujetándose a normas nacionales y estándares internacionales para su validación, así como especificar cómo se construyó y modificó para ajustarla a las normas.

NOTA: EL proyecto se desarrolló principalmente mientras existía la COFETEL y se terminó de escribir mientras existía la IFT, por ello, en el documento se hace referencia principalmente a la COFETEL.



Este documento tiene como preámbulo el uso y utilidad de un área abierta, seguido por las normas y estándares que rigen su construcción y métodos de estudio para utilizarla en la prueba de equipos de telecomunicaciones.

Se describirá a fondo la metodología y herramientas empleadas para la caracterización y como se trabajó con los datos recabados para caracterizarla.

El cuerpo esta tesis contiene los resultados del estudio previamente descrito, el proceso para recabar los dato y el análisis de los mismos.

Al finalizar los procesos de obtención y análisis de datos, se encuentran recomendaciones y conclusiones que lleven a un mejor desempeño del área abierta.



CAPÍTULO II. ANTECEDENTES.

2.1. UTILIDAD DEL ÁREA ABIERTA.

Debido a la necesidad de estandarizar una gama siempre creciente y diversa de equipos de telecomunicaciones, refiriéndose tanto al hardware como al software, es imperativo tener los espacios adecuados para el correcto estudio de estos equipos.

En lo referente equipos radiantes, se debería utilizar idealmente una cámara anecoica de radio frecuencia la cual cuenta con un blindaje metálico en sus paredes, a manera de una jaula de Faraday y forradas de material absorbente de radio frecuencia en su interior, a fin de evitar reflexiones y simular condiciones de espacio libre en su interior. Para la caracterización de los equipos radiados, algunas cámaras anecoicas pueden proporcionar un aislamiento de señales de radio frecuencias de hasta 100 [dB].

Estas cámaras tienen un elevado costo de implementación, por esto surge la variante de campo de medidas, tipo “área abierta” que es más fácil de construir, necesita menos inversión de capital y tiempo para lograrlo, y es útil para empresas dedicadas al estudio y normalización de equipos que no cuentan con el espacio o capital para construir una cámara anecoica. El área abierta está construida por un plano metálico conectado a tierras físicas y un mástil donde se coloca la antena receptora para realizar toma de lecturas a diferentes alturas del EBP (equipo bajo prueba) que se encuentra a una distancia definida dependiendo de las dimensiones del campo.

La NOM-088/1-SCT1-2002 [2] especifica el uso y construcción de campos de medida abiertos para la homologación y certificación de equipos de radiocomunicaciones.

2.2. NORMAS Y ESTÁNDARES PARA CAMPOS DE MEDIDAS.

Para la construcción y caracterización de un área abierta, los documentos de referencia son la NOM-088/1-SCT1-2002 [2] norma de carácter obligatorio en México para certificación de equipos de microondas que define las características de campos de medidas para la certificación, la CISPR-16-1-4 [3] y la ANSI C63.4-2001 [1] estándares de seguimiento opcional pero deseable para una validez más amplia. Estas normas y recomendaciones fueron elaboradas por organismos y empresas nacionales e internacionales especializadas en la rama de las telecomunicaciones.

2.2.1. NOM-088/1-SCT1-2002.

Es la Norma Oficial Mexicana que establece las especificaciones que deben cumplir los equipos de radiocomunicación a utilizar en un sistema de radio acceso múltiple por medio de enlaces de microondas punto a punto y/o punto a multipunto en la banda de 2,300 MHz – 2,450 MHz y sus correspondientes métodos de prueba.



Las pruebas descritas en la NOM verifican la correcta separación entre canales de transmisión y recepción la cual debe de ser de 77 MHz. Para simplicidad, en este documento a la norma NOM-088/1-SCT-2002 se le denominará como “NOM”.

La norma describe que las pruebas deben ser efectuadas en un sitio de pruebas con condiciones de operación normalizadas. Esta es la razón de la construcción y estudio del área de pruebas área abierta.

Las dimensiones y proporciones que debe cumplir el área abierta, el procedimiento de validación, el rango de frecuencias especificado para el estudio del área abierta y los requerimientos para conocer la atenuación normalizada del sitio (ANS), son descritas a todo detalle en la NOM. Estas son utilizadas cuando se especifique un plano de tierra metálico, que para el caso de Ivestel está presente en su campo de medidas.

En la elaboración de la presente Norma Oficial Mexicana participaron las siguientes empresas e instituciones:

- ALCATEL INDETEL
- AVANTEL
- CAMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA ELECTRONICA DE TELECOMUNICACIONES E INFORMATICA, A.C. (CANIETI)
- COLEGIO DE INGENIEROS MECANICOS Y ELECTRICISTAS, A.C. (CIME)
- ERICSSON TELECOM, S.A. DE C.V.
- IUSACELL
- MIDITEL
- NEC DE MEXICO, S.A. DE C.V.
- NORMALIZACION Y CERTIFICACION ELECTRONICA, A.C. (NYCE)
- OPERADORA UNEFON
- SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES (SCT)
- COMISION FEDERAL DE TELECOMUNICACIONES (COFETEL)
- SERVICIOS ALESTRA, S. DE R.L. DE C.V.
- SERVICIOS Y COORDINACION DE MICROONDAS, S.A. DE C.V. (SECOMSA)

Los parámetros establecidos en esta Norma concuerdan con aquéllos aplicables indicados en las siguientes recomendaciones de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones):

-Recomendación UIT-R F.403-3 (1978) Características de frecuencia intermedia para la interconexión de relevadores radioeléctricos analógicos. [6]

-Recomendación UIT-R F.701-2 (1997) Disposiciones de radiocanales para sistemas radioeléctricos analógicos y digitales punto a punto y punto multipunto que funcionan en bandas de frecuencias de la gama 1,350 a 2,690 GHz (1,5 GHz/ 1,8 GHz/ 2,0 GHz/ 2,2 GHz/ 2,4 GHz y 2,6 GHz). [7]



- Recomendación UIT-R F.1191-1 (1997) Anchuras de banda y emisiones no esenciales de los sistemas de relevadores radioeléctricos digitales. [8]
- Recomendación UIT-R SM.329-7 (1997) Emisiones no esenciales. [9]
- Recomendación UIT-R SM.328-10 (1999) Espectros y anchuras de bandas de las emisiones no esenciales. [10]
- Recomendación UIT-R SM. 1045-1 (1997) Tolerancia de frecuencia en los transmisores. [11]
- Recomendación UIT-R V.574-3 (1990) Uso del decibelio y neperio en Telecomunicaciones. [12]
- Diccionario Enciclopédico de Términos Técnicos (1995) - Javier L. Collazo – Editorial, McGraw Hill. [13]

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), a través de la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL), es la encargada de vigilar el cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana.

La evaluación de la conformidad debe ser realizada por personas acreditadas y aprobadas en los términos de la Ley Federal de Metrología y Normalización y su Reglamento [14] o por la COFETEL, de conformidad con las políticas y procedimientos que para tal efecto expida la SCT a través de la COFETEL.

El procedimiento de estudio y validación de la Atenuación Normalizada del Sitio (ANS) dada en la NOM específicamente en los apéndices A y B de la misma, se usa para calificar un sitio de prueba cuando se especifique un plano de tierra metálico.

2.2.2. CISPR-16-14.

La Comisión Electrotécnica Internacional (CEI) es una organización mundial para la estandarización, la cual cuenta con su consejo técnico que fue el encargado de la elaboración de este estándar. El objetivo de la CEI es promover la cooperación en todo lo relacionado con la estandarización electrónica y de campo eléctrico.

La CEI publica estándares internacionales, especificaciones técnicas, reportes técnicos y guías. Las publicaciones de la CEI tienen el carácter de recomendaciones para su uso internacional, por lo cual la CEI no se hace responsable de la manera en que se utilizan o cualquier interpretación por cualquier usuario final.

La CISPR 16-14-4 es un estándar preparado por el sub comité de la CISPR A: métodos de medida estadísticos y de radio interferencia. Esta publicación ha sido escrita de acuerdo a las directivas de la ISO y la IEC. La ISO colabora de cerca con la IEC para la publicación de acuerdo a condiciones establecidas por las dos organizaciones.



Esta parte de la CISPER 16 especifica las características y rendimiento de los equipos para la medición de las perturbaciones radiadas en el rango de 9 kHz a 18 GHz. Incluye en apartados auxiliares especificaciones para: antenas y sitios de pruebas, células TEM y cámaras reverberantes.

Para el estudio del área abierta en IVESTEL se tomaron en cuenta las recomendaciones en la CISPER 16-14-4 concretamente la parte de sitios de pruebas y la metodología para su estudio.

El procedimiento de construcción, validación y la metodología para la caracterización expresados en este estándar son de carácter informativo, aunque avalados por la CEI, deben ser usados a discreción del usuario.

El procedimiento de validación y los requerimientos para la atenuación normalizada del sitio dada aquí se usan para calificar un sitio de prueba cuando se especifique un plano de tierra metálico.

En el presente estándar se encuentra el procedimiento para lograr los cálculos teóricos, que servirán para cotejar los datos experimentales y para comprobar la efectividad del campo de medidas.

El estándar dispone de opciones para las dimensiones de construcción, con el objetivo de acoplar el área de abierta al terreno que se disponga para su construcción y a las dimensiones de los equipos que se tenga expectativa de estudiar.

Mediante este estándar se le da al usuario la terminología necesaria, para entender los procedimientos y precauciones que debe cubrir, para la correcta toma de lecturas, así como el posterior procesamiento y análisis de datos.

2.2.3. ANSI C63.4-2001.

El Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI, por sus siglas en inglés, American National Standards Institute) es una organización sin ánimo de lucro que supervisa el desarrollo de estándares para productos, servicios, procesos y sistemas en los Estados Unidos de América. ANSI es miembro de la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) y de la Comisión Electrotécnica Internacional (International Electrotechnical Commission, IEC).

La organización también coordina estándares del país estadounidense con estándares internacionales, de tal modo que los productos de dicho país puedan usarse en todo el mundo.

El estándar especifica métodos, instrumentos e instalaciones acordados en Estados Unidos de América para medir señales de radio frecuencias y emisiones electromagnéticas en la frecuencia de 9 kHz a 40 GHz. De ser posible estos acuerdos son armonizados con estándares nacionales e internacionales.

En la publicación se detalla la construcción del campo de pruebas, materiales que se sugiere utilizar y las dimensiones del campo de medidas, dependiendo del tamaño de los equipos a



estudiar en el área abierta, ya que las pruebas deben ser hechas en ambientes que aseguren su validez.

También se detallan las opciones en la metodología de caracterización del plano de tierra, así como cada de los pasos para hacerlo correctamente. El estudio del plano de tierra se realiza en el rango de frecuencias de 30 MHz a 1 GHz.

El seguimiento de este estándar es de carácter opcional e informativo ya que no tiene cobertura en México. Pero al estar elaborado por organismos de gran peso internacional en el ámbito de las telecomunicaciones, Ivestel decidió seguir las recomendaciones y lineamientos en este estándar para tener una certidumbre más concreta. El estándar especifica las empresas y organizaciones que se encargaron de elaborar el estándar de manera conjunta las cuales están a continuación:

- Alliance for Telecom Industry Solutions (ATIS)
- American Radio Relay League (ARRL)
- AT&T Wireless .
- Federal Communications Commission (FCC)
- Hewlett-Packard Company
- Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc IEEE-EMCS .
- Information Technology Industry Council (ITI)
- Lucent Technologies—Bells Labs.
- National Electrical Manufacturers Association (NEMA)
- National Institute of Standards and Technology
- Oklahoma University Center for the Study of Wireless
- Siemens ICM
- Society of Automotive Engineers (SAE)—Aerospace
- U.S. Dept. of Energy—Oak Ridge National Laboratory
- U.S. Dept. of the Navy and N.W.S.C



CAPÍTULO III. OBJETIVO.

Debido a la necesidad de homologar equipos de telecomunicaciones siguiendo las distintas normas nacionales e internacionales, es necesario crear los espacios adecuados para la experimentación y certificación de estos equipos.

Ivestel siendo una compañía que prueba y tramita con los organismos nacionales la certificación de equipos de telecomunicaciones, tiene la necesidad de un campo de medidas para sus procesos de validación de equipos. Es por esto que decidió construir un área abierta de medidas en las instalaciones de la empresa.

La construcción de este tipo de campo de medidas sigue lineamientos, estándares para su validación y correcto funcionamiento. Posterior a su construcción es necesario un estudio de la caracterización de sus propiedades y la comprobación de cumplen la normativa.

El objetivo de esta tesis es conocer las características reflectivas del plano de tierra y la efectividad del campo de medidas tipo área abierta. También se desea conocer si cumple la normativa mexicana para los campos de pruebas de antenas.

Las pruebas consisten en la transmisión y recepción de señales usando antenas de banda ancha. Conociendo las señales transmitidas y midiendo las recibidas, se caracteriza el campo de medidas.

Dichas medidas se realizaron según los lineamientos y recomendaciones estipuladas en la NOM-088-1-SCT1-2002 y en la CISPER 16-1-4. Estos lineamientos especifican que el rango de frecuencias para el estudio es de 30[MHz] a 1[GHz], el campo de medidas de Ivestel es para pequeños y medianos equipos, desde celulares hasta equipos de 1 [m] de largo. Las dimensiones del EBP pueden variar, siempre y cuando se mantengan dentro del área de pruebas (más adelante se detallan los límites del área para pruebas) y se mantenga una distancia de 3[m] entre el EBP y la antena receptora.

La finalidad del estudio es caracterizar el plano de tierra, cumplir los lineamientos de la norma y los estándares anteriormente estipulados y validar el área abierta para su utilización en Ivestel y sus pruebas de certificación de equipos de telecomunicaciones.

En el presente documento se describen los procedimientos usados, los resultados obtenidos, la construcción y la caracterización del campo de pruebas tipo área abierta de Ivestel, así como la metodología utilizada para su validación y uso en la certificación de equipos.



CAPÍTULO IV. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

4.1. IVESTEL.

La creación de Ingeniería y Verificación de Equipos y Sistemas de Telecomunicaciones SA de CV (IVESTEL) obedece a la necesidad que tiene México de contar con mecanismos de evaluación de la conformidad, entre ellos laboratorios de pruebas y unidades de verificación, establecida en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y en las Normas Oficiales Mexicanas de Telecomunicaciones.

IVESTEL cuenta con la acreditación (por parte de la entidad mexicana de acreditación) y la aprobación (por parte de la Comisión Federal de Telecomunicaciones) como Laboratorio de pruebas para la evaluación de la conformidad de las Normas Oficiales Mexicanas vigentes de Telecomunicaciones, competencia de la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL).

La empresa se encuentra en Alcanfores 16, Jardines de San Mateo Naucalpan, Edo. Méx. México. CP 53240.

4.2. NECESIDAD DEL AREA ABIERTA.

Para la prueba de equipos de telecomunicaciones, específicamente aquellos que radian señales electromagnéticas, es necesario contar con espacios que proporcionen la seguridad que cualquier prueba realizada pueda reproducirse y certificar el correcto funcionamiento del equipo en cualquier lugar y momento.

El área abierta proporciona un espacio homologado para el estudio de equipos de RF, haciéndolo adecuado para la experimentación y certificación de equipo.

Las lecturas obtenidas en la experimentación de cualquier equipo de RF, ajustado a las capacidades del área abierta, se tomarán como veraces ya que el campo de medidas se encuentra estandarizado y homologado.

De esta manera cualquier lectura no satisfactoria solo puede ser atribuida al mal funcionamiento del EBP. Estos espacios se distinguen por contar con un blindaje de RF que los protegen ante las interferencias de las señales que viajan en el espacio, señales de telefonía, televisión, radio, etc.

Idealmente las pruebas se realizan en una cámara anecoica que cuenta con un blindaje de RF, el cual la aísla de toda perturbación de interferencia. Este tipo de recinto es efectivo pero requiere una inversión elevada.

Para resolver esta eventualidad existe el campo de medidas tipo área abierta, el cual representa una inversión menor y es adecuado para los equipos que se tenga proyectado probar. Equipos desde de unos cuantos centímetros hasta de varios metros.



Organismos especializados en el ramo de las telecomunicaciones, concretamente la SCT, la IEC y la ANSI, definieron las características de construcción, procedimientos de valoración y certificación de este tipo de campos en los documentos NOM-088-1-SCT1-2002 [5](SCT), ANSI C63.4 [2] (ANSI) y CISPER 16-1-4.[3](IEC).

Estos campos prueba proveen un recinto adecuado para la experimentación de equipos, ya que son lugares que cuentan con condiciones normalizadas, a un costo menor de construcción y de igual validez una vez que pasa las pruebas de caracterización.

A continuación se detalla la construcción del campo de pruebas, sus elementos y cómo funcionan en conjunto:

- Plano de tierra
- Tierras físicas
- Mástil y barrido de altura

4.3. PLANO DE TIERRA Y TIERRAS FÍSICAS.

El plano de tierra es un conjunto de placas metálicas, encargado de reflejar las señales del equipo bajo prueba, estas placas metálicas se encuentran aterrizadas a tierras físicas. Es gracias al plano de tierra aterrizado que se pueden reflejar las señales del EBP y aislar el área abierta de toda señal proveniente por debajo del área abierta.

El plano de tierras físicas esta aterrizado mediante cables de cobre. Estos cables se conectaron en el plano de tierra metálico en puntos distribuidos, con los conjuntos de barras de cobre enterradas en los patios que componen las tierras físicas.

A continuación se detalla la construcción del plano de tierra y las tierras físicas de Ivestel además se explica cómo funcionan en conjunto.

4.3.1. PLANO DE TIERRA.

La finalidad del plano de tierra es reflejar las señales del EBP. Dependiendo de la fase de la señal, las capacidades e irregularidades del plano aumentarán la potencia de la señal en la antena receptora o lo disminuirá. Como se muestra en el siguiente diagrama se aprecia que la señal llega directamente a la antena receptora y además se tienen las señales reflejadas, las cuales dependiendo de la fase y la distancia entre EBP y antena receptora aumentan o disminuyen la potencia de la señal recibida.

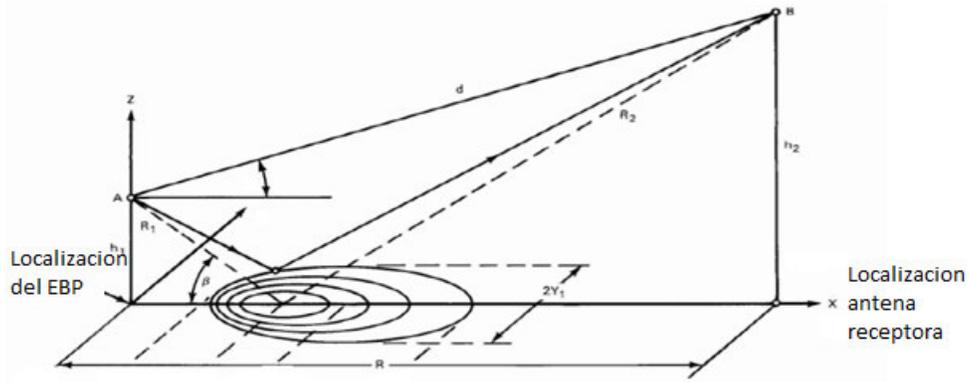


Figura 1. Diagrama de reflexiones.

El plano de tierra se encuentra en la azotea de la empresa, en el segundo nivel, a la intemperie y sin ningún recubrimiento ya sea de aislamiento radioeléctrico o contra condiciones climatológicas.

Está conformado por dieciséis secciones con las siguientes medidas.

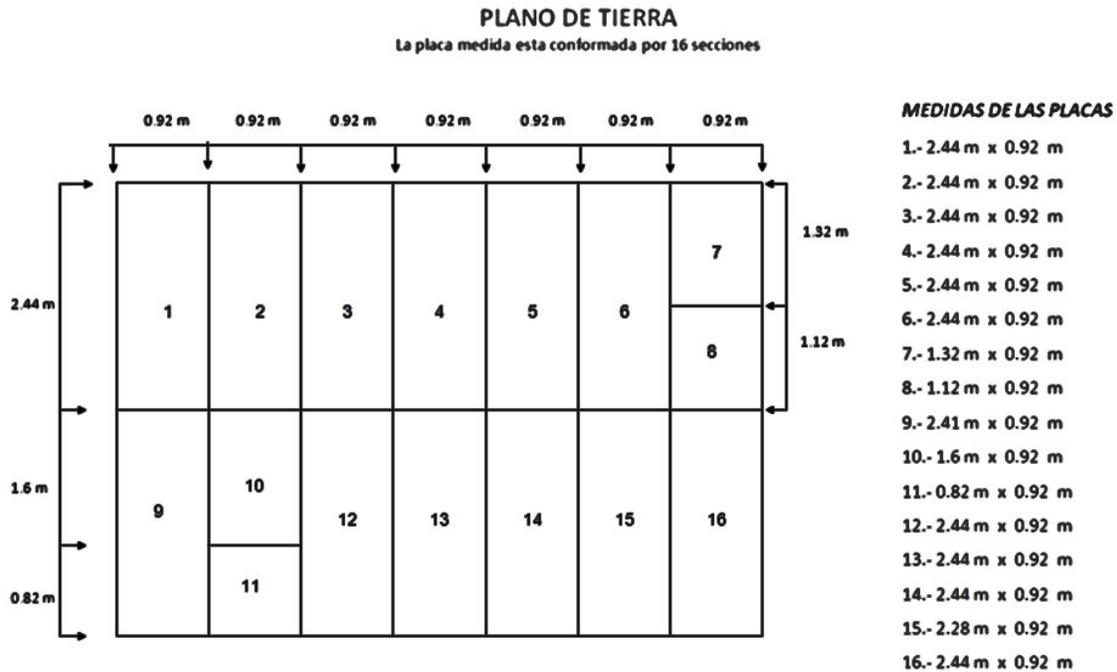
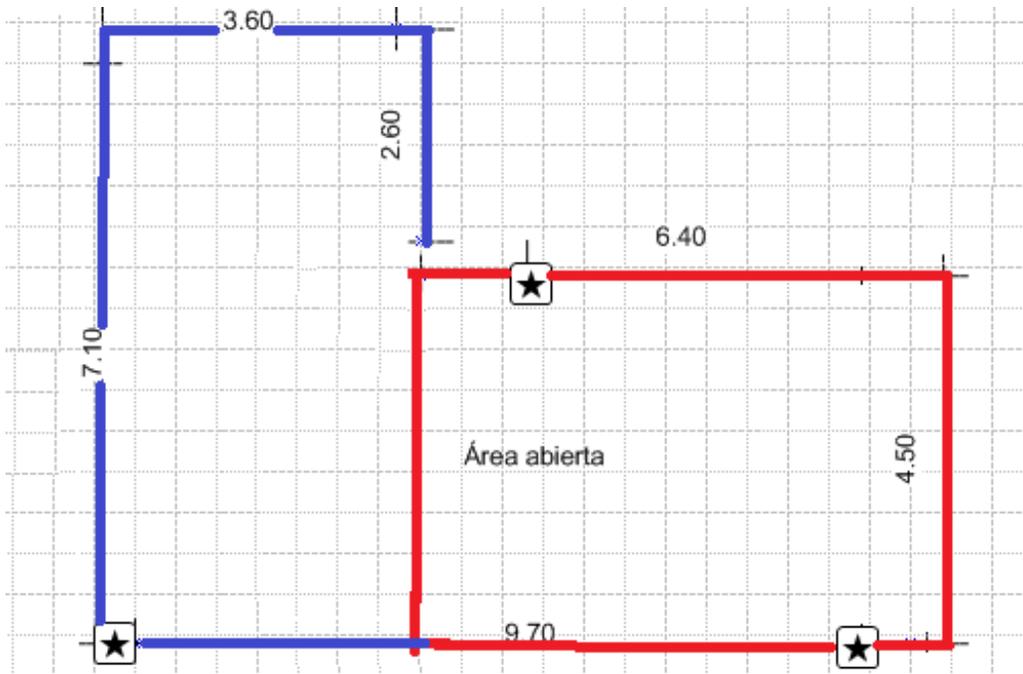


Figura 2. Distribución y medidas de las placas en plano de tierra de Ivestel.

Estas placas están intercaladas y conectadas a tres juegos de tierras físicas, en distintos puntos, mediante un cable que está en contacto directo con el perímetro del área, soldado y asegurado con tornillos cada medio metro, rodeando la totalidad del campo de medidas.

En la figura 3 se muestra un diagrama de la azotea con las dimensiones (en metros) del área abierta y los puntos de conexión de las tierras físicas. El área roja es el campo abierto de medidas a caracterizar. Existe otro conjunto de placas intercaladas en la que se construirá otra área abierta de forma tangencial a la ya existente, dibujado su perímetro en color azul. Esto es debido a que la empresa tiene deseos de tener otro campo para realizar medidas con arreglos de antenas diferentes.



-  punto de conexión
-  perímetro de área abierta
-  perímetro segunda área abierta

Figura 3. Puntos de conexión y perímetro del área abierta.

4.3.2. TIERRAS FÍSICAS.

Las tierras físicas están compuestas de 5 barras de cobre cada una, estas barras son de 2[m] de largo y 5 [cm] de diámetro, conectadas en paralelo para lograr una resistencia menor o igual a 5[Ω]. Este valor se usó ya que la industria de las telecomunicaciones con frecuencia ha utilizado el



Figura 5. Conjunto de tierras A.



Figura 6. Conjunto de tierras B y C.

Se constató su efectividad mediante el método de las 3 picas o de caída de potencial. Se utilizó este método debido a que Ivestel contaba con un probador de aislamiento de tierra el cual proporciona certeza de la impedancia proporcionada por el conjunto de tierras físicas.

Este método se recomienda en la NOM-022-STPS-2008 [12] (Electricidad Estática en los Centros de Trabajo-Condiciones de Seguridad e Higiene), para medir la efectividad de las tierras físicas.

Con el método de las tres picas, se midió la resistencia que proporcionan los conjuntos de tierras físicas, mediante cuatro picas a 5.2 [m], 6.2 [m], 7.2 [m] y 10[m] del conjunto de tierra física a medir. Las picas serán conectadas al probador de aislamiento de tierra, el cual inyecta 350[V] para determinar la impedancia proporcionada por el conjunto de tierras físicas. Se toma lectura de las distancias 5.2 [m], 6.2 [m] y 7.2 [m], si estas lecturas tienen una diferencia mínima la lectura se toma como correcta, tomando solamente la de 6.2 [m].

Los resultados de las medidas del método de las tres picas sobre cada uno de los conjuntos de tierras físicas fueron buenos ya que estaban por debajo de los 5 [Ω]. Los resultados de los conjuntos A, B y C fueron:

- A. 2.78 [Ω]
- B. 3.73 [Ω]
- C. 3.76 [Ω]

4.4. MÁSTIL Y BARRIDO DE ALTURA.

El estudio de caracterización según la NOM-088-1-SCT1-2002 [5], la CISPER 16-1-4 [3] y la ANSI C63.4 [2] exige hacer un barrido en frecuencia de 30[MHz] a 1[GHz] en diferentes alturas para conocer las características reflectivas del campo de medidas. Dependiendo las dimensiones del campo así deberán ser las dimensiones del mástil.

El mástil debe ser de un material no metálico y que no refleje las señales de RF ya que entorpecería la eficacia del campo de medidas. En el caso de Ivestel, el mástil está elaborado de madera en forma circular con una diámetro de 15.5 [cm] y una altura de 4.5 [m] (figura 7). La altura de la antena se puede ajustar por medio de un arreglo de poleas manejado manualmente.

La NOM-088-1-SCT1-2002, de la cual se obtuvieron los lineamientos de estudio, especifica que para una distancia de tres metros entre el EBP (equipo bajo prueba) y la antena receptora se necesita un mástil de cuatro metros para tomar lecturas en el BW (ancho de banda) de estudio. Estas lecturas se deben realizar a 1, 2, 3 y 4 metros.



Figura 7. Mástil.



CAPÍTULO V. ANÁLISIS Y METODOLOGÍA EMPLEADA.

5.1. PROCEDIMIENTOS DE MEDIDA.

Para la caracterización del campo de medidas (área abierta) se siguió el método de barrido de frecuencia detallado en la NOM-088-1SCT1-2002 [5]. La información técnica y física de todos los equipos se describen más adelante en el tema de equipamiento.

El generador de señal fue conectado a la antena de transmisión mediante un cable coaxial de 1.5 [m], la antena de transmisión se colocó a 3 [m] de la antena de recepción.

La altura de la antena de transmisión debe ser de 1[m] tomando como referencia el plano de tierras físicas, esta altura fue respetada para polarización horizontal y polarización vertical.

La antena de recepción fue montada en un mástil que permita el barrido de altura sobre el intervalo de altura de 1[m] a 4[m], conectada al analizador de espectro vía un cable coaxial de 15[m].

Ambas antenas se colocaron en polarización horizontal para la toma de lecturas horizontales, después se cambió la polarización a vertical para las lecturas verticales.

Los siguientes pasos fueron utilizados para el ancho de banda de 30[MHz] a 1[GHz], utilizando el analizador de espectro, equipo automático de medición, el cual tiene una retención pico (retención máxima), capacidad de almacenamiento y generador de barrido. En este método, tanto la altura de la antena de recepción como la frecuencia son escaneadas o barridas sobre los intervalos de frecuencia requeridos.

1. Se ajustó el nivel de salida del generador de barrido, para obtener una tensión recibida por arriba del ruido ambiente.
2. Fue desplazada la antena de recepción en el mástil, a la altura máxima (cuatro metros) del intervalo de barrido.
3. Se configuró el analizador de espectro para barrer de 30[MHz] a 1[GHz]. Asegurarse que la resolución del analizador sea adecuada para la toma de lectura. Se utilizó una resolución de 100[MHz]
4. Lentamente se bajó la antena de recepción a la altura mínima (1 metro) del intervalo de barrido. Se almacenó y registró la pantalla de tensión recibida en dB μ V (El tiempo que toma bajar la antena fue mayor al tiempo de barrido del analizador de espectro).
5. Al término de toma de lecturas se desconectaron los cables de transmisión y recepción, y se conectaron directamente mediante un adaptador. Para después almacenar y registrar la pantalla de tensión resultante.



6. En cada frecuencia, se restó la tensión medida en el paso 4, de la tensión medida en el paso 5. También se restaron los factores de antena de las antenas de transmisión y recepción. El resultado es la atenuación normalizada de sitio (ANS) medido en el intervalo de frecuencias usado, el cual fue trazado y comparado con el ANS para un sitio ideal (teórico) mostrado en la tabla 1.
7. Las diferencias encontradas entre ANS teórico y ANS medido fueron comparadas con el rango de ± 4 [dB]. Este rango se explica más adelante así como su utilización para la certificación.

Para resumir lo anterior, el proceso arrojó lo siguiente para el ANS medido:

$$ANS_{\text{medido}} = V_{\text{DIRECTO}} - V_{\text{SITIO}} - FA_{\text{Tx}} - FA_{\text{Rx}}$$

Dónde:

V_{DIRECTO} Lectura cuando los cables de transmisión (TX) y recepción (RX) están conectados entre sí.

V_{SITIO} Lectura cuando los cables de TX y RX están conectados a sus respectivas antenas.

FA_{Tx} Factor de antena de la antena transmisora.

FA_{Rx} Factor de antena de la antena receptora.

Notar que los términos $V_{\text{DIRECTO}} - V_{\text{SITIO}}$ representan la vista clásica de la atenuación (la cual está constituida por la pérdida en la trayectoria de propagación), los términos $FA_{\text{Tx}} - FA_{\text{Rx}}$ contemplan las propiedades de las antenas usadas.

5.2. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS.

Para una correcta valoración del área abierta fue necesario tener una herramienta de comparación validada por la NOM [5], ANSI [2] y CISPER [3]. Ésta herramienta es el ANS teórico.

Los documentos proporcionaron una tabla con los valores de ANS para un campo de medidas ideal para comparar con los valores que obtengamos.

Es oportuno explicar el proceso matemático en que estos valores fueron obtenidos para un campo de medidas con separación de 3 [m] entre EBP y antena receptora.

La atenuación normalizada de sitio teórica se define de la siguiente manera:

$$ANS_{\text{teorico}} = 20 \log \left[\left(\frac{5Z_0}{2\pi} \right) \left(\frac{d}{\sqrt{1 - \frac{1}{(\beta d)^2} + \frac{1}{(\beta d)^4}}} \right) \right] - 20 \log f_m + FA_{\text{Rx}} + FA_{\text{Tx}}$$



- d Distancia entre EBP y la antena receptora.
- Z_0 Impedancia de todo el sistema 50Ω .
- β Es el número de onda definido como $2\pi/\lambda$.
- λ Longitud de onda c/f_m .
- f_m Frecuencia en MHz.
- c Velocidad de la luz $300\,000$ [km/s].
- FA_{Tx} Factor de antena de la antena transmisora.
- FA_{Rx} Factor de antena de la antena receptora.

En la tabla 1 se aprecian los resultados obtenidos para un campo de medidas ideal.

f_m [MHz]	ANS[dB]	
	Horizontal	Vertical
30	15,8	8,2
35	13,4	6,9
40	11,3	5,8
45	9,4	4,9
50	7,8	4,0
60	5,0	2,6
70	2,8	1,5
80	0,9	0,6
90	-0,7	-0,1
100	-2,0	-0,7
120	-4,2	-1,5
140	-6,0	-1,8
160	-7,4	-1,7
180	-8,6	-1,3
200	-9,6	-3,6
250	-11,7	-7,7
300	-12,8	-10,5
400	-14,8	-14,0
500	-17,3	-16,4
600	-19,1	-16,3
700	-20,6	-18,4
800	-21,3	-20,0
900	-22,5	-21,3
1000	-23,5	-22,4

Tabla 1. Niveles de ANS para un sitio ideal.



Las lecturas anteriores contemplan las siguientes características espaciales el campo de medidas:

R	3 [m]
h1	1 [m]
h2	1 a 4 [m]

Tabla 2. Especificaciones para la toma de lectura.

- R es la distancia entre EBP y la antena receptora.
- h1 es la altura EBP en referencia con el plano de tierra.
- h2 es la altura de la antena receptora en referencia del plano de tierra (esta altura varía debido la antena receptora realiza un barrido a diferentes alturas).
- f_m frecuencia en MHz.

Los valores de esta tabla son comparados con el ANS medido. Si el ANS medido tiene una desviación de ± 4 [dB] la construcción del sitio se considera satisfactoria.

Un sitio de medición debe considerarse aceptable para las mediciones del campo electromagnético radiado, si las mediciones del ANS vertical y horizontal medidas están dentro del rango ± 4 [dB] de la atenuación teórica del sitio normalizado.

El criterio proporcionado por la NOM de los ± 4 [dB] considera los errores provocados por analizador de espectro, imperfecciones del sitio, factor de antena transmisora y factor de antena receptora.

Los errores en la tabla 3 abajo mostrada, no incluye las imprecisiones en la estabilidad del generador de señal, del generador de seguimiento en el analizador de espectro, o de cualquier amplificador que pueda ser usado, tampoco incluye errores en la técnica de medición.

El nivel de salida de la mayoría de los generadores de seguimiento de señal puede variar dependiendo del tiempo que llevan encendidos y temperatura en que se encuentra el equipo. Es por esto que antes realizar las lecturas los equipos estuvieron encendidos una hora para evitar variaciones de instrumentación.

Es imperativo que estas fuentes de error se mantengan en una cantidad insignificante o que sean corregidas al hacer las mediciones, de otro modo, el sitio puede fallar al cumplir con el criterio de aceptación debido a problemas con la instrumentación.

En la tabla 3 se encuentran los errores provocados por los equipos que dan como resultado el criterio de ± 4 [dB].



Causa de error	Método para el barrido de frecuencia [dB]
Factor de antena transmisora	± 1
Factor de antena receptora	± 1
Voltímetro	± 1.6
Atenuador	0
Imperfecciones del sitio	± 1
Totales	± 4.6

Tabla 3. Fuentes de error y magnitudes.

En la práctica, los errores indicados arriba, raramente están todos presentes. Un sitio bien construido y bien situado que cumpla con el criterio de ± 4 [dB] puede permitir una variación de imperfecciones en el sitio, superior a ± 1 [dB] del valor ideal.



CAPÍTULO VI. REALIZACIÓN DE MEDIDAS.

6.1. PRECAUCIONES E INDICACIONES.

Las mediciones de caracterización se efectuaron en un sitio de pruebas y condiciones de operación normalizadas. Entiéndase estas condiciones como la apropiada construcción, tamaño del área abierta y condiciones ambientales.

La NOM especifica las condiciones ambientales consideradas normalizadas

Temperatura	Humedad Relativa
De 15°C a 35°C	De 25% a 75%

Tabla 4. Condiciones Atmosféricas Normalizadas.

Algunas de las consideraciones o precauciones tomadas fueron las siguientes:

- Todo equipo que se utilizó en el proceso estuvo encendido al menos durante 30 minutos antes de realizar las pruebas.
- Tanto el EBP y las antenas estuvieron a 25[cm] del plano de tierras como mínimo en cualquiera de sus polarizaciones.
- El personal de pruebas siempre estuvo fuera del área del campo de medidas, al momento de radiar las señales.
- No se radió señal si algún elemento del personal se encontraba en el campo de pruebas.
- Todos los equipos estaban a una impedancia de 50[Ω].
- Para la toma de lecturas de caracterización de área abierta se contempló la atenuación debida a los conectores y el atenuador.

La norma propone la opción de hacer el estudio mediante el método puntual o mediante el método de barrido. El método de puntual consiste en colocar la antena a una altura determinada y tomar lectura de la potencia recibida en las frecuencias especificadas por la NOM, CISPER y ANSI después repetir el proceso a 1, 2, 3 y 4 metros.

En el método de barrido se hace un barrido en frecuencia en el rango de frecuencias especificado mediante el generador de señales, acompañado de la antena de banda ancha logoperiodica para transmisión y biconica para recepción, se configura el analizador de espectro en retención pico, ya con esto solamente se realiza una toma de lectura a diferentes alturas y se consideran las potencias más altas obtenidas de la combinación de barrido en frecuencia y altura.

Se optó por el método de barrido por su eficiencia y la existencia del equipo necesario.

6.2. COMPROBACION DE DISEÑO Y PROPORCIONES DEL CAMPO.

Las dimensiones que puede tener un campo de medidas están estipuladas en la CISPER [3], estas dimensiones dependen del terreno que se tenga disponible para su construcción. El tamaño del área abierta varía ya que los equipos bajo prueba van desde unos cuantos centímetros hasta varios metros, por ello la construcción del área abierta depende los equipos que se desee probar y el terreno del que se disponga.

El estándar CISPER detalla las medidas según proporciones, tomando como referencia la distancia entre el EBP y la antena receptora. La separación estándar entre EBP y antena receptora son 3[m], 10[m] y 30[m].

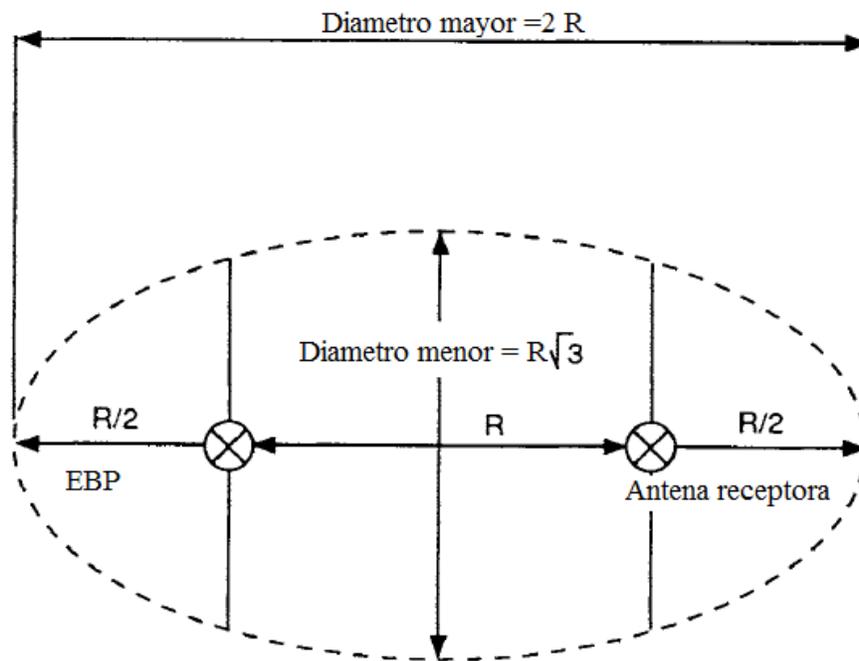


Figura 8. Diagrama de proporciones teóricas de un área abierta.

En la figura 8 se aprecian las proporciones del área abierta, definidas en el estándar CISPER. El parámetro que define las dimensiones es la distancia entre el EBP y la antena receptora; éste parámetro se denomina R. A partir de la distancia R se forma una elipse. La elipse está construida sobre el plano de tierras físicas y la antena receptora se colocó sobre el mástil para realizar el barrido de altura.

Es de suma importancia que el área contenida dentro de la elipse se encuentre libre de interferencias y de objetos reflejantes de señales de RF, el mástil y la mesa donde se colocaron el EBP y la antena receptora son de madera y plástico respectivamente materiales con una reflexión de señales de RF baja.



Teniendo en cuenta que Ivestel colocó su campo de medidas en la azotea de sus instalaciones y los equipos a los que realiza pruebas son pequeños, del tamaño de radios y celulares, fue suficiente con una área de 3[m] de distancia entre el EBP y la antena receptora.

Un área de 3 [m] entre EBP y antena receptora cubre las necesidades, ya que la norma NOM y los estándares ANSI [2] y CISPER [3] solo exigen esta distancia, si los equipos fueran de dimensiones mayores se recurrirá a campos de medidas más amplios. Las dimensiones del campo son variables según los equipos a probar.

Debido a que los equipos bajo prueba en Ivestel no manejan altas potencias, un campo de medidas de 10[m]o 30[m] no es lo más óptimo para tomar lecturas, ya que la energía radiada recibida por la antena receptora sería menor que en un campo de medidas de 3[m] debido a fenómenos de dispersión y atenuación de la señal radiada.

A continuación se detallan las medidas del área abierta construida en IVESTEL.

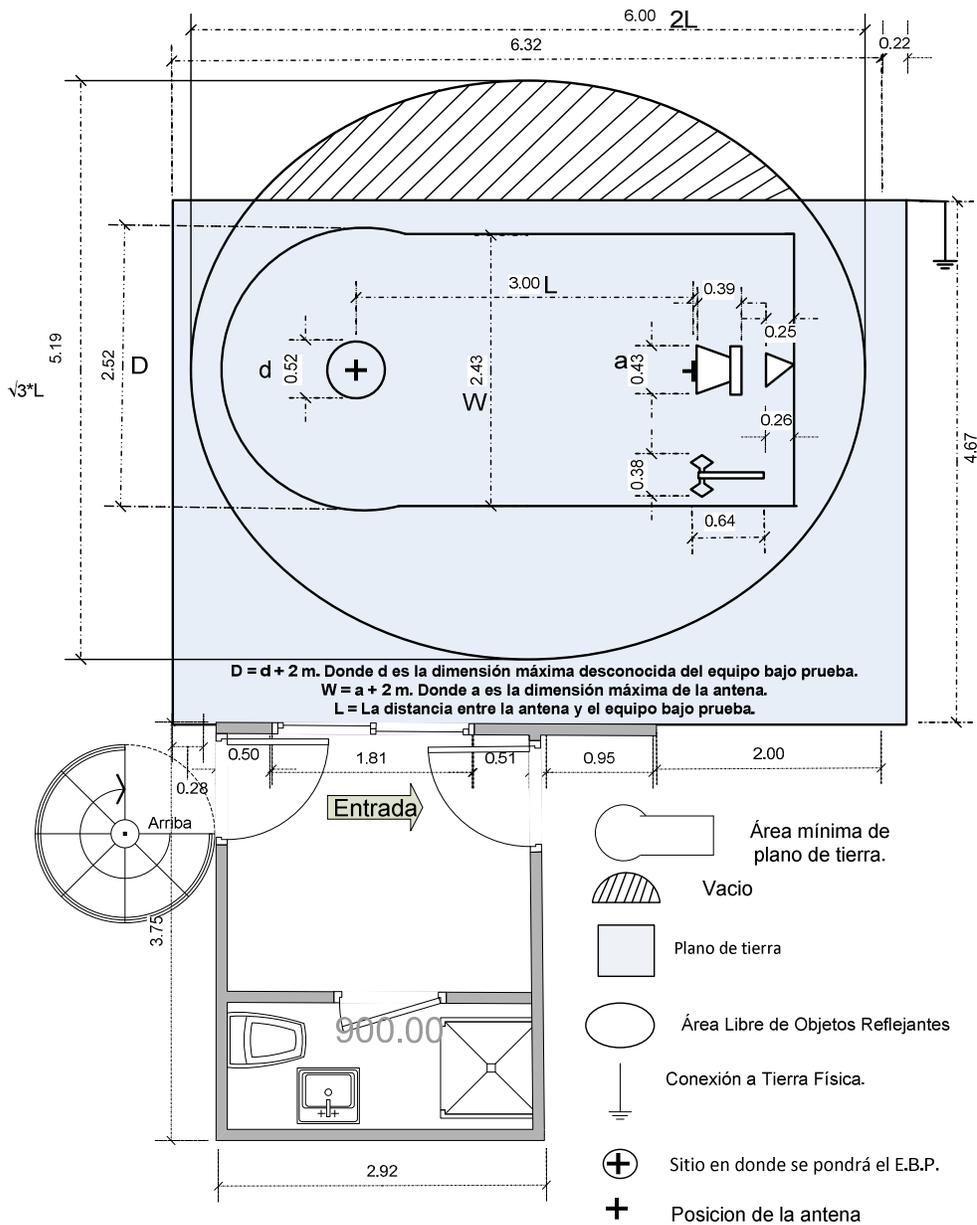


Figura 9. Plano de la azotea de Ivestel y del área abierta.

En la figura 9 se visualiza un vacío en el área de la elipse, esta característica no afecta ya que la NOM especifica que el plano de tierra conductor debe ampliarse por lo menos un metro más allá de la periferia del EBP y la antena de medición más grande así como cubrir el área total entre el EBP y la antena. Dentro de la elipse no debe de haber ningún objeto reflejante de RF, la parte que



debe estar obligatoriamente cubierta por el plano de tierra física es el rectángulo donde se encuentra el EBP y la antena receptora.

Se observa que a un costado del campo está un recinto por donde entra el personal y se encuentra la instrumentación para realizar el estudio.

El área abierta cumple satisfactoriamente las proporciones estipuladas por la CISPER:

- Separación de EBP y antena receptora (3[m] para este caso).
- Área libre de conductores aéreos y estructuras reflectoras dentro de la elipse.
- Área mínima sobre el plano de tierra.
- Suficientemente amplio para colocar las antenas a la distancia especificada.

Se certificó que el área cumple con las dimensiones estipuladas antes del estudio.

6.3. EQUIPAMIENTO.

Para realizar el estudio se usó equipo especializado en telecomunicaciones, antes y durante las pruebas de caracterización para asegurarse que se contaba con las condiciones idóneas para realizar el estudio.

Se examinaron las tierras físicas y las condiciones del campo de pruebas. En el desarrollo fueron indispensables en la toma de lecturas debido al método elegido que es el de barrido de frecuencias.

La totalidad de los equipos se adaptaron a las exigencias de la norma NOM y de los estándares ANSI y CISPER, antes de ser utilizados fueron calibrados para descartar cualquier error por falla de instrumentación. A continuación se describe el equipo usado.

6.3.1. ANALIZADOR DE ESPECTRO.

El analizador de espectro es una herramienta capaz de representar las componentes espectrales de una determinada señal a partir de su transformada de Fourier.

Esta representación en el dominio de la frecuencia permite visualizar parámetros de la señal, que difícilmente podrían ser descubiertos trabajando en el dominio del tiempo con ayuda de un osciloscopio.

Es especialmente útil para medir la respuesta en frecuencia de equipos de telecomunicaciones (amplificadores, filtros, acopladores, etc.) y para comprobar el espectro radioeléctrico en una zona determinada con la ayuda de una antena.

En la pantalla del equipo la amplitud o potencia de las señales se representa en el eje “y” y la frecuencia en el eje “x”, la medida de potencia viene indicada en dBm, dBμV o cualquier variante de esta unidad logarítmica dependiendo las unidades que se quieran utilizar.

Para la toma de lectura del campo de medidas se especifica la necesidad de un analizador de espectro en cualquiera de los métodos sugeridos en la norma NOM y los estándares ANSI y CISPER, lo que lo convierte en una herramienta indispensable. La norma especifica que el analizador de espectro debe contar con funciones de ancho de banda de referencia de 1 [MHz], ponderación media y pico.

La empresa cuenta con el analizador de espectro ROHDE & SCHWARZ FSV40 (figura 10 y tabla 5) que cumple con los requerimientos de la norma NOM y los estándares ANSI y CISPER.

Su característica más conveniente es la retención pico, lo que dio la oportunidad a utilizar el método de barrido en complemento con los demás equipos.

También cuenta con opción de control remoto mediante red, de esta manera fue posible tenerlo aislado del campo de medidas y no afectar las lecturas del campo de medidas. Como indica la norma, el analizador de espectro estaba aislado del campo de medidas ya que si se encuentra en el mismo lugar que el campo de medidas las señales transmitidas pueden interactuar con el analizador y provocar lecturas erróneas.



Figura 10. Analizador de espectro R&S FSV40.

Rango de Frecuencia	10[Hz]-40[GHz]
Impedancia	50[Ω]
Máxima potencia recibida	30[dBm]

Tabla 5 .Especificaciones del analizador de espectro R&S FSV40.

6.3.2. GENERADOR DE RADIO FRECUENCIA.

Para generar las señales en las frecuencias y en el ancho de banda que el estudio marca, se utilizó el generador de señales ROHDE & SCHWARZ SMT 02 (figura 11 y tabla 6). Según la NOM el generador debe tener una impedancia de 50[Ω] y debe estar calibrado de manera específica para lograr una toma de lecturas óptima. Cuenta la opción de barrido a diferentes velocidades e intensidades de potencia lo que permitió adaptarse a los lineamientos de la norma y los estándares.

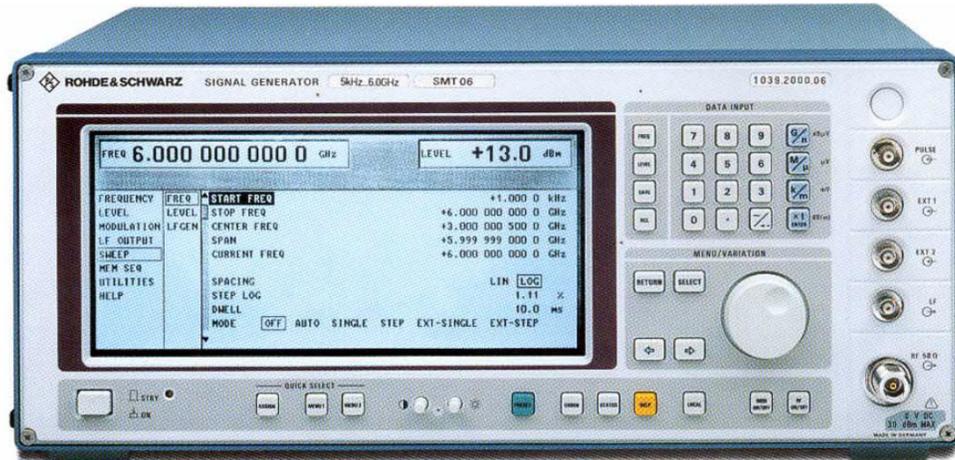


Figura 11. Generador de radio frecuencia R&S SMT 02.

Banda de frecuencias	5[kHz]-1.5[GHz]
Resolución de frecuencia	0.1[Hz]
Tiempo de conmutación de frecuencia	25[ms]
Salida mínima de potencia	-144[dBm]
Salida máxima de potencia	16[dBm]
Impedancia	50[Ω]
Modulaciones	AM, FM, Pulso
Modos de barrido	Automático, digital ,logarítmico y manual

Tabla 6. Especificaciones generador de señales R&S SMT 02.

6.3.3. CABLES COAXIALES.

Para el desarrollo del experimento se utilizaron dos cables coaxiales de modelo estándar LMR400, con un adaptador tipo N compatible con las conexiones de salida del generador y entrada del analizador de espectro.

El cable coaxial es utilizado para transportar señales eléctricas de alta frecuencia, posee dos conductores concéntricos, uno central, llamado vivo, encargado de llevar la información, y uno exterior, de aspecto tubular llamado blindaje, que sirve como referencia de tierra y retorno de corrientes. Entre ellos se encuentra una capa aislante llamado dieléctrico, todo el conjunto suele estar protegido por una capa aislante.

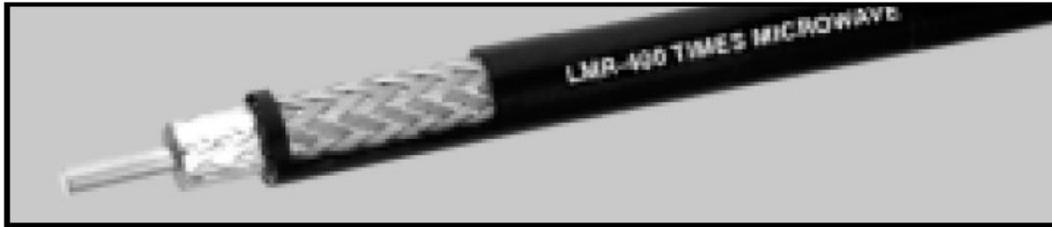


Figura 12. Esquema cable coaxial.

El conductor central puede estar constituido por un alambre sólido o por varios hilos retorcidos de cobre, mientras que el exterior puede ser una malla trenzada, una lámina enrollada o un tubo corrugado de cobre o aluminio.

El blindaje protege los datos que se transmiten, absorbiendo el ruido, de forma que no pase al cable y no exista distorsión en los datos. Rodeando el núcleo existe una capa aislante que la separa de la malla de hilo, ya que si llegan a tocarse, se produciría un corto circuito y el ruido penetraría en el núcleo con lo que se perdería la señal.

Para la parte de transmisión se utilizó un cable de 1.5 [m] y para la recepción uno de 15[m]. La envergadura del cable de recepción es debido a que éste debe ir desde la antena receptora al analizador de espectro ubicado por debajo del plano de tierra en el laboratorio.

El cable utilizado para recepción fue caracterizado para conocer su atenuación se concluyó que el cable presentaba una atenuación máxima de 2.34 dB en frecuencias altas como se aprecia en la figura 13. La imagen muestra la potencia medida cuando el generador trabaja con una señal de 0 dBm de potencia. La diferencia entre el nivel de la imagen y la salida del generador es la atenuación. El cable de transmisión, debido a su corta distancia presenta atenuación despreciable, se caracterizó solo para constatar su buen estado.

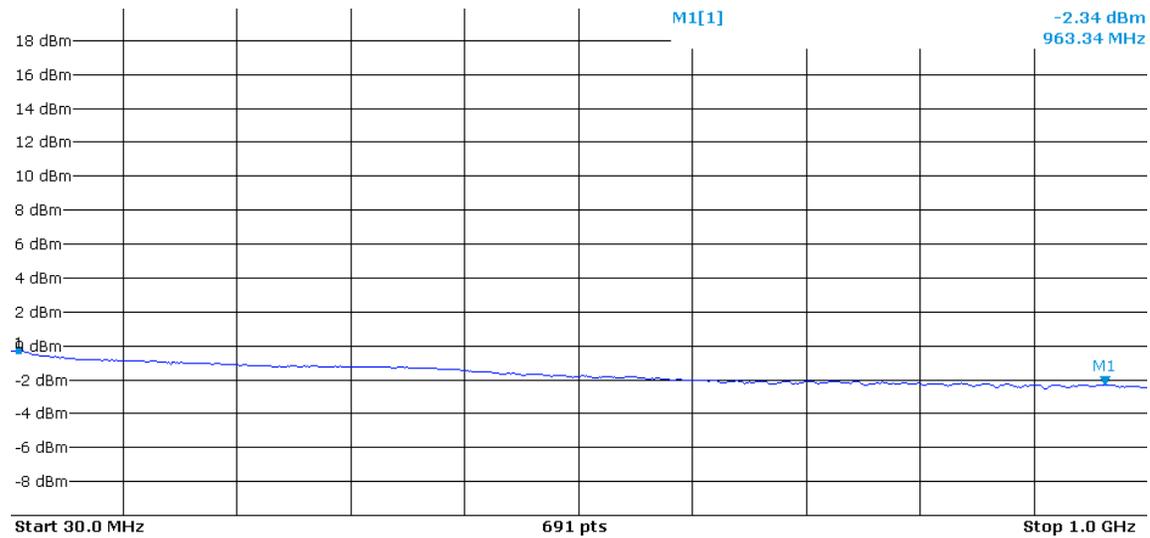


Figura 13. Atenuación del cable LMR400 a 0 dBm.

6.3.4. ANTENAS.

Hoy en día existe una gama enorme de antenas con características y capacidades diversas, abarcando gran variedad de aplicaciones y necesidades.

En los procedimientos seguidos en la norma y estándares existen dos métodos, el método puntual usando dipolos, en el cual se hace la transmisión frecuencia por frecuencia (las señaladas en las tablas del estudio) y el método de barrido, en el cual se usan antenas de banda ancha y equipos automáticos. Este método ofreció un ahorro de tiempo y facilita la toma de lecturas, se optó por método de barrido debido a las ventajas que ofrecía sobre el método discreto.

Para realizar el estudio del campo de medidas, se utilizaron antenas de banda ancha calibradas. La ganancia y patrón de radiación de las antenas fue medido por empresas especializadas.

Se utilizó una antena bicónica con un patrón de radiación de omnidireccional para la recepción y una antena log periódica con un patrón de radiación altamente directivo para la transmisión. A continuación se describen sus características, repercusiones y utilidad en el estudio.

6.3.4.1. Antena Bicónica.

Se utilizó una antena bicónica ETS LINDGREN modelo 3180 para la recepción, antena de banda ancha ideal para métodos de medidas de sitios de atenuación, especificados en la FCC y ANSI. Puede ser usada en polarización vertical y horizontal en medidas de sitios de atenuación.

Como característica adicional puede captar la totalidad de la banda VHF y parte de la UHF, haciéndola ideal para el monitoreo del espectro de FM y TV.



La antena bicónica está formada por dos conductores cónicos opuestos, de eje y vértices comunes, y alimentados por los vértices. Para diseños en los que se pretende conseguir una impedancia de entrada próxima a $50[\Omega]$, el ángulo del cono debe situarse en torno a los 60° . Es una antena de banda ancha y poca eficiencia a frecuencias bajas, lo que se refleja en bajas intensidades de campo en comparación con la potencia de entrada.

El modelo 3180 fue diseñada para satisfacer los requerimientos descritos en la CISPR. Se utiliza muy a menudo en estudios de interferencia electromagnética (EMI). En la tabla 7 se muestran las especificaciones de la antena bicónica. En la figura 14 y tabla 8 se describen las dimensiones de la antena.

Rango de Frecuencia	30[MHz] a 1[GHZ]
VSWR	< 2.5:1
Máxima entrada de potencia	50[W]
Impedancia	50[Ω]
Conector	Entrada tipo N hembra

Tabla 7. Especificaciones técnicas antena bicónica.

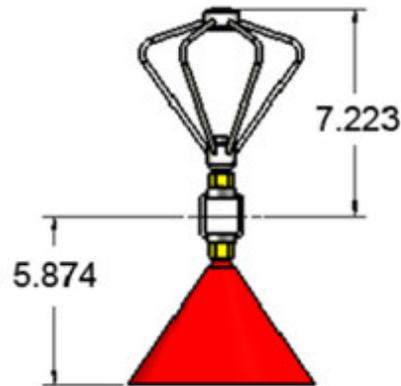
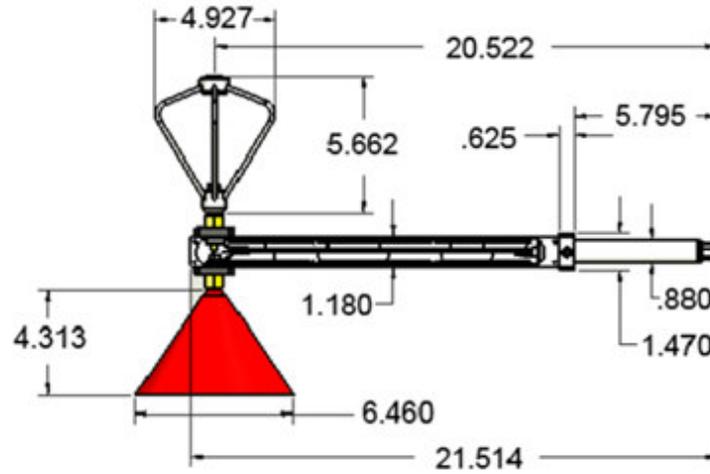


Figura 14. Dimensiones de la antena bicónica (Dimensiones en pulgadas).

Largo	58.4 [cm]	23.36[in]
Ancho	36.7 [cm]	14.68[in]
Altura/Diámetro	12.5 [cm]	5[in]

Tabla 8. Dimensiones de la antena bicónica.

Patrón de radiación.

En la figura 15 se muestra el patrón de radiación de la antena bicónica. El patrón de radiación es tomado en polarización horizontal con respecto al plano de tierra.

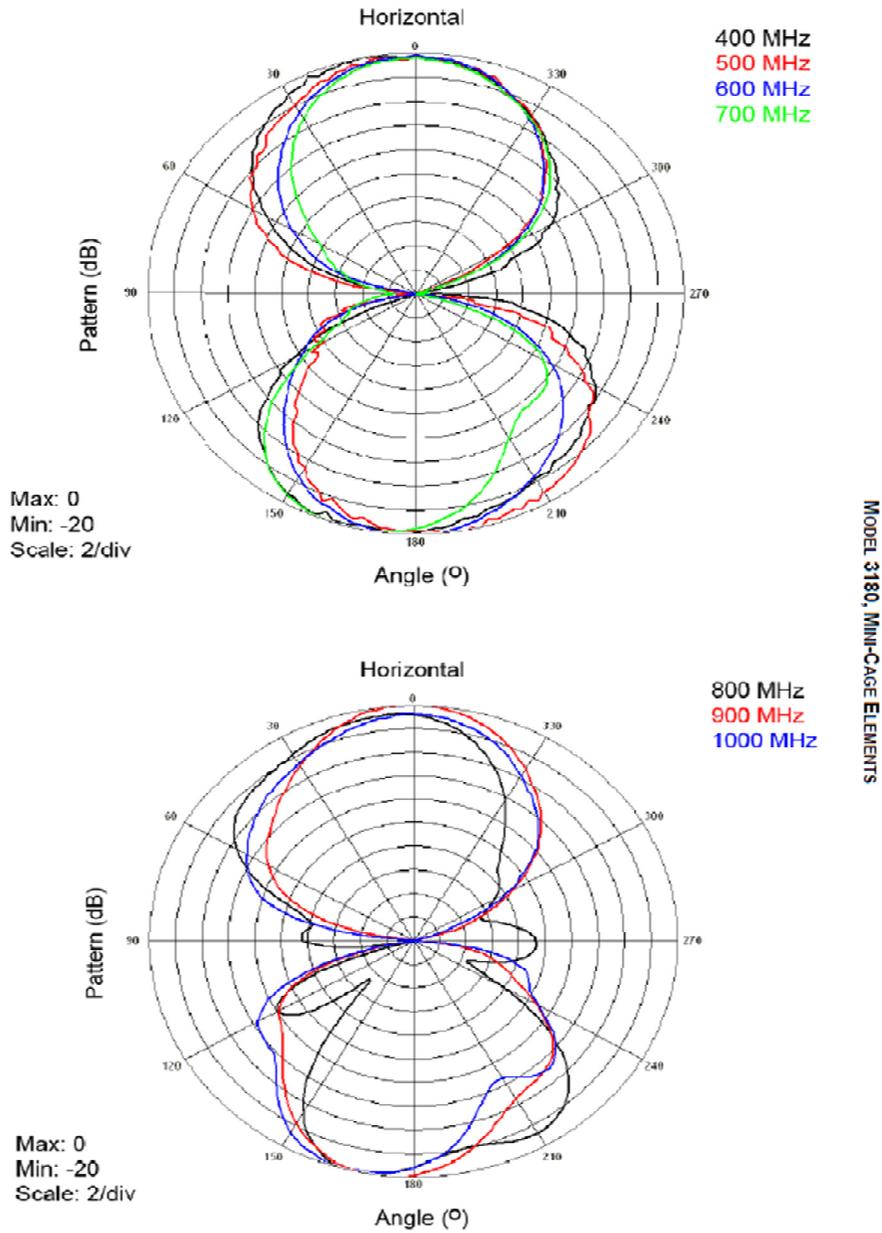


Figura 15. Patrón de radiación antena bicónica

Ganancia.



En la figura 16 se muestra la ganancia de la antena de 30 MHz a 1GHz.

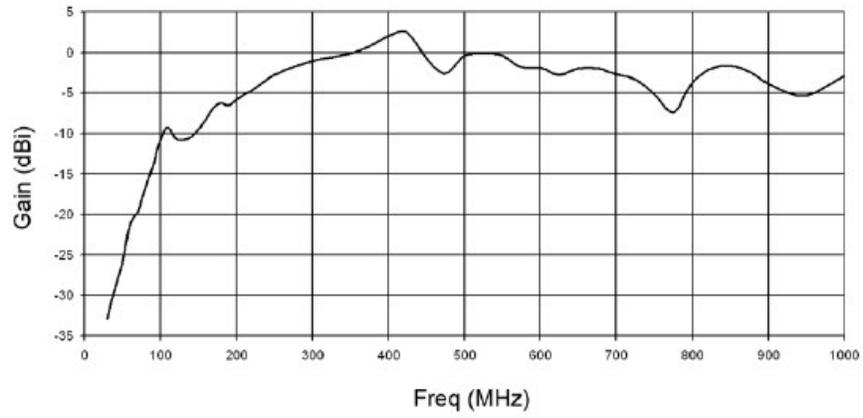


Figura 16 .Grafica de ganancia antena bicónica.

Factor de antena.



En la tabla 9 se tiene el factor de antena de la antena bicónica.

f[MHz]	FA [dB/m] bicónica Rx
30.00	40.4
35.00	38.8
40.00	37.1
45.00	36.3
50.00	34.7
60.00	33.1
70.00	31.4
80.00	29.7
90.00	27.6
100.00	25.7
120.00	22
140.00	20.3
160.00	19.7
180.00	19.2
200.00	19.7
250.00	18.5
300.00	19.8
400.00	21.6
500.00	24.6
600.00	26.5
700.00	30.9
800.00	32.9
900.00	32
1 000	33.3

Tabla 9. Factor de antena (FA) de la antena bicónica

6.3.4.2. Antena Logoperiodica.

Se utilizó una antena Logoperiodica ETS LINGREN modelo 3140D para la transmisión, ideal para las pruebas descritas en ANS, la FCC-15, FCC-18 y pruebas de inmunidad electromagnética descritas por la IEC 61000-4-3. Es una antena diseñada para el método de barrido en frecuencia, lo que aporta una ganancia en tiempo y dinero.

Los parámetros de impedancia o radiación son una función periódica logarítmica de la frecuencia de operación, esto quiere decir que la longitud y separación entre sus elementos siguen una variación logarítmica en vez de lineal.

Esta antena recibe alimentación en todos sus elementos con lo que se consigue un ancho de banda mayor y una impedancia pareja dentro de todas las frecuencias de trabajo de la antena. Puede proporcionar hasta 10[dB] de ganancia extra comparándola con una antena de $\frac{1}{4}$ de longitud onda, a la vez que puede atenuar hasta 30[dB] fuentes de interferencia provenientes de otras direcciones si se usa como antena receptora. Es común encontrarla para la transmisión de señales de TV, FM y para comunicaciones militares. En la tabla 10 y 11 encontramos las especificaciones de la antena.

Conectores	Rango de frecuencias	Potencia máxima	Impedancia	VSWR
Conector N Hembra	26[MHz]-60[MHz]	500[W]	50[Ω]	2:1
	60[MHz]-600[MHz]	1[KW]		
	600[MHz]-1[GHz]	500[W]		
	1[GHz]-6[GHz]	200[W]		

Tabla 10. Especificaciones técnicas de la antena logoperiodica.



Figura 17. Antena logo periódica

Ancho	133.9[cm]	52.7[in]
Largo	168.1[cm]	66.2[in]
Altura	76.2[cm]	30[in]
Peso	77[kg]	17[lb]

Tabla 11 .Dimensiones antena logoperiodica.

Patrón de radiación.

En las figuras 18 y 19 se expresan los patrones de radiación en campo eléctrico y magnético de la antena.

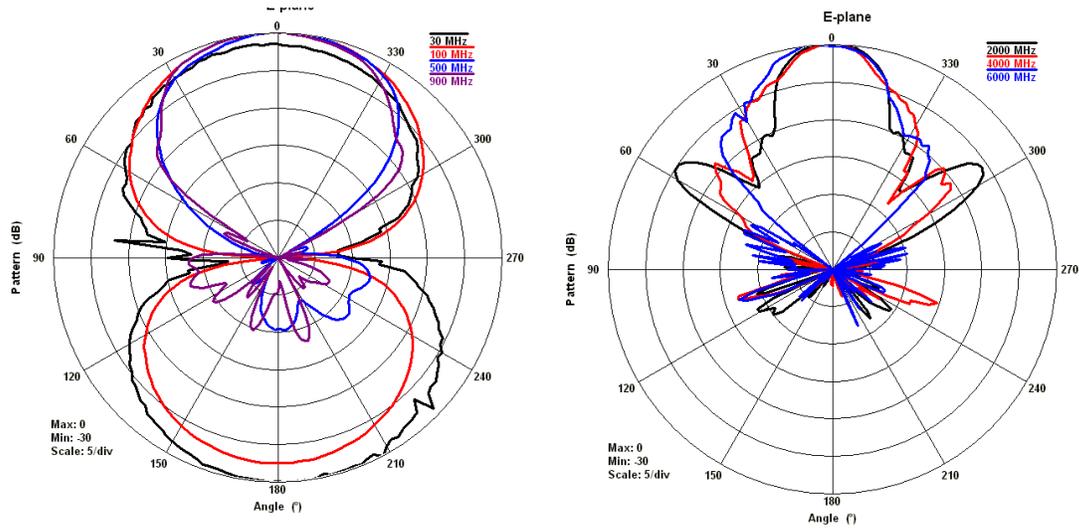


Figura 18. Patrón de radiación antena logoperiodica. Campo eléctrico.

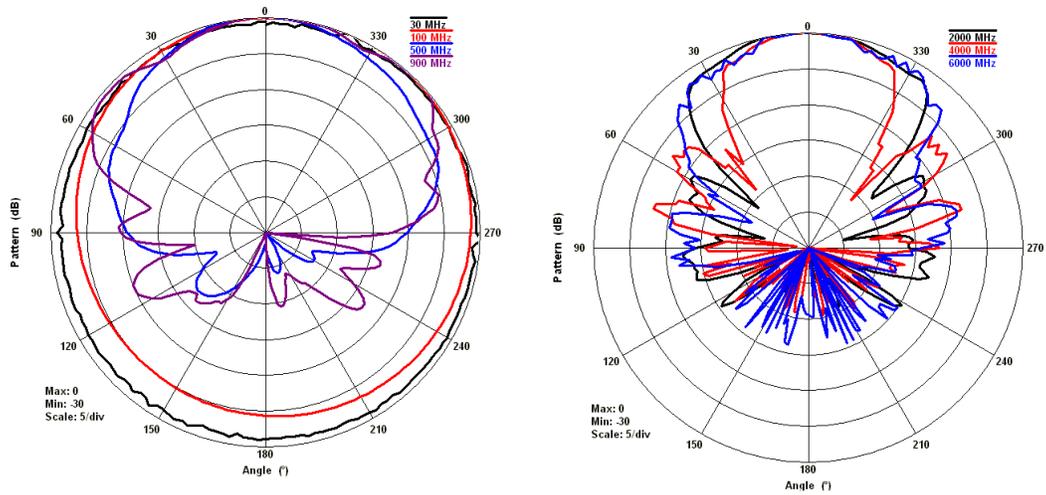


Figura 19. Patrón de radiación antena logoperiodica. Campo magnético.

Ganancia.

En la figura 20 se muestra la ganancia de la antena de 10 MHz a 1GHz.

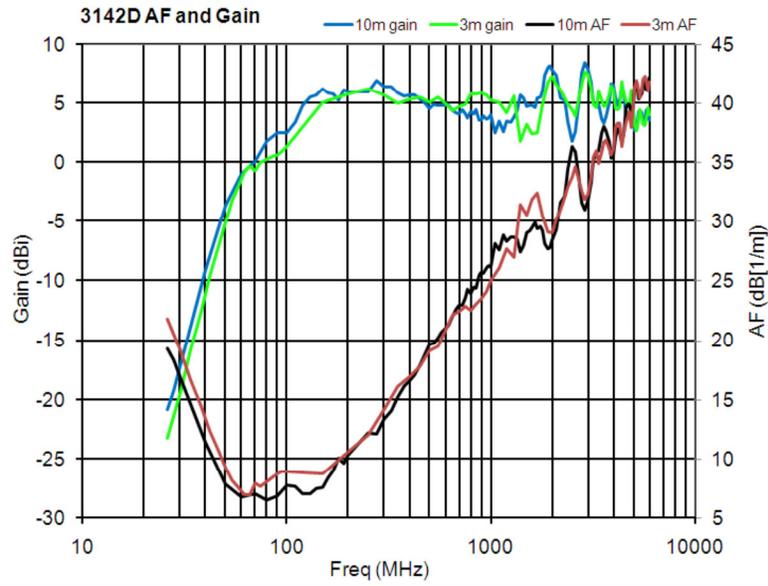


Figura 20. Gráfica de la ganancia de la antena Logoperiodica.



Factor de antena.

En la tabla 12 se tiene el factor de antena de la antena logoperiodica.

f [MHz]	H [dB/m]	V [dB/m]
30.00	19.8	16.9
35.00	16.6	14.25
40.00	13.4	11.6
45.00	11.2	9.85
50.00	9	8.1
60.00	7.6	7.7
70.00	7.7	7.8
80.00	8.2	7.6
90.00	9.3	8.2
100.00	9.7	8.4
120.00	8.6	7.6
140.00	8.8	7.7
160.00	9.1	8
180.00	10.4	9.6
200.00	10.9	11.3
250.00	13.1	13.3
300.00	13.8	14.2
400.00	16.2	16.2
500.00	18.6	19.3
600.00	20.3	19.5
700.00	21.7	20.5
800.00	23.1	22.4
900.00	24.6	24.7
1 000	25.1	26.1

Tabla 12. Factor de antena (FA) de la antena Logoperiodica.

6.3.5. PROBADOR DE AISLAMIENTO DE TIERRA.

Se utilizó el probador de aislamiento de tierras (PAT) METREL modelo MI2088. El PAT es indispensable para la parte pre experimentación, ya que para constatar que la construcción del plano del tierra es correcta, fue necesario constatar que las tierras físicas cumplen con un valor igual o menor a $5[\Omega]$.

El PAT mide la resistencia de la tierra gracias al método de las tres picas, con esto se verifico que las tierras físicas son óptimas para la conexión al plano de tierra y este cumpla su función de reflejar las señales del EBP. En la tabla 13 tenemos las especificaciones del PAT.



Figura 21. Probador de aislamiento de tierra.

Rango [Ω]	Resolución [Ω]
0-19.99	0.01
20-199.9 k	0.1
2k-19.99k	1
20k-199.9	10
20k-199.9k	0.1k
200k-999k	1k

Tabla 13. Resolución del probador de aislamiento de tierra.

6.4. Procesamiento de datos.

Posterior a la toma de lecturas, el procesamiento de los datos para su análisis se hace de la manera siguiente según la NOM.

Los datos de factor de antena (FA) de la antena receptora, FA de antena transmisora, V_{sitio} y $V_{directo}$ son procesados para calcular el ANS medido. El ANS medido es comparado con el ANS teórico, para cotejar ambos ANS y saber la desviación del ANS medido del ANS teórico.



Si esta desviación está en el rango ± 4 [dB], el campo de medidas se considera satisfactoriamente construido para su uso en la experimentación y prueba de equipos radio frecuencia según la NOM, CISPER y ANSI.

Para observar claramente la desviación del ANS medido es recomendable hacer una gráfica donde se observen los rangos de desviación y el ANS medido.

En la tabla 14 se encuentra el orden en que se colocan los datos y su relación con el ANS.

f. (1)	P. (2)	V Directo (3)	V sitio (4)	ΔAF_{TOT} (5)	A (6)	AF _{TX} (7)	AF _{RX} (8)	ANS-Medido (9)	ANS-Teórico (10)	D (11)	Li (12)	Ls (13)
MHz	H/V	dBuV	dBuV	dB	dB	dB(1/m)	dB(1/m)	dB(1/m) ²	dB(1/m) ²	dB	dB(1/m) ₂	dB(1/m) ₂
30												
35												
40												
45												
50												
60												
70												
80												
90												
100												
120												
140												
160												
180												
200												
250												
300												
400												
500												
600												
700												
800												
900												
1 000												

Tabla 14. Manejo de datos.



Dónde:

- (1). **f**-Frecuencia: Son las frecuencias en que se toma lectura, en el ancho de banda especificado para el estudio.
- (2). **P**-Polarización: Se anota la polarización en que se encuentren las antenas transmisora y receptora.
- (3). **V_{directo}** Es la lectura que se toma con los cables de transmisión (TX) y recepción (RX) conectados mediante un adaptador.
- (4). **V_{sitio}**-Es la lectura de tensión recibida al radiar potencia mediante las antenas de TX y RX.
- (5). **ΔAF_{TOT}**- Es el factor de corrección de impedancia mutua, es usado en el método discreto para dipolos sintonizados de media onda.
- (6). **A**-Ajuste de atenuación: Es la atenuación del sitio sin tomar en cuenta los factores de antena, restando $A = V_{DIRECTO} - V_{SITIO}$, en su respectiva frecuencia.
- (7). **AF_{TX}**- Factor de antena transmisora.
- (8). **AF_{RX}**- Factor de antena receptora.
- (9). **ANS_{MEDIDO}**- Es la atenuación que sufre la señal en su propagación entre las dos antenas del sitio, es el resultado de la ecuación $ANS_{medido} = V_{directo} - V_{sitio} - FA_{TX} - FA_{RX}$
- (10). **ANS_{TEORICO}**- Es el ANS para un sitio ideal, proporciona la base para el rango de aceptación de ± 4 [dB].
- (11). **D**-Desviación total ya sea negativa o positiva del ANS medido con respecto al ANS teórico en [dB]
- (12). **Li**- Límite inferior del criterio de los ± 4 [dB].
- (13). **Li**-Límite superior del criterio de los ± 4 [dB].

6.5. Ruido ambiental.

Debido a que el campo se encuentra al aire libre puede ser afectado por un enorme cumulo de señales que viajan por el aire libre, señales de radio, televisión, etc. Es por esto que es oportuno hacer un escaneo del ruido ambiente detectable desde el campo de medidas, en la banda en que se realizó el estudio (de 30[MHz] a 1 [GHz]).

CAPÍTULO VII. RESULTADOS.

Después de la toma de lecturas y procesar los datos se decidió hacer modificaciones al campo de medidas, agregando los conjuntos de tierras físicas B y C (explicado en el capítulo 4.3) ,esto debido a que se consideró que el campo sería más eficaz.

A lo largo de este capítulo se muestran los datos del campo recolectados antes y después realizar las modificaciones del campo de medidas. Así como las tablas de valores para un sitio de pruebas ideal, usados como referencia para conocer la desviación del sitio experimental.

Los resultados son presentados como en la tabla 14 y de manera gráfica para apreciar la desviación en referencia a un sitio ideal según el criterio de los 4[dB].

Los resultados antes y después de las modificaciones también son comparados, para conocer sus efectos en el campo de medidas, observándose en tablas y gráficas.

Posterior al procesamiento de datos y presentación de resultados se encuentra el análisis y observaciones.

7.1. MEDIDAS CAMPO ORIGINAL.

Se tomaron las lecturas del campo bajo condiciones normalizadas y siguiendo las instrucciones estipuladas en la NOM.

Una vez montada la antena receptora conectada al analizado de espectro y la antena transmisora conectada al generador de señales, se procedió a realizar el barrido de frecuencias y de altura, para tomar la lectura de las tenciones recibidas.

Después de tomar la pantalla del analizador de espectro como en la figura 22, para guardar la lectura.

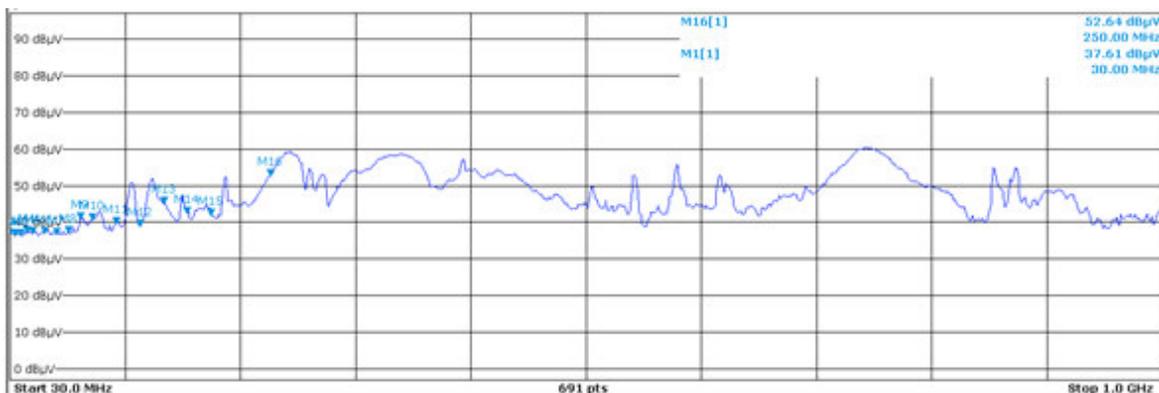


Figura 22. Pantalla analizador de espectro polarización vertical campo original.

Después de realizada la toma de lecturas de energía radiada, se hizo la toma de lecturas con los cables de transmisión y recepción unidos mediante un adaptador y se tomó la pantalla del analizador de espectro esta es la lectura de $V_{directo}$ (figura 23)

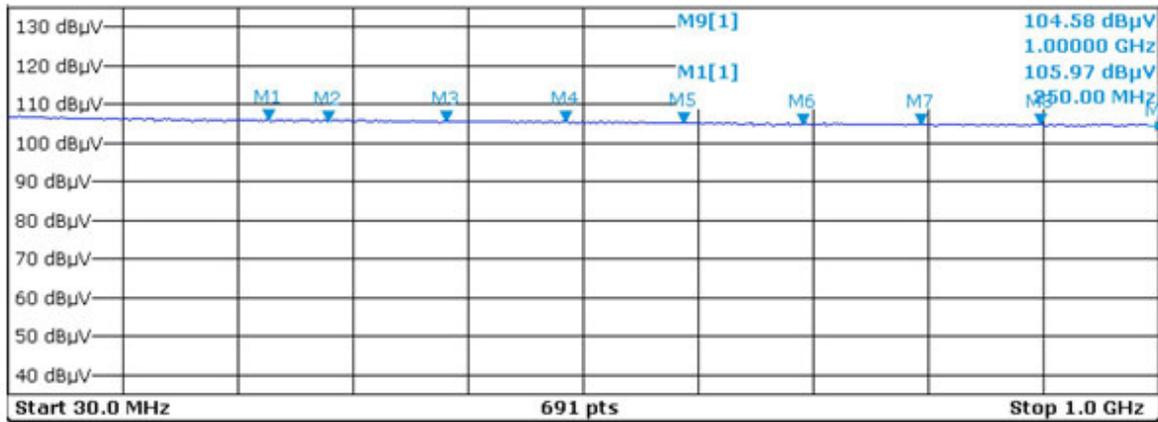


Figura 23. Pantallazo de $V_{directo}$.

Después de realizados ambos procedimientos se procedió a llenar la tabla de datos, en las tablas 15 y 16 se encuentran los datos recolectados y procesados.



7.1.1. POLARIZACIÓN VERTICAL.

f. (1)	P. (2)	V Directo (3)	V sitio (4)	ΔAF_{TOT} (5)	A (6)	AF_{TX} (7)	AF_{RX} (8)	ANS-Medido (9)	ANS-Teórico (10)	D (11)	Li (12)	Ls (13)
MHz	H/V	dBuV	dBuV	dB	dB	dB(1/m)	dB(1/m)	dB(1/m) ²	dB(1/m) ²	dB	dB(1/m) ²	dB(1/m) ²
30	V	106.41	37.46	68.95	0	16.9	40.4	11.65	8.2	-3.45	4.2	12.2
35	V	106.44	38	68.44	0	14.25	38.8	15.39	6.9	-8.49	2.9	10.9
40	V	106.43	36.98	69.45	0	11.6	37.1	20.75	5.8	-14.95	1.8	9.8
45	V	106.36	38.17	68.19	0	9.85	36.3	22.04	4.9	-17.14	0.9	8.9
50	V	106.27	37.48	68.79	0	8.1	34.7	25.99	4	-21.99	0	8
60	V	106.17	37.74	68.43	0	7.7	33.1	27.63	2.6	-25.03	-1.4	6.6
70	V	106.17	37.98	68.19	0	7.8	31.4	28.99	1.5	-27.49	-2.5	5.5
80	V	106.11	37.11	69	0	7.6	29.7	31.7	0.6	-31.1	-3.4	4.6
90	V	106.03	43.54	62.49	0	8.2	27.6	26.69	-0.1	-26.79	-4.1	3.9
100	V	106.02	46.94	59.08	0	8.4	25.7	24.98	-0.7	-25.68	-4.7	3.3
120	V	105.98	57.18	48.8	0	7.6	22	19.2	-1.5	-20.7	-5.5	2.5
140	V	105.92	66	39.92	0	7.7	20.3	11.92	-1.8	-13.72	-5.8	2.2
160	V	106.88	55.7	51.18	0	8	19.7	23.48	-1.7	-25.18	-5.7	2.3
180	V	105.81	57.73	48.08	0	9.6	19.2	19.28	-1.3	-20.58	-5.3	2.7
200	V	105.75	57.67	48.08	0	11.3	19.7	17.08	-3.6	-20.68	-7.6	0.4
250	V	105.6	69.3	36.3	0	13.3	18.5	4.5	-7.7	-12.2	-11.7	-3.7
300	V	105.52	61.02	44.5	0	14.2	19.8	10.5	-10.5	-21	-14.5	-6.5
400	V	105.28	69.38	35.9	0	16.2	21.6	-1.9	-14	-12.1	-18	-10
500	V	105.01	63.37	41.64	0	19.3	24.6	-2.26	-16.4	-14.14	-20.4	-12.4

Tabla 15. Campo original polarización vertical de 30MHz a 500MHz.

f. (1)	P. (2)	V Directo (3)	V sitio (4)	Δ AF TOT (5)	A (6)	AF TX (7)	AF RX (8)	ANS-Medido (9)	ANS-Teórico (10)	D (11)	Li (12)	Ls (13)
MHz	H/V	dBuV	dBuV	dB	dB	dB(1/m)	dB(1/m)	dB(1/m) ²	dB(1/m) ²	dB	dB(1/m) ²	dB(1/m) ²
600	V	104.73	65.85	38.88	0	19.5	26.5	-7.12	-16.3	-9.18	-20.3	-12.3
700	V	104	55.95	48.05	0	20.5	30.9	-3.35	-18.4	-15.05	-22.4	-14.4
800	V	104.49	57.53	46.96	0	22.4	32.9	-8.34	-20	-11.66	-24	-16
900	V	104.32	63.33	40.99	0	24.7	32	-15.71	-21.3	-5.59	-25.3	-17.3
1 000	V	104.2	57.34	46.86	0	26.1	33.3	-12.54	-22.4	-9.86	-26.4	-18.4

Tabla 16. Campo original polarización vertical de 600MHz a 1GHz.

Después de procesados los datos, se compararon con los valores para un sitio de medidas ideal desplegados en la NOM, para hacer una comparación más intuitiva se pasó a una interface gráfica que nos permite apreciar las diferencias entre el sitio experimental y el sitio ideal.

En la figura 24 se trazan las lecturas obtenidas en el campo de experimental y las medidas del campo ideal con el criterio de los ± 4 [dB], de esta manera es posible apreciar si el campo está dentro del rango de tolerancia, para la validación del sitio normalizado según la NOM.

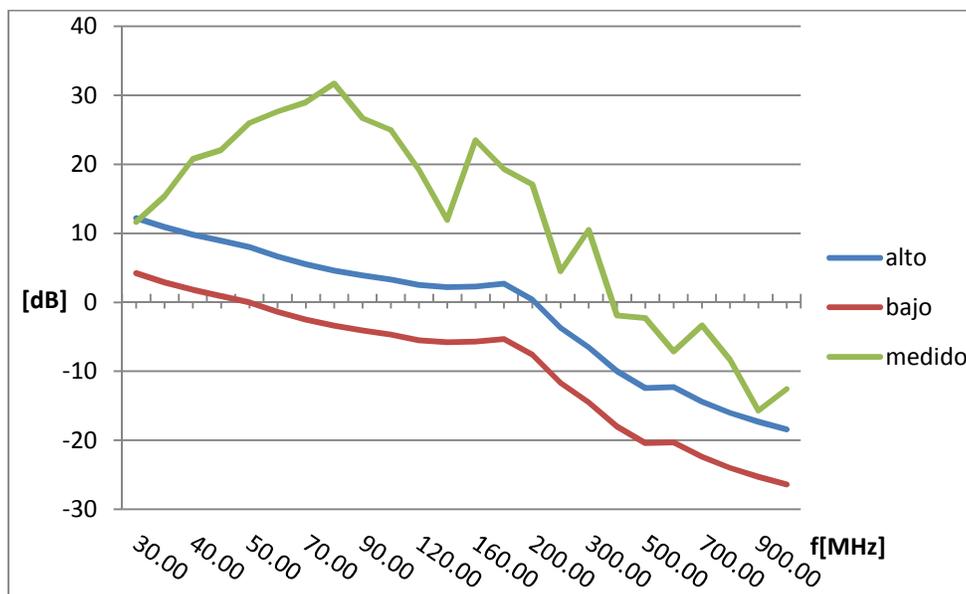


Figura 24. Grafica de resultados campo original polarización vertical.

Un sitio se considera aceptable si las mediciones de atenuación del sitio en los campos horizontal y vertical están a una desviación de ± 4 [dB] de la atenuación teórica del sitio.

A partir de las medidas para un sitio ideal normalizado se crea un área de tolerancia de ± 4 [dB], las lecturas tomadas del sitio experimental normalizado deben estar entre el límite superior e inferior para considerar que el sitio es válido.

Como se aprecia en la figura 24 las medidas para el campo normalizado, en polarización vertical no están dentro del criterio de tolerancia, lo que invalida el sitio de pruebas según lo estipulado en la NOM.

7.1.2. POLARIZACIÓN HORIZONTAL.

A continuación se realizó el mismo procedimiento para polarización horizontal .A continuación la toma de lecturas y la captura de la pantalla del analizador de espectro, en la figura 25.

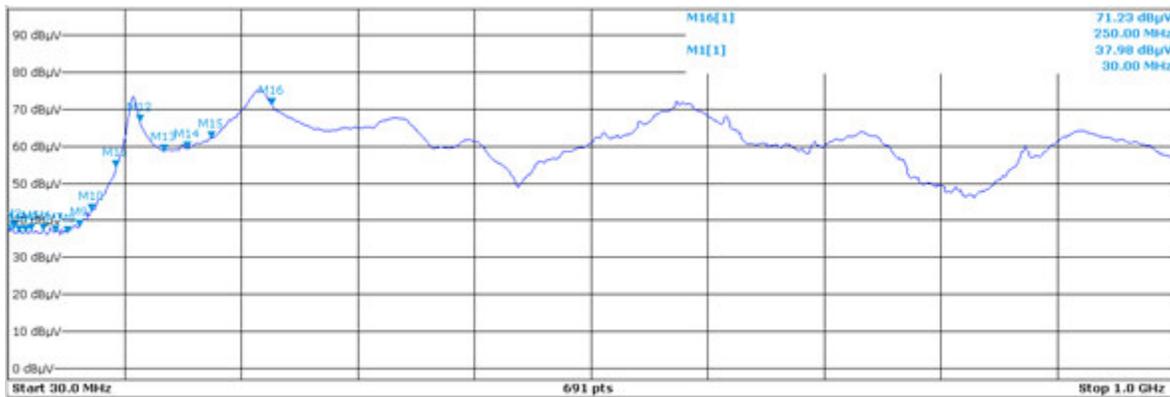


Figura 25. Pantalla analizador de espectro polarización horizontal campo original.

Después de la toma de lectura se hizo el procesamiento de datos y se capturaron los datos en las tablas 17 y 18 para realizar las operaciones de ANS experimental y compararlo con el ANS teórico.

f. (1)	P. (2)	V Directo(3)	V sitio (4)	ΔAF_{TOT} (5)	A (6)	AF _{TX} (7)	AF _{RX} (8)	ANS-Medido (9)	ANS-Teórico (10)	D (11)	Li (12)	Ls (13)
MHz	H/V	dBuV	dBuV	dB	dB	dB(1/m)	dB(1/m)	dB(1/m) ²	dB(1/m) ²	dB	dB(1/m) ²	dB(1/m) ²
30	H	106.41	37.98	68.43	0	19.8	40.4	8.23	15.8	7.57	11.8	19.8
35	H	106.44	37.93	68.51	0	16.6	38.8	13.11	13.4	0.29	9.4	17.4
40	H	106.43	37.8	68.63	0	13.4	37.1	18.13	11.3	-6.83	7.3	15.3

Tabla 17. Campo original polarización horizontal de 30MHz a 40MHz.



f. (1)	P. (2)	V Directo(3)	V sitio (4)	Δ AF TOT (5)	A (6)	AFTX (7)	AF RX (8)	ANS-Medido (9)	ANS-Teórico (10)	D (11)	Li (12)	Ls (13)
MHz	H/V	dBuV	dBuV	dB	dB	dB(1/m)	dB(1/m)	dB(1/m) ²	dB(1/m) ²	dB	dB(1/m) ²	dB(1/m) ²
45	H	106.36	36.9	69.46	0	11.2	36.3	21.96	9.4	-12.56	5.4	13.4
50	H	106.27	37.23	69.04	0	9	34.7	25.34	7.8	-17.54	3.8	11.8
60	H	106.17	37.35	68.82	0	7.6	33.1	28.12	5	-23.12	1	9
70	H	106.17	38.2	67.97	0	7.7	31.4	28.87	2.8	-26.07	-1.2	6.8
80	H	106.11	38.28	67.83	0	8.2	29.7	29.93	0.9	-29.03	-3.1	4.9
90	H	106.03	42.21	63.82	0	9.3	27.6	26.92	-0.7	-27.62	-4.7	3.3
100	H	106.02	45.31	60.71	0	9.7	25.7	25.31	-2	-27.31	-6	2
120	H	105.98	57.18	48.8	0	8.6	22	18.2	-4.2	-22.4	-8.2	-0.2
140	H	105.92	68.18	37.74	0	8.8	20.3	8.64	-6	-14.64	-10	-2
160	H	106.88	59.63	47.25	0	9.1	19.7	18.45	-7.4	-25.85	-11.4	-3.4
180	H	105.81	59.43	46.38	0	10.4	19.2	16.78	-8.6	-25.38	-12.6	-4.6
200	H	105.75	62.27	43.48	0	10.9	19.7	12.88	-9.6	-22.48	-13.6	-5.6
250	H	105.6	71.23	34.37	0	13.1	18.5	2.77	-11.7	-14.47	-15.7	-7.7
300	H	105.52	64.28	41.24	0	13.8	19.8	7.64	-12.8	-20.44	-16.8	-8.8
400	H	105.28	66.63	38.65	0	16.2	21.6	0.85	-14.8	-15.65	-18.8	-10.8
500	H	105.01	60.1	44.91	0	18.6	24.6	1.71	-17.3	-19.01	-21.3	-13.3
600	H	104.73	70.2	34.53	0	20.3	26.5	-12.27	-19.1	-6.83	-23.1	-15.1
700	H	104	61.64	42.36	0	21.7	30.9	-10.24	-20.6	-10.36	-24.6	-16.6
800	H	104.49	59.88	44.61	0	23.1	32.9	-11.39	-21.3	-9.91	-25.3	-17.3
900	H	104.32	60.62	43.7	0	24.6	32	-12.9	-22.5	-9.6	-26.5	-18.5
1 000	H	104.2	57.63	46.57	0	25.1	33.3	-11.83	-23.5	-11.67	-27.5	-19.5

Tabla 18. Campo original polarización horizontal d 45 MHz a 1GHz.

Al igual que con la tabla de polarización vertical se graficaron las lecturas del campo normalizado experimental, límite inferior y límite superior del campo normalizado ideal.

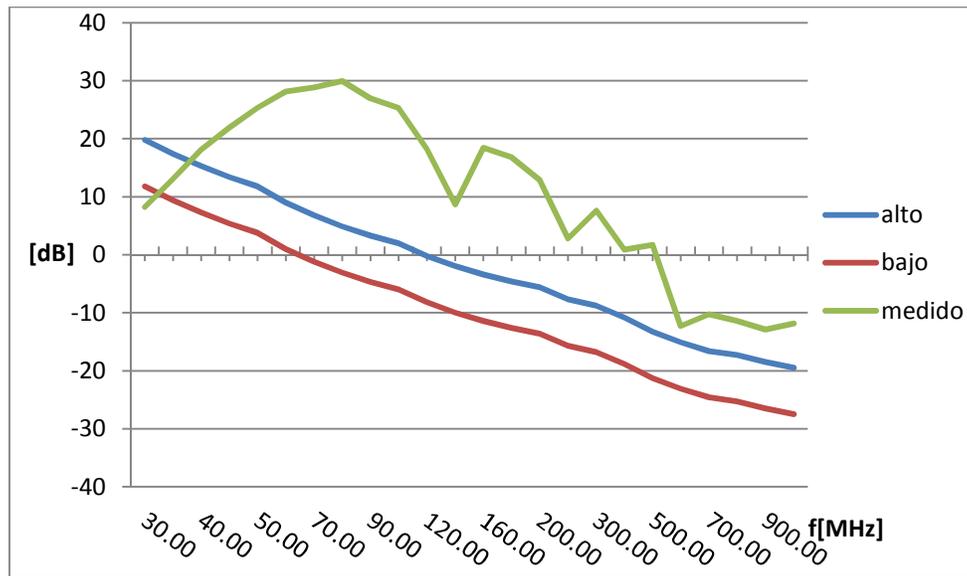


Figura 26. Grafica de resultados campo original polarización horizontal.

Se observa que al igual que con las lecturas de polarización vertical después de ser procesadas, los resultados con polarización horizontal no están dentro del área de tolerancia, por lo cual el sitio no se considera aceptable según la NOM.

7.2 MEDIDAS DE CAMPO MODIFICADO.

Se tomaron las lecturas del campo después haber colocado otro par de tierras físicas (conjuntos B y C de tierras físicas, figura 6) y conectarlas al plano de tierras física.

Esta acción se realizó debido a que si se mejoraba el campo de tierras físicas, aumenta la reflexión de la señal de la antena transmisora acercado la lectura tomada al área de tolerancia.

Si los datos procesados se encuentran dentro del área de tolerancia el campo de medidas puede considerarse valido según la NOM.

Se procedió a repetir el procedimiento para las polarizaciones horizontal y vertical, procesarlas y compararlas gráficamente con los intervalos de tolerancia.

7.2.1. POLARIZACIÓN VERTICAL

El primer paso fue tomar la lectura del campo en polarización vertical, cuando el analizador de espectro estaba conectado a la antena receptora y el generador a la antena transmisora, denominada V_{sitio} .

Se recogió la pantalla del analizador de espectro como se muestra en la figura 27.

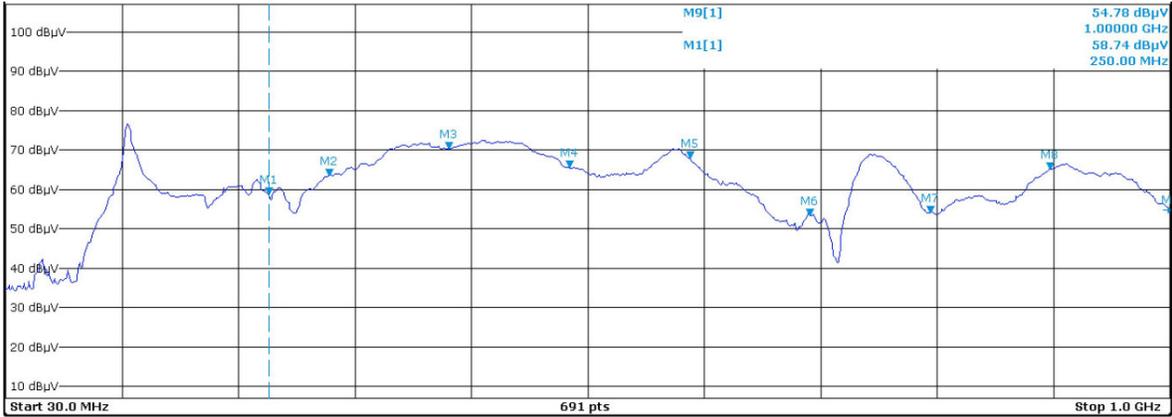


Figura 27. Pantalla analizador de espectro polarización vertical campo modificado.

Posteriormente se procedió a realizar la lectura de $V_{directo}$ conectando los cables de recepción y transmisión mediante un adaptador (figura 28).

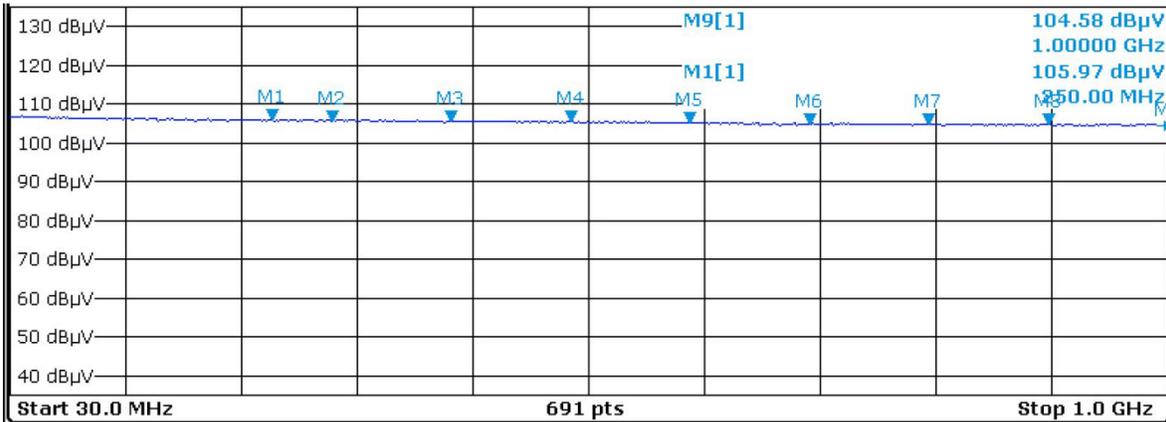


Figura 28. Pantallazo $V_{directo}$.

Para el procesamiento de lecturas, se capturan los datos en las tablas 19 y 20. Para ser comparados con los datos de un campo de medidas ideal en polarización vertical.



f. (1)	P. (2)	V Directo(3)	V sitio (4)	ΔAF_{TOT} (5)	A (6)	AF_{TX} (7)	AF_{RX} (8)	ANS-Medido (9)	ANS-Teórico (10)	D (11)	Li (12)	Ls (13)
MHz	H/V	dBuV	dBuV	dB	dB	dB(1/m)	dB(1/m)	dB(1/m) ²	dB(1/m) ²	dB	dB(1/m) ²	dB(1/m) ²
30	V	106.63	36.71	0	69.92	16.9	40.4	12.62	8.2	-4.42	4.2	12.2
35	V	106.63	34.94	0	71.69	14.25	38.8	18.64	6.9	-11.74	2.9	10.9
40	V	106.79	34.9	0	71.89	11.6	37.1	23.19	5.8	-17.39	1.8	9.8
45	V	106.42	36.43	0	69.99	9.85	36.3	23.84	4.9	-18.94	0.9	8.9
50	V	106.6	37.38	0	69.22	8.1	34.7	26.42	4	-22.42	0	8
60	V	106.47	42.79	0	63.68	7.7	33.1	22.88	2.6	-20.28	-1.4	6.6
70	V	106.34	39.57	0	66.77	7.8	31.4	27.57	1.5	-26.07	-2.5	5.5
80	V	106.29	37.32	0	68.97	7.6	29.7	31.67	0.6	-31.07	-3.4	4.6
90	V	106.43	39.55	0	66.88	8.2	27.6	31.08	-0.1	-31.18	-4.1	3.9
100	V	106.35	46.64	0	59.71	8.4	25.7	25.61	-0.7	-26.31	-4.7	3.3
120	V	106.3	60.5	0	45.8	7.6	22	16.2	-1.5	-17.7	-5.5	2.5
140	V	106.29	68.79	0	37.5	7.7	20.3	9.5	-1.8	-11.3	-5.8	2.2
160	V	105.84	59.35	0	46.49	8	19.7	18.79	-1.7	-20.49	-5.7	2.3
180	V	106.12	59.38	0	46.74	9.6	19.2	17.94	-1.3	-19.24	-5.3	2.7
200	V	105.96	60.83	0	45.13	11.3	19.7	14.13	-3.6	-17.73	-7.6	0.4
250	V	105.96	70.81	0	35.15	13.3	18.5	3.35	-7.7	-11.05	-11.7	-3.7
300	V	105.59	63.47	0	42.12	14.2	19.8	8.12	-10.5	-18.62	-14.5	-6.5
400	V	105.64	70.31	0	35.33	16.2	21.6	-2.47	-14	-11.53	-18	-10

Tabla 19. Campo modificado polarización vertical de 30MHz a 400MHz.

f. (1)	P. (2)	V Directo(3)	V sitio (4)	ΔAF_{TOT} (5)	A (6)	AF_{TX} (7)	AF_{RX} (8)	ANS-Medido (9)	ANS-Teórico (10)	D (11)	Li (12)	Ls (13)
MHz	H/V	dBuV	dBuV	dB	dB	dB(1/m)	dB(1/m)	dB(1/m) ²	dB(1/m) ²	dB	dB(1/m) ²	dB(1/m) ²
500	V	105.46	65.55	0	39.91	19.3	24.6	-3.99	-16.4	-12.41	-20.4	-12.4
600	V	105.29	67.86	0	37.43	19.5	26.5	-8.57	-16.3	-7.73	-20.3	-12.3
700	V	104.85	59.01	0	45.84	20.5	30.9	-5.56	-18.4	-12.84	-22.4	-14.4
800	V	104.67	58.63	0	46.04	22.4	32.9	-9.26	-20	-10.74	-24	-16
900	V	104.78	65.1	0	39.68	24.7	32	-17.02	-21.3	-4.28	-25.3	-17.3
1 000	V	104.58	59.37	0	45.21	26.1	33.3	-14.19	-22.4	-8.21	-26.4	-18.4

Tabla 20. Campo modificado polarización vertical de 500 MHz a 1GHz.

Después de procesar los datos en la tabla se compararon con los resultados teóricos para visualizar de manera gráfica la desviación de las medidas experimentales con respecto de los intervalos de tolerancia para un sitio de pruebas ideal. La representación gráfica de esta medida se encuentra en la figura 29.

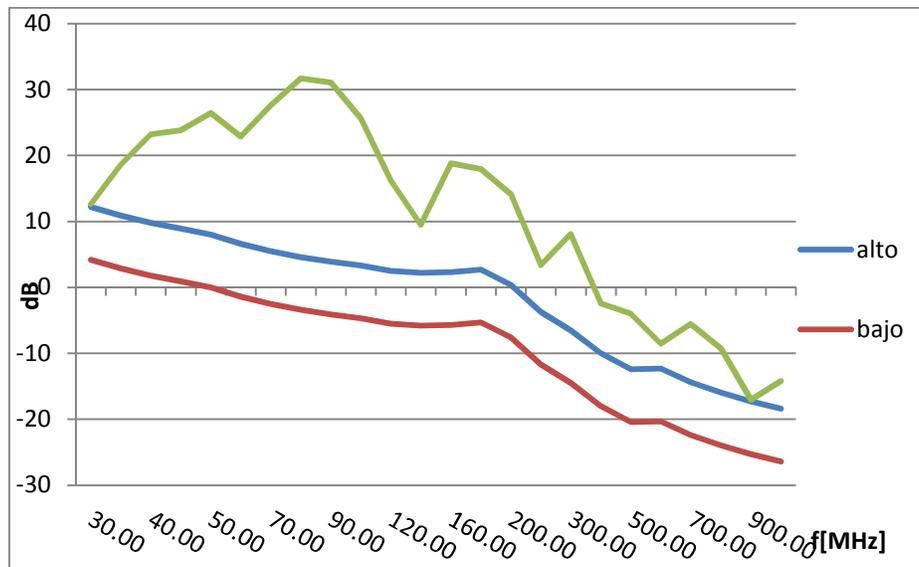


Figura 29. Grafica de resultados campo modificado polarización vertical.

En la gráfica se aprecia que los resultados no se encuentran dentro de los intervalos de tolerancia para polarización vertical, el sitio no se considera aceptable como lo estipula la NOM.

7.2.1. POLARIZACIÓN HORIZONTAL.

A continuación se muestran los datos y las pantallas obtenidas para la polarización horizontal después de ser modificada el área abierta.

En la figura 30 se muestra la pantalla del analizador de espectro, para la toma de lectura.

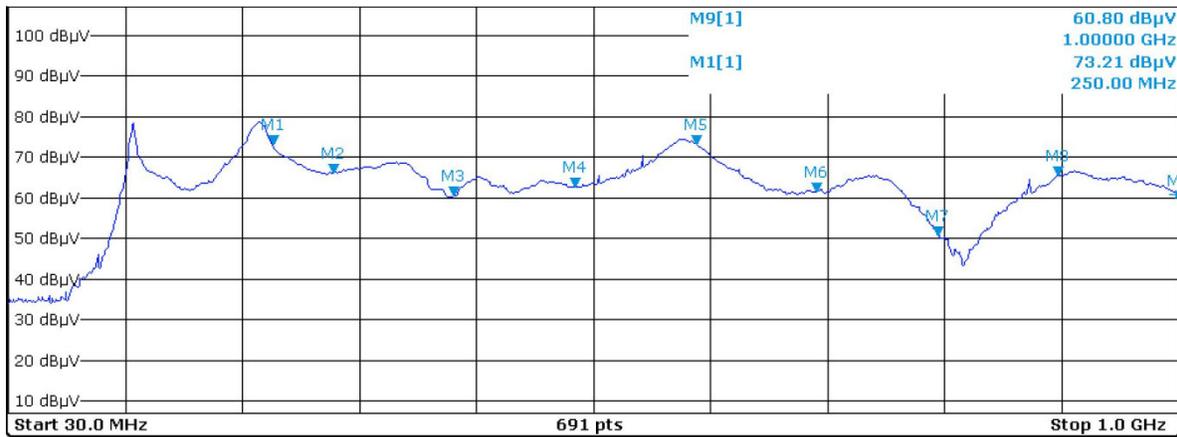


Figura 30. Pantalla analizador de espectro polarización horizontal campo modificado.

Después del procedimiento para la toma de lecturas, se llenaron las tablas 21 y 22 de datos para su análisis.

f. (1)	P. (2)	V Directo(3)	V sitio (4)	ΔAF_{TOT} (5)	A (6)	AF _{TX} (7)	AF _{RX} (8)	ANS-Medido (9)	ANS-Teórico (10)	D (11)	Li (12)	Ls (13)
MHz	H/V	dBuV	dBuV	dB	dB	dB(1/m)	dB(1/m)	dB(1/m) ²	dB(1/m) ²	dB	dB(1/m) ²	dB(1/m) ²
30	H	106.63	35.94	0	70.69	19.8	40.4	10.49	15.8	5.31	11.8	19.8
35	H	106.63	35.03	0	71.6	16.6	38.8	16.2	13.4	-2.8	9.4	17.4
40	H	106.79	35.85	0	70.94	13.4	37.1	20.44	11.3	-9.14	7.3	15.3
45	H	106.42	35.3	0	71.12	11.2	36.3	23.62	9.4	-14.22	5.4	13.4
50	H	106.6	36.06	0	70.54	9	34.7	26.84	7.8	-19.04	3.8	11.8

Tabla 21. Campo modificado polarización horizontal de 30MHz a 50MHz.



f. (1)	P. (2)	V Directo(3)	V sitio (4)	ΔAF_{TOT} (5)	A (6)	AF_{TX} (7)	AF_{RX} (8)	ANS-Medido (9)	ANS-Teórico (10)	D (11)	Li (12)	Ls (13)
MHz	H/V	dBuV	dBuV	dB	dB	dB(1/m)	dB(1/m)	dB(1/m) ²	dB(1/m) ²	dB	dB(1/m) ²	dB(1/m) ²
60	H	106.47	35.5	0	70.97	7.6	33.1	30.27	5	-25.27	1	9
70	H	106.34	37.44	0	68.9	7.7	31.4	29.8	2.8	-27	-1.2	6.8
80	H	106.29	38.18	0	68.11	8.2	29.7	30.21	0.9	-29.31	-3.1	4.9
90	H	106.43	42.82	0	63.61	9.3	27.6	26.71	-0.7	-27.41	-4.7	3.3
100	H	106.35	46.13	0	60.22	9.7	25.7	24.82	-2	-26.82	-6	2
120	H	106.3	58.27	0	48.03	8.6	22	17.43	-4.2	-21.63	-8.2	-0.2
140	H	106.29	70.36	0	35.93	8.8	20.3	6.83	-6	-12.83	-10	-2
160	H	105.84	65.05	0	40.79	9.1	19.7	11.99	-7.4	-19.39	-11.4	-3.4
180	H	106.12	62.1	0	44.02	10.4	19.2	14.42	-8.6	-23.02	-12.6	-4.6
200	H	105.96	64.74	0	41.22	10.9	19.7	10.62	-9.6	-20.22	-13.6	-5.6
250	H	105.96	73.19	0	32.77	13.1	18.5	1.17	-11.7	-12.87	-15.7	-7.7
300	H	105.59	66.1	0	39.49	13.8	19.8	5.89	-12.8	-18.69	-16.8	-8.8
400	H	105.64	66.81	0	38.83	16.2	21.6	1.03	-14.8	-15.83	-18.8	-10.8
500	H	105.46	62.57	0	42.89	18.6	24.6	-0.31	-17.3	-16.99	-21.3	-13.3
600	H	105.29	73.18	0	32.11	20.3	26.5	-14.69	-19.1	-4.41	-23.1	-15.1
700	H	104.85	59.04	0	45.81	21.7	30.9	-6.79	-20.6	-13.81	-24.6	-16.6
800	H	104.67	62.99	0	41.68	23.1	32.9	-14.32	-21.3	-6.98	-25.3	-17.3
900	H	104.78	65.33	0	39.45	24.6	32	-17.15	-22.5	-5.35	-26.5	-18.5
1 000	H	104.58	60.8	0	43.78	25.1	33.3	-14.62	-23.5	-8.88	-27.5	-19.5

Tabla 22. Campo modificado polarización horizontal 60MHz a 1GHz.

Ya con los límites superior e inferior especificados por el margen de tolerancia de ± 4 [dB], se compara con el ANS experimental, el cual es producto del procesamiento de los datos recolectados en la toma de lecturas.

En la figura 31 se encuentran graficados los intervalos de tolerancia y los datos experimentales para su comparación gráfica.

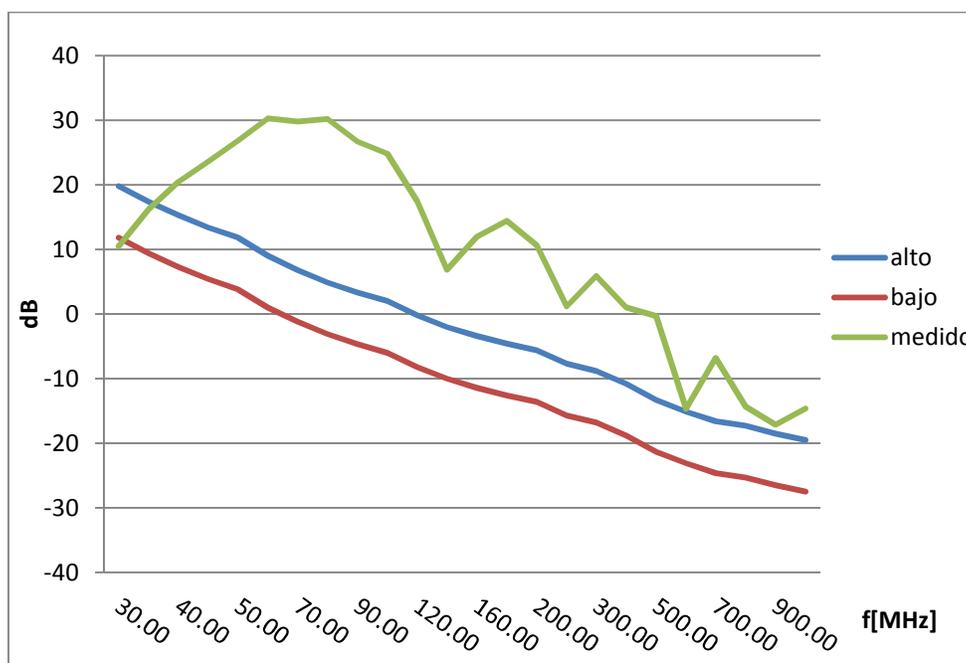


Figura 31. Grafica de resultados campo modificado polarización horizontal.

Como se aprecia en la figura 31, los datos procesados no se encuentran en el intervalo de tolerancia, por lo cual el sitio no se considera aceptable.

7.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS.

Al tener resultados antes y después de realizar cambios en el área abierta, se decidió desplegar ambos resultados, para comparar los efectos que, estos cambios tuvieron en el campo de medidas.

Al terminar el procesamiento y análisis individual de cada proceso, se comparó de forma numérica y gráfica para observar fácilmente las diferencias.



7.3.1. POLARIZACIÓN VERTICAL.

En las tablas 23 y 24 se encuentran los datos de desviación del ANS teórico para el campo antes (Dpre) y después de ser modificado (Dpos) para polarización vertical.

En las tablas 23 y 24 se encuentra el ANS teórico junto con los límites inferior (Li) y límite superior (Ls) dados por el criterio de los ± 4 [dB] el cual considera los errores totales del sitio y las imperfecciones del sitio.

Para comparar la eficacia del plano de tierra antes y después de los cambios se encuentra en la columna Dpre que es la desviación del ANS experimental del ANS teórico antes de agregar tierras al plano de tierra, en Dpos se encuentra la misma desviación después de agregar tierras físicas al plano de tierra.

Para apreciar el cambio en el plano de tierra entre modificaciones esta la columna Dm en la que se tiene la diferencia de entre la desviación pre modificación y pos modificación como se ve en la ecuación 1:

$$Dm = |Dpre - Dpos| \dots \text{ec. (1)}$$

f. (1)	P. (2)	ANS- Teórico (3)	Li (4)	Ls (5)	Dpre(6)	Dpos(7)	Dm(8)
MHz	H/V	dB(1/m) ²	dB(1/m) ²	dB(1/m) ²	dB	dB	dB
30	V	8.2	4.2	12.2	3.45	4.42	0.97
35	V	6.9	2.9	10.9	8.49	11.74	3.25
40	V	5.8	1.8	9.8	14.95	17.39	2.44
45	V	4.9	0.9	8.9	17.14	18.94	1.8
50	V	4	0	8	21.99	22.42	0.43
60	V	2.6	-1.4	6.6	25.03	20.28	4.75
70	V	1.5	-2.5	5.5	27.49	26.07	1.42
80	V	0.6	-3.4	4.6	31.1	31.07	0.03
90	V	-0.1	-4.1	3.9	26.79	31.18	4.39
100	V	-0.7	-4.7	3.3	25.68	26.31	0.63
120	V	-1.5	-5.5	2.5	20.7	17.7	3
140	V	-1.8	-5.8	2.2	13.72	11.3	2.42
160	V	-1.7	-5.7	2.3	25.18	20.49	4.69
180	V	-1.3	-5.3	2.7	20.58	19.24	1.34

Tabla 23. Tabla de comparación polarización vertical 30MHz a 180MHz.



f. (1)	P. (2)	ANS- Teórico (3)	Li (4)	Ls (5)	Dpre(6)	Dpos(7)	Dm(8)
MHz	H/V	dB(1/m) ²	dB(1/m) ²	dB(1/m) ²	dB	dB	dB
200	V	-3.6	-7.6	0.4	20.68	17.73	2.95
250	V	-7.7	-11.7	-3.7	12.2	11.05	1.15
300	V	-10.5	-14.5	-6.5	21	18.62	2.38
400	V	-14	-18	-10	12.1	11.53	0.57
500	V	-16.4	-20.4	-12.4	14.14	12.41	1.73
600	V	-16.3	-20.3	-12.3	9.18	7.73	1.45
700	V	-18.4	-22.4	-14.4	15.05	12.84	2.21
800	V	-20	-24	-16	11.66	10.74	0.92
900	V	-21.3	-25.3	-17.3	5.59	4.28	1.31
1 000	V	-22.4	-26.4	-18.4	9.86	8.21	1.65

Tabla 24. Tabla de comparación polarización vertical de 200MHz a 1GHZ.

- (1).f-Frecuencia: Son las frecuencias en que se toma lectura del ancho de banda del estudio.
- (2).P-Polarización: Se anota la polarización en que se encuentren las antenas transmisora y receptora ya sea vertical(V) u horizontal(H)
- (3).ANS_{TEORICO}- Es el ANS para un sitio ideal este nos proporciona la base para el rango de aceptación.
- (4).Li- Límite inferior del criterio de los 4[dB].
- (5).Ls-Límite superior del criterio de los 4[dB].
- (6).Dpre- Desviación se expresa la desviación total de ANS medido del ANS teórico en [dB] del campo antes de ser modificado
- (7).Dpos- Desviación se expresa la desviación total de ANS medido del ANS teórico en [dB] del campo posteriormente de ser modificado
- (8).Dm- Desviación entre Dpre(6) y Dpos(7).

Se aprecia en la figura 32 para polarización vertical los resultados antes y después de agregar 2 conjuntos de tierras físicas al plano de tierra.

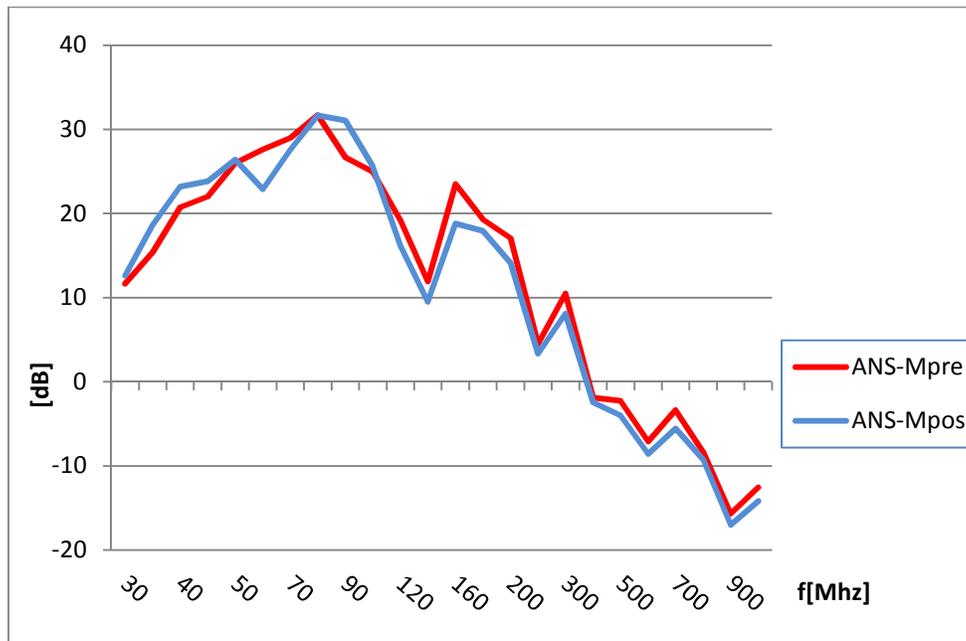


Figura 32. Comparación polarización vertical.

Se observa que las medidas del campo después de ser modificado descendieron en potencia para el ANS medido, lo que indica el cambio de las características del plano de tierras al agregar tierras físicas y por lo tanto aumentar su impedancia y sus reflexiones.

Para usos de este estudio este cambio resulto positivo ya que al bajar el ANS medido se acerca más a los intervalos de tolerancia que califican al campo de medidas como aceptable.

7.3.2. POLARIZACIÓN HORIZONTAL.

Se repitió el procedimiento anterior para polarización horizontal, empezando por la tabla 19 para la comparación de desviaciones.



f. (1)	P. (2)	ANS- Teórico (3)	Li (4)	Ls (5)	Dpre(6)	Dpos(7)	Dm(8)
MHz	H/V	dB(1/m) ²	dB(1/m) ²	dB(1/m) ²	dB	dB	dB
30	H	15.8	11.8	19.8	7.57	5.31	2.26
35	H	13.4	9.4	17.4	0.29	-2.8	3.09
40	H	11.3	7.3	15.3	-6.83	-9.14	2.31
45	H	9.4	5.4	13.4	-12.56	-14.22	1.66
50	H	7.8	3.8	11.8	-17.54	-19.04	1.5
60	H	5	1	9	-23.12	-25.27	2.15
70	H	2.8	-1.2	6.8	-26.07	-27	0.93
80	H	0.9	-3.1	4.9	-29.03	-29.31	0.28
90	H	-0.7	-4.7	3.3	-27.62	-27.41	0.21
100	H	-2	-6	2	-27.31	-26.82	0.49
120	H	-4.2	-8.2	-0.2	-22.4	-21.63	0.77
140	H	-6	-10	-2	-14.64	-12.83	1.81
160	H	-7.4	-11.4	-3.4	-25.85	-19.39	6.46
180	H	-8.6	-12.6	-4.6	-25.38	-23.02	2.36
200	H	-9.6	-13.6	-5.6	-22.48	-20.22	2.26
250	H	-11.7	-15.7	-7.7	-14.47	-12.87	1.6
300	H	-12.8	-16.8	-8.8	-20.44	-18.69	1.75
400	H	-14.8	-18.8	-10.8	-15.65	-15.83	0.18
500	H	-17.3	-21.3	-13.3	-19.01	-16.99	2.02
600	H	-19.1	-23.1	-15.1	-6.83	-4.41	2.42
700	H	-20.6	-24.6	-16.6	-10.36	-13.81	3.45
800	H	-21.3	-25.3	-17.3	-9.91	-6.98	2.93
900	H	-22.5	-26.5	-18.5	-9.6	-5.35	4.25
1 000	H	-23.5	-27.5	-19.5	-11.67	-8.88	2.79

Tabla 25. Tabla de comparación polarización horizontal.

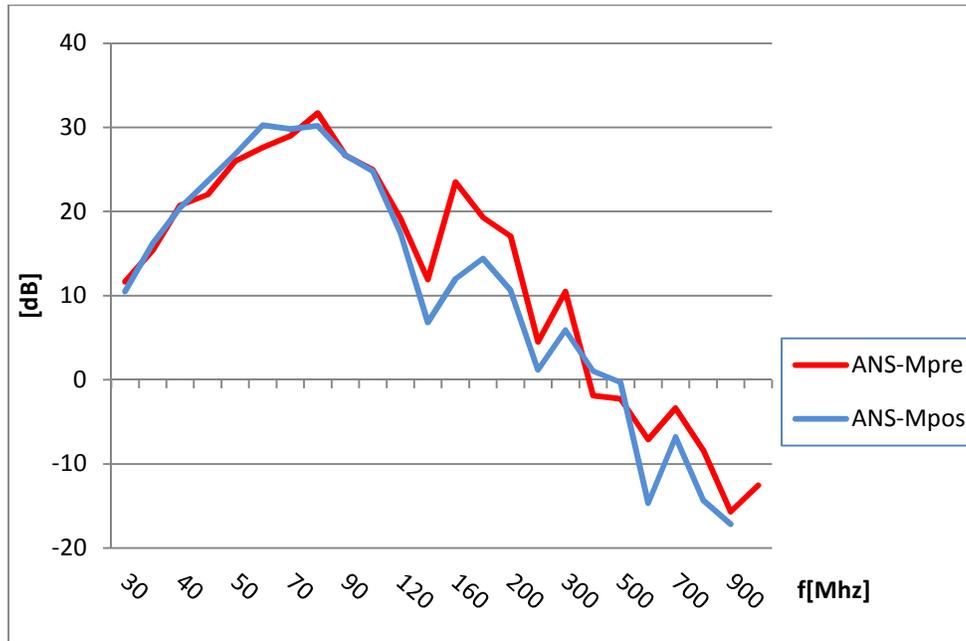


Figura 33. Comparación polarización horizontal.

Al hacer la comparación grafica se precia en la figura 33 que el ANS medido descendió en decibeles acercándolo a los intervalos de tolerancia para considerar al campo de medidas como aceptable según la NOM.



CAPÍTULO VIII. CONCLUSIONES.

Al terminar el análisis de datos se observa que las lecturas no cumplen con los niveles de ANS establecidos por las NOM, CISPER y ANSI.

En las representaciones gráficas de las lecturas, éstas no están dentro de los intervalos de aceptación del criterio de ± 4 dB.

El criterio de ± 4 dB toma como referencia las lecturas de un sitio de pruebas ideal, suma 4 dB para crear un límite máximo de aceptación y resta 4 dB para crear un límite mínimo de aceptación.

Por lo cual el área abierta no cumple con la Norma Oficial Mexicana y los estándares internacionales ANSI y CISPER.

El problema principal se centra en las capacidades reflectoras del área de prueba, que no cumplen las normas ya que no están correctamente diseñadas para lograr los niveles apropiados de ANS.

Como vimos anteriormente en las gráficas para polarización vertical y horizontal los niveles de ANS están muy por encima de los límites de aceptación. Esto es debido a que la potencia reflejada no es la suficiente.

$$ANS_{\text{medido}} = V_{\text{DIRECTO}} - V_{\text{SITIO}} - FA_{\text{Tx}} - FA_{\text{Rx}}$$

Con la fórmula anterior se calcula el ANS medido. Anteriormente se describieron cada una de las partes de esta fórmula en el tema 5.1, específicamente debemos prestar atención al factor V_{SITIO} , si este valor aumenta el ANS disminuye. Si se disminuye el valor de ANS se conseguirá que se acerque a los valores de aceptación.

¿Cómo lograr que el ANS_{medido} disminuya?

Esto se logra aumentando las reflexiones de la señal transmitida. Al colocar dos conjuntos de tierras se mejoraron las capacidades reflectivas del plano de tierra y se aumentó el V_{SITIO} . Es visible al comparar las medidas de ANS antes y después de la modificación, en las tablas 23, 24 y figura 34 para polarización vertical en tabla 25 y figura 35 para polarización horizontal.

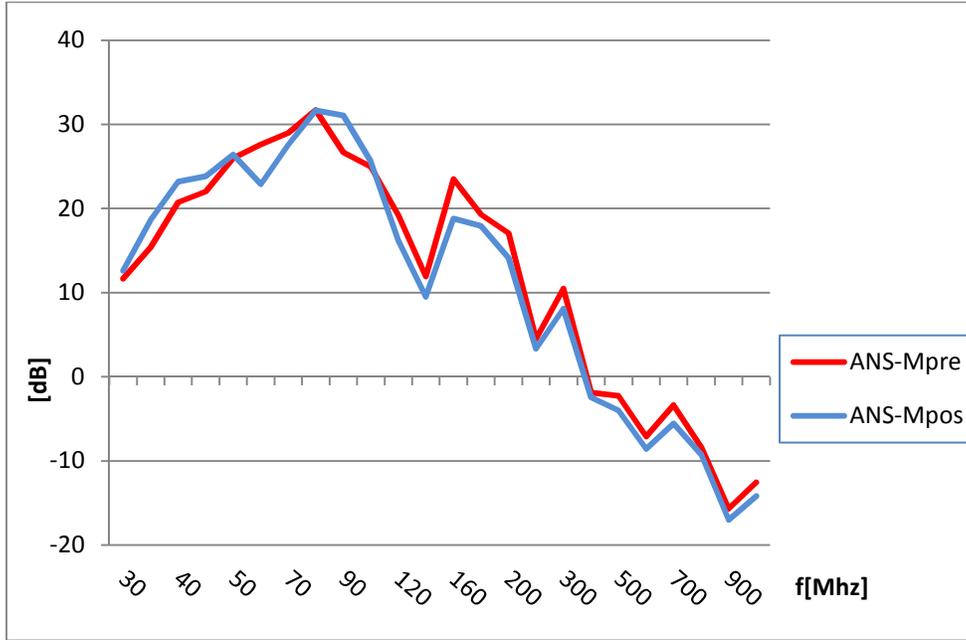


Figura 34. Comparación polarización vertical.

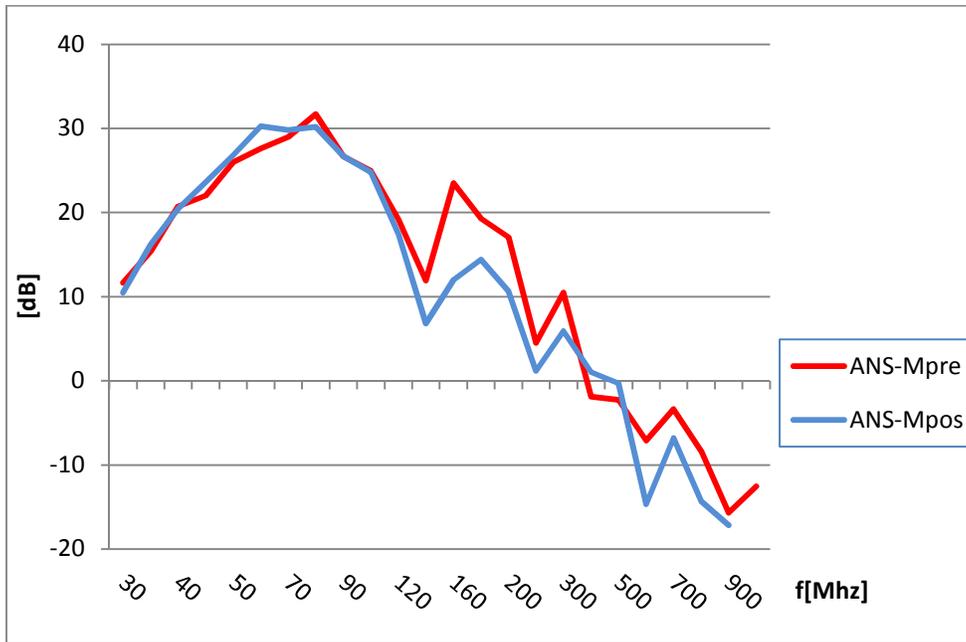


Figura 35. Comparación polarización horizontal.



Por lo tanto pueden hacerse ciertas modificaciones al área de pruebas para aumentar las reflexiones de la señal con el objetivo de acercar las medidas en el campo a los valores exigidos por las normas.

A continuación se realizarán algunas recomendaciones encaminadas a mejorar el área abierta y lograr que cumpla con los niveles señalados en la normativa y los estándares internacionales:

- Relocalizar los puntos de conexión de las tierras físicas con el plano de tierra distribuyéndolos de manera uniforme y con una separación no mayor de un metro, todos los puntos de contacto deben conectarse en medio y en los bordes de las placas. Esto con el fin de hacer una distribución más efectiva del plano aterrizado.
- Proteger los puntos de conexión de las condiciones ambientales, recubriéndolos de alguna resina o capuchón para evitar la oxidación.
- Poner una rejilla aterrizada a tierra física que rodee el área de prueba a manera de jaula de Faraday, teniendo presente el elipse que debe estar libre de elementos electromagnéticamente reflejantes y tener vista directa entre el equipo bajo prueba y la antena receptora, fuera de éste elipse es posible colocar la rejilla. La norma específica que las pruebas también pueden realizarse en cámaras blindadas con revestimiento absorbente para evitar reflexione de las ondas. Esto con el objetivo de asegurar un aislamiento y toma de lecturas más eficaces.
- Proteger todo el conjunto del área abierta del ambiente ya que la lluvia y la exposición al sol provocan oxidación y desgaste de los materiales por lo cual el área abierta puede perder efectividad. La protección al ambiente es posible mientras se respete la elipse que debe estar libre de elementos reflejantes de señales electromagnéticas.

Es oportuna la cotización aproximada de los materiales principales para la construcción de un campo de pruebas tipo área abierta. La siguiente tabla no contempla precios de instrumentación especializada en telecomunicaciones o construcción ya que esta depende directamente del espacio de construcción.



Ítems	Precio en pesos mexicanos	Dimensiones
16 placas de metal	1,754.79	2.54 mm X 1220 mm X 3050 mm
1 poste de madera	766.00	10 cm X 15 cm X 4.8 m
1 Cable de cobre	619.00	100 m
1 Sistema de poleas	300.00	n/a
28 terminales de compresión	448.00	n/a
4 uniones para cable	884.00	n/a
5 nudos para cable/ tierra física	90.00	n/a
5 barras de cobre /1 tierra física	29,325.00	5 cm X 2 m
Costo Aproximado	35,114.79	

Tabla 26. Cotización Aproximada para un campo de pruebas tipo área abierta.

La conclusión del estudio es que el área abierta estudiada no está dentro de los parámetros para ser aceptada como área abierta normalizada. Sin embargo es posible modificarla para lograr que cumpla con la NOM, CISPER y ANSI.