



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

T E S I S

DISEÑO DE UNA PLANTA
TRANSMISORA DE AMPLITUD
MODULADA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

PRESENTA:
JAVIER MOLINA LUNA

DIRECTOR DE TESIS:
DR. JOSÉ MARÍA MATÍAS MARURI



CIUDAD UNIVERSITARIA, 2013

Agradecimientos

En la realización de este trabajo conte con el apoyo de varias personas sin las cuales no me hubiera sido posible terminarlo, por lo que les quisiera dedicar unas palabras.

Le agradezco a mis supervisores de tesis, el Dr. José María Matías Maruri y al Ing. Ignacio Espinosa Abonza, ya que con sus consejos, comentarios y supervisión me guiaron en la realización de este proyecto, y de quienes me llevo un gran aprendizaje. Les agradezco por haberme permitido trabajar con ellos, y por haberme alentado, por haber confiado en mi, y por haberme ayudado en todas las dudas que me surgieron, así como en las dificultades que se presentaron durante la realización de esta Tesis. Quisiera agradecerles por haberme presentado este mundo de la radiodifusión en el cual quisiera poner todos mis esfuerzos como ingeniero para mejorarlo.

Le agradezco al Ing. Oscar Villalobos Gil, al Ing. José Gutierrez y a todo el equipo de ingeniería de Radio UNAM por haberme permitido realizar mi servicio social y el presente trabajo en esta institución, en donde mi gusto por la radiodifusión fue creciendo y en donde adquirí práctica en este bello mundo de la radio. Además les agradezco por haber hecho mi paso por esta institución un recuerdo y una experiencia de la que aprendí muchas cosas y que nunca olvidaré.

Por último, quisiera agradecerle a mi familia, mis padres y tíos, que siempre me han apoyado en todos los sentidos en los que se le puede apoyar a una persona; a ellos les debo la persona que soy, y este trabajo es para ellos.

A todos ellos, quienes participaron en esta etapa tan importante de mi vida, solo les digo: gracias.

Índice general

Agradecimientos	I
1. Introducción	1
2. Objetivo y Fundamentación	4
2.1. Fundamentación	4
2.2. Objetivo	5
2.2.1. Objetivos secundarios	5
3. Diseño de la Planta Transmisora	7
3.1. Consideraciones especiales	11
3.1.1. Audio	11
3.1.2. Enlaces Estudio-Planta	12
3.1.3. Transmisores	13
3.1.4. Antena y Acoplador	13
4. Requisitos de la nueva planta de transmisión	15
4.1. Requisitos Generales	15
4.2. Requisitos del Sistema de Transmisión	16
4.3. Requisitos Eléctricos	22
4.4. Requisitos Civiles	23
5. Solución técnica y costo	26
5.1. Equipos propuestos	27
5.2. Costo de la solución propuesta	36

6. Estimación de Cobertura e Interferencias	37
6.1. Ubicación de la Nueva Planta de Transmisión	38
6.2. Interferencias con estaciones cercanas	39
6.2.1. Estimación de los Campos Característicos E_C	42
6.2.2. Estimación de las Áreas de Bloqueo $1[V/m]$	48
6.3. Estimación del Contorno Protegido Cocanal Diurno	51
6.4. Estimación del Contorno Interferente Cocanal Diurno	55
6.5. Estimación del Contorno Protegido Cocanal Nocturno	58
6.6. Estimación del Contorno Interferente Cocanal Nocturno	59
6.7. Estimación del Contorno Protegido e Interferente del Primer Canal Adyacente	61
6.8. Estimación del Contorno Protegido e Interferente del Segundo Canal Adyacente	63
6.9. Posibles Interferencias con IBOC	64
7. Evaluación del aumento de potencia a 100 [kW]	67
8. Trámites Legales	72
8.1. Autorización de Emplazamiento de Elementos Radiadores	73
8.2. Autorización de modificación a las características técnicas de opera- ción de estaciones y equipos de radio y televisión	74
8.2.1. Ubicación de estaciones de radio AM	75
8.2.2. Frecuencia o potencia en estaciones de AM	76
8.3. Cambio de Equipo Transmisor	77
8.4. Autorización de equipo transmisor auxiliar.	78
8.5. Instalación y operación de un sistema de enlace Estudio - Planta y Control Remoto, así como por la modificación al circuito del mismo. .	79
8.5.1. Instalación y operación de un sistema de enlace estudio - planta o control remoto.	80
8.5.2. Modificación de un sistema de enlace estudio - planta o control remoto.	81
8.6. Ampliación de plazos por modificación de características técnicas o para cumplimiento de obligaciones	82

8.7. Autorización para empezar las transmisiones en el modo híbrido del estándar adoptado de radio digital	83
9. Conclusiones	85
A. Método para la Estimación de Contornos Diurnos con Conductividad Homogénea	89
B. Método para la Estimación de Contornos Diurnos con Conductividad no Homogénea: Método de Kirke	92
B.1. Ejemplo de aplicación del Método de Kirke	94
C. Método para la Estimación de Contornos Nocturnos	98
D. Datos de las estaciones obtenidos de la Federal Communications Commission (FCC)	101
E. Gráficas	106
Bibliografía	116

Índice de figuras

3.1. Diagrama general de la planta transmisora.	8
6.1. Ubicación del terreno para la Nueva Planta de Transmisión	39
6.2. Ubicación de antenas radiodifusoras de AM vecinas a la nueva planta de transmisión de Radio UNAM.	40
6.3. Terreno de la planta de transmisión del IMER.	44
6.4. Terreno de la planta de transmisión de las estaciones de la Cadena Radiodifusora Mexicana	45
6.5. Ubicación de la antena en el nuevo terreno de la planta transmisora .	47
6.6. Contorno de $1[V/m]$ para Radio UNAM ($50kW$ y $100[kW]$).	49
6.7. Contorno de $1[V/m]$ para las estaciones del IMER.	50
6.8. Contorno de $1[V/m]$ para las estaciones de la Cadena Radiodifusora Mexicana.	51
6.9. Contorno protegido cocanal diurno de Radio UNAM ($50 [kW]$ y $100 [kW]$) y contornos interferentes cocanales diurnos de otras estaciones a $860[kHz]$	54
6.10. Contorno interferente cocanal diurno de Radio UNAM ($50 [kW]$ y $100 [kW]$) y contornos protegidos cocanales diurnos de otras estaciones a $860[kHz]$	56
6.11. Interferencia con la estación XETW	57
6.12. Contorno Protegido Cocanal Nocturno de Radio UNAM ($50[kW]$) y Contornos Interferentes Cocanales Nocturnos de las demás estaciones.	59
6.13. Contorno Interferente Cocanal Nocturno de Radio UNAM ($50[kW]$) y Contornos Protegidos Cocanales Nocturnos de las demás estaciones.	60

6.14. Contorno Interferente Cocanal Nocturno de Radio UNAM (10[kW]) y Contornos Protegidos Cocanales Nocturnos de las demás estaciones.	61
6.15. Contornos Protegido e Interferente de Radio UNAM (50[kW] y 100[kW]) y de las estaciones del primer canal adyacente.	62
6.16. Análisis de interferencia de Radio UNAM con la estación XENG uti- lizando el método de Kirke.	62
6.17. Contornos Protegidos e Interferentes del segundo canal adyacente de Radio UNAM y de las estaciones del segundo canal adyacente.	64
6.18. Espectro de la forma de onda híbrida de IBOC AM [21].	65
B.1. Representación gráfica del Método de Kirke	93
B.2. Carta de conductividades de la República Mexicana sobrepuesta en Google Earth	94
B.3. Medición del alcance en dirección Norte del Contorno Protegido Co- canal Diurno de Radio UNAM (50[kW])	96
E.1. Carta de Conductividad Eléctrica de la República Mexicana	107
E.2. Groud Wave Field Strength versus Distance 840[kHz]	108
E.3. Groud Wave Field Strength versus Distance 840[kHz] up to 50[km]	109
E.4. Campo Característico de Antenas Verticales	110
E.5. Intensidad de Campo de la Onda Inosférica	111
E.6. Base Impedance of Guyed Towers with Uniform Cross Section	112
E.7. Formato de Solicitud para Autorización de Elemento Radiador	113
E.8. Formato para la Portada de las Carpetas de la Solicitud para Autori- zación de Elemento Radiador	114
E.9. Formato para el Cuadro de Referencias que se deberá colocar en las cartas topográficas del INEGI escala 1:50,000.	115

Índice de tablas

5.1. Presupuestos de equipos finales para la nueva planta de transmisión.	36
6.1. Datos de las estaciones cercanas publicados por la COFETEL (D- diurna N-nocturna).	41
6.2. Dimensiones de los radiales cada 15° para Radio UNAM.	47
6.3. Campo característico de Radio UNAM y las estaciones cercanas.	48
6.4. Radios de las diferentes estaciones para el contorno de 1[V/m].	49
6.5. Distancia de la Antena de Radio UNAM a los contornos de diferente conductividad.	53
6.6. Distancia de la Antena de Radio UNAM al Contorno Protegido Co- canal Diurno.	54
D.1. Datos de las estaciones cocanal de Radio UNAM (860 kHz) y distan- cias a los contornos protegido cocanal ($E = 0,5[mV/m]$) e interferente cocanal ($E = 0,05[mV/m]$) diurnos.	102
D.2. Datos de las estaciones cocanal de Radio UNAM (860 kHz) y distan- cias a los contornos protegido cocanal ($F = 2,5[mV/m]$) e interferente cocanal ($F = 0,125[mV/m]$) Nocturnos.	103
D.3. Datos de las estaciones del primer canal adyacente de Radio UNAM (850 kHz y 870 kHz) y distancia a los contornos portegido e interfe- rente del primer canal adyacente ($E = 1[mV/m]$).	104
D.4. Datos de las estaciones del segundo canal adyacente de Radio UNAM (840 kHz y 880 kHz) y distancia a los contornos portegido e interfe- rente del segundo canal adyacente ($E = 25[mV/m]$).	105

Capítulo 1

Introducción

A lo largo del tiempo, la tecnología se ha desarrollado en beneficio de la humanidad. Gracias a todos esos avances tecnológicos podemos disfrutar hoy en día de todas las comodidades como electricidad, computadoras, teléfonos móviles, entre muchos otros. Todos estos avances tecnológicos son producto de la aplicación de la ciencia en cuestiones de la vida diaria, y gracias a ellos somos capaces de realizar tareas que antes solo eran producto de nuestra imaginación.

Algunas tecnologías, como el internet, han traído consigo implicaciones sociales muy importantes. Gracias al internet y a las tecnologías de comunicaciones en general, podemos comunicarnos con gente a lo largo y ancho del planeta, a cualquier hora e instantáneamente. Esto es, a mi parecer, lo más interesante de estas tecnologías, todo lo que actualmente nos permiten realizar es simplemente sorprendente. Y es aún más sorprendente, que todos estos desarrollos son prácticamente nuevos, la velocidad a la que se desarrolla la tecnología y nos ofrece mejores posibilidades de vida y de aprovechamiento de recursos es increíble.

Las tecnologías de comunicación son bastante amplias, podemos comunicarnos a través de un alambre de cobre, como lo descubrió Antonio Meucci o Alexander Graham Bell, o a través de las ondas radioeléctricas, como lo descubrieron Maxwell, Hertz y Marconi. Estos dos descubrimientos son sin duda inventos que marcarían a la humanidad para siempre, y son los fundadores de una sociedad basada en la comunicación. Un aspecto importante en la tecnología, como ya mencioné, es la facilidad que nos provee para comunicarnos, ya sea entre dos o más personas, aunque

también nos da la facilidad de comunicarnos o transmitir un mensaje a millones de personas. Tecnologías como el telégrafo, con más de 200 años de historia, el teléfono y la transmisión mediante ondas radioeléctricas, con más de 100 años de historia, son las bases en las cuales yacen las actuales tecnologías de comunicación.

A lo largo de estos años de existencia de dichas tecnologías éstas se han visto beneficiadas por otros avances técnicos que las han mejorado en todos los aspectos, las han hecho más rápidas, confiables, y con mayor cobertura, como la del teléfono, que actualmente es mundial. Los desarrollos tecnológicos se han reflejado con mayor claridad en el teléfono, donde podemos tener llamadas internacionales, llamadas con varias personas a la vez, y una serie de servicios que son posibles gracias al desarrollo de la tecnología digital. Sin embargo, esto es algo que no podemos afirmar en cuanto a la radiodifusión. La radiodifusión empezó su camino allá por 1920, en ese entonces, el servicio se diseñó con base en el desarrollo tecnológico de aquella época, tanto en el sistema de transmisión como en el sistema receptor. Al inicio se utilizó una modulación en amplitud, debido a las limitaciones tecnológicas, tiempo después se empezó a utilizar la modulación en frecuencia. Aunque estas dos tecnologías de radiodifusión han estado entre nosotros por casi 100 años para la radio AM y cerca de 70 años para la radio FM, las bases tecnológicas no han cambiado drásticamente, manteniendo el mismo principio de operación en transmisión y recepción desde que ambas fueron diseñadas.

No podemos decir que la tecnología no ha tocado esta rama de las telecomunicaciones, los sistemas de transmisión poco a poco han sido sustituidos y se ha optado por utilizar tecnología de estado sólido en lugar de bulbos por ejemplo. Se han mejorado los transmisores para mejorar el procesamiento de la señal, mejoras de eficiencia, diferentes formas de realizar la modulación, aunque a la salida de la antena se tenga ya sea una señal modulada en amplitud u otra modulada en frecuencia. Los transmisores son mejores que los que se utilizaban hace 50 años. Lo mismo con los receptores, que poco a poco, gracias al desarrollo de chips cada vez más pequeños, es posible que éstos hayan reducido sus tamaños y que hayan mejorado la calidad del audio que demodulan y que el transmisor se encarga de que se envíe lo mejor posible. Entonces, ¿Por qué afirmo que la tecnología no se ha dejado sentir en la radiodifusión? La respuesta es simple. La forma de transmisión de las señales no ha cambiado

sustancialmente desde que estas fueron inventadas. La forma de transmisión sigue siendo casi la misma que hace 50 u 80 años.

El espectro radioeléctrico es un recurso finito del estado, y es un recurso que debe ser administrado y aprovechado lo mejor posible. Como mencioné, estos sistemas de radiodifusión fueron diseñados hace tiempo, cuando aún no se tenían claro las posibilidades del espectro radioeléctrico y la tecnología no les permitía otra cosa, sin embargo, los actuales desarrollos tecnológicos nos permiten obtener un mayor provecho del espectro utilizado para la radiodifusión y al mismo tiempo, hacer una mejora en el servicio.

Con el desarrollo de la tecnología digital en conjunto con diferentes técnicas de codificación y modulación, es posible darle un mejor aprovechamiento a este espectro radioeléctrico, hacerlo más eficiente y así obtener un mayor beneficio posible de su uso, y al mismo tiempo, mejorar un servicio de comunicación masivo que desde su invención, no ha visto mejoras significativas. Ahora, nosotros como ingenieros debemos utilizar todas estas nuevas técnicas como la utilización de señales digitales, la utilización de técnicas de codificación como AAC (Advanced Audio Coding), y técnicas de multiplexación como lo es OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing), junto con modulaciones digitales como QAM o PSK, más eficientes las analógicas AM y FM. Los ingenieros deben aplicar todas estas técnicas en la radiodifusión, que en conjunto y en el futuro, harán que se mejore el servicio.

Bajo estas circunstancias, el IFETEL (antes COFETEL), como ente regulador, debe marcar el comienzo de la transición a la radio digital, en la cual los beneficios a largo plazo serán para la sociedad misma así como para los mismos radiodifusores. Y es bajo estas circunstancias es que surge la necesidad de este proyecto, preparar la planta de transmisión de AM de Radio UNAM para que el paso hacia la digitalización se lleve lo más rápido y fácil posible.

Capítulo 2

Objetivo y Fundamentación

2.1. Fundamentación

Desde la publicación en el Diario Oficial de la Federación del acuerdo mediante el cual se adopta el estándar estadounidense IBOC de la empresa iBiquity para la transmisión digital terrestre de radiodifusión sonora en las bandas de AM (535 – 1705 [kHz]) y de FM (88 - 108 MHz) [1], se empezó en México un largo camino hacia la transmisión digital de la radiodifusión sonora. Las empresas radiodifusoras deben, al principio voluntariamente, empezar a recorrer este camino, o al menos, empezar a prepararse para poder transmitir digitalmente. La inversión necesaria para poder empezar este camino es alta, se debe invertir una gran cantidad de dinero para poder adquirir los equipos necesarios para la transmisión digital, y eso no es todo, se debe invertir en recursos humanos a fin de poder sacar provecho de los beneficios que ofrece la radio digital.

Radio UNAM, al ser la emisora de la Universidad Nacional Autónoma de México, debe preocuparse por tratar de estar a la vanguardia tecnológica, ya que al ser emblema educativo del país, esta responsabilidad recae sobre la institución. Es por esta razón, que se ha empezado a preparar para poder empezar a recorrer el camino hacia la radio digital. Radio UNAM está tratando de modernizar su estación de AM, la cual es la más importante para la institución por la trayectoria histórica que cuenta.

Dentro del proyecto de modernización de la planta de transmisión, se ha contemplado un cambio de ubicación de la planta hacia un terreno en la delegación Tlahuac. Esto se debe principalmente a razones de logística y financieras que han sido tomadas por el Subdirector de Ingeniería de Radio UNAM, así como por el mismo Director de Radio UNAM.

Ya que Radio UNAM decidió empezar la modernización de la estación de AM, es necesario contar con un proyecto en el que se describan todos los aspectos técnicos, legales y financieros necesarios para la realización del mismo y se tome en cuenta las implicaciones del cambio de ubicación de la planta transmisora.

Este proyecto de tesis se basa en esa necesidad de Radio UNAM de empezar a modernizar su estación de AM, junto con el cambio de ubicación que el proyecto de modernización requiere; en él se describirán las necesidades técnicas, legales y financieras que son necesarias para poder presentar el proyecto ante las autoridades universitarias y que sea aprobado.

2.2. Objetivo

Se diseñará una planta de transmisión de amplitud modulada para la estación de Radio UNAM a 860 [kHz]. La nueva planta de transmisión será diseñada considerando ciertas especificaciones generales: ubicación, frecuencia y potencia, y de tal manera que en el futuro cercano, cuando se decida por parte de las autoridades universitarias que es tiempo de empezar a transmitir digitalmente, esto sea posible con una mínima inversión adicional a la que costará el proyecto original.

Se analizará la viabilidad de realizar un cambio de clase de estación, de clase B a clase A, para así poder aumentar la cobertura de la estación y por consiguiente el número de radioescuchas.

2.2.1. Objetivos secundarios

Se explicarán brevemente las necesidades civiles y las necesidades del proyecto eléctrico necesarios para el alojamiento y funcionamiento de los equipos de la planta de transmisión.

Se hará un profundo análisis de las necesidades del proyecto del sistema de telecomunicaciones que satisfacen los objetivos propuestos, así como el respectivo análisis de cobertura e interferencias de la estación en su nueva ubicación. También se explicarán los trámites legales necesarios para que el proyecto sea aprobado por el IFETEL.

Capítulo 3

Diseño de la Planta Transmisora

En este capítulo se definirá el proyecto, es decir, se explicará cómo funciona una planta de transmisión en lo que a la señal de radiofrecuencia se refiere y se nombrará y explicará cada uno de los componentes que la pueden componer y que cumplen una función especial dentro de la planta. Para esto, se realizará un análisis desde el punto de vista de la señal de audio, describiendo el recorrido que ésta debe tomar, los componentes involucrados en su trayecto, y al mismo tiempo, cualquier otro componente que aunque no esté directamente relacionado con el trayecto de la señal de audio que sea indispensable para el correcto funcionamiento de la planta.

El esquema general de la planta de transmisión se puede observar en la Figura 3.1. Se comienza con una señal de audio, la cual ya ha sido generada y procesada en los estudios. Esta señal de audio debe hacerse llegar al lugar donde se encuentran los equipos de transmisión, es decir, la planta transmisora. Para este fin, existen enlaces estudio-planta, STL por sus siglas en inglés (Studio-Transmitter Link). Estos enlaces pueden ser radioenlaces, es decir, usan una frecuencia del espectro radioeléctrico, y para tal fin, hay una serie de bandas asignadas a dicho fin. También pueden ser enlaces por microondas, en donde se encuentran bandas de uso libre y otras bandas en las que hay que solicitar un permiso para su uso. Otra opción también pueden ser enlaces dedicados punto a punto, como lo es un enlace E1 de 2.048 [Mbps]. En este ámbito, también pueden ser utilizados enlaces IP, que utilicen la red pública de internet, pero dado que éstos enlaces no manejan calidad de servicio, y no son 100% confiables, su uso en la actualidad es muy reducido, aunque éstos se están ganando

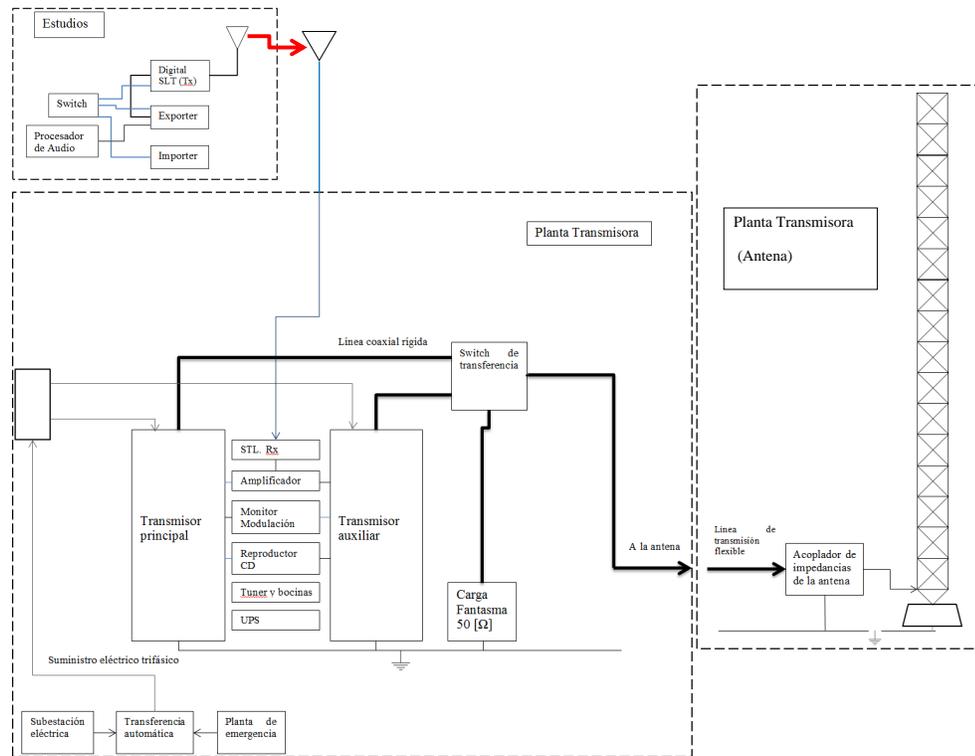


Figura 3.1: Diagrama general de la planta transmisora.

más usuarios, con ayuda de equipos especiales, dado las facilidades que un enlace de éste tipo ofrece y aunque no son utilizados como enlaces principales, son comunes como enlaces de respaldo.

Ya que ha llegado el audio a la planta, éste se toma del receptor del STL y se pasa por un amplificador-distribuidor, que es un aparato cuya función es amplificar la señal de audio sin distorsión, y entregarnos copias fieles de esta señal, las cuales pueden ser utilizadas con otros fines. Una de las señales entregadas por el amplificador-distribuidor, es la que se provee a los transmisores. Los transmisores son, junto con la antena y el acoplador, los equipos más importantes de la planta. En una planta de transmisión debe haber por lo menos 2 transmisores, esto por varias razones. La primera, por que la ley así lo solicita, ya que la estación de radio está obligada a garantizar la continuidad del servicio las 24 horas del día los 7 días de la semana, y dado que los sistemas electrónicos nunca están exentos de fallas, la ley

exige contar con un transmisor que sea capaz de sustituir en función al otro transmisor. El transmisor que siempre está funcionando se conoce como transmisor principal, y el otro transmisor, de las mismas características que el principal, y que debe estar en la misma ubicación que el transmisor principal, es conocido como transmisor auxiliar. El transmisor auxiliar puede operar indistintamente en sustitución del principal [16]. Estos dos transmisores, dado que deben entregar una potencia alta, deben ser alimentados con una conexión eléctrica especial, por lo que debe construirse, en la ubicación de la planta, una subestación eléctrica que satisfaga los requerimientos eléctricos de ambos transmisores; así mismo, el sistema eléctrico no está exento de fallas, por lo que, en toda planta de transmisión es necesario contar con una planta de emergencia, la cual entrará en funcionamiento cuando el suministro principal de energía eléctrica falle. Sin embargo, la definición de la instalación eléctrica de la planta no es un objetivo de la presente tesis, por lo que no se contempla en este proyecto.

Ahora, antes de continuar con el recorrido de la señal de audio, es necesario hacer una observación importante con respecto a los transmisores. Es necesario que ambos transmisores estén conectados a la antena de transmisión y además, cuando se necesiten realizar pruebas o mantenimiento en alguno de los transmisores, es necesario que el transmisor este perfectamente acoplado a una carga igual a su impedancia característica, de otra manera, la potencia que éste genere, se reflejaría produciendo daños al transmisor. Dicha carga se conoce como carga fantasma o dummy load, que no es más que un dispositivo cuya impedancia es de $50[\Omega]$, la misma de los transmisores, y que es capaz de soportar grandes potencias (la que generan los transmisores). Entonces, para poder interconectar estos 4 dispositivos, la antena, la carga y los dos transmisores, se cuenta con un dispositivo conocido como switch de transferencia, o switch coaxial, que es un dispositivo pasivo de 4 puertos. La función de dicho switch es interconectar los dos transmisores con la antena y con la carga fantasma. El switch tiene dos estados, en el primer estado, el transmisor principal está conectado a la antena y el transmisor auxiliar está conectado a la carga fantasma; en el segundo estado, se intercambian las conexiones, el transmisor principal pasa a estar conectado con la carga fantasma y el transmisor auxiliar pasa a estar conectado a la antena. De esta manera, se puede tener ambos transmisores conectados a la antena y a la

carga fantasma, haciendo así que se pueda dar mantenimiento o hacer reparaciones a cualquiera de los dos mientras el otro está transmitiendo al aire.

Para interconectar los transmisores con el switch coaxial, con la carga y con la antena, se necesitan líneas de transmisión. Para la planta se utilizarán dos tipos de líneas de transmisión. La primera se conoce como línea de transmisión rígida, la cual es una línea coaxial que, como su nombre lo indica, es rígida. Es un tubo de cobre con un conductor interno igual de cobre. El tamaño de dicha línea dependerá de la potencia que debe soportar, es decir, la potencia de los transmisores. Esta línea se coloca dentro del edificio que contiene a los transmisores debido a que dentro del edificio, el ambiente está controlado, y la línea no tiene que someterse a las inclemencias del ambiente fuera del edificio. El segundo tipo de línea de transmisión es conocida como línea de transmisión flexible. Este tipo de línea, también coaxial, es como su nombre lo indica, flexible. Ésta se coloca justamente al salir del edificio, y se utiliza afuera del edificio ya que está cubierta con plástico, lo cual la hace resistente a cualquier tipo de condiciones climáticas. Ambas líneas son de dieléctrico de aire, para disminuir la atenuación de la línea y, aunque no parezca importante, el peso de éstas. Con estas líneas de transmisión es con las que se conectan los componentes de RF de la planta.

En cualquier sistema de comunicaciones, es necesario que los elementos que estén conectados entre sí estén perfectamente acoplados, para de esta manera, garantizar una máxima transferencia de potencia, y evitar la aparición de ondas reflejadas que puedan dañar los demás equipos. La impedancia de las líneas de transmisión es de $50[\Omega]$, que es la misma que la de los transmisores, sin embargo la impedancia de la antena no es $50[\Omega]$, por lo que es necesario implementar un acoplador de impedancias entre la línea de transmisión flexible y la antena. El camino restante del audio son estos dispositivos antes descritos, la señal llega al transmisor donde es modulada a la frecuencia de la estación y amplificada en potencia, dicha señal ya amplificada y modulada es llevada hasta la antena a través de las líneas de transmisión y en su último paso, la señal es radiada a la frecuencia dada por la antena.

En el diagrama de la Figura 3.1 se observa cómo están conectados y relacionados todos los dispositivos que se mencionaron en la descripción anterior. Es una explicación gráfica de lo que es la planta transmisora objeto de esta tesis.

En la Figura 3.1 observamos otros dispositivos que no han sido mencionados. El primero es un monitor de modulación, el cual es un requerimiento del IFETEL para monitorear la modulación de la señal y que ésta se encuentre dentro de los límites permisibles de frecuencia y amplitud. Otro dispositivo es un reproductor de CD, el cual es sólo una medida de prevención en caso de que todos los enlaces estudio-planta hayan fallado, y para que la estación no interrumpa su transmisión, se conecta el reproductor de CD al transmisor y así se transmite un CD de emergencia. Es necesario también contar con un radio que nos indique cuando la transmisión falle o sea de mala calidad, para este es el tuner y las bocinas. Aunque lo más lógico sería tener este dispositivo en los estudios, no está demás tener otro en la planta de transmisión. Y por último, se debe contar con protección energética para estos dispositivos, para eso está el UPS.

3.1. Consideraciones especiales

Una consideración que ha de tomarse en cuenta es que se quiere que la estación esté preparada para poder empezar a transmitir digitalmente, bajo el estándar IBOC, que es el estándar adoptado para la Radio Digital Terrestre en México [1]. Aunque lo que se describió en los párrafos anteriores son los componentes principales de una planta transmisora, algunos dispositivos deben presentar ciertas características que los hagan capaces de funcionar bajo el estándar IBOC.

3.1.1. Audio

En cuanto al audio, la primera consideración que ha de tomarse en cuenta es un procesador de audio. El procesador de audio debe ser capaz de procesar audio análogo y digital, y aunque este dispositivo forma parte de la producción de audio, es muy importante tomarlo en cuenta para que el audio que se utilice en la transmisión digital sea un audio de calidad. Es necesario también tomar en cuenta la producción de la señal digital bajo el estándar IBOC. Para esto, el estándar cuenta con 2 dispositivos, el Exporter y el Importer. El estándar establece las técnicas necesarias para transmitir señales digitales, el audio de la estación se digitaliza y se transmite en forma digital mediante la modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Mul-

tiplexing). Con este estándar, además de transmitir la señal principal digitalmente, es posible transmitir mas señales de audio, hasta 2 señales extras para IBOC-AM. Esta característica es conocida como multiprogramación o multicasting. El Exporter es el encargado de producir la señal principal digitalmente, y si se desea realizar multicasting, se debe adquirir el Importer. Ambos dispositivos manejan tanto la señal de audio junto con los datos de cada canal. Estos deben ser implementados en una manera en específico, la cual se puede observar en la Figura 3.1 en la parte referente a los estudios. La manera en la que están conectados se conoce como configuración E2E (Exporter to Exiter), que es una configuración eficiente en ancho de banda para las opciones de multicasting [19]. El resultado de esta implementación es una única cadena de datos que contiene el audio digital principal junto con los programas suplementarios, todos ellos con los datos asociados a cada uno.

Otras consideraciones de audio son referentes a los equipos auxiliares, como el amplificador distribuidor, el cual debe ser capaz de manejar señales digitales y señales analógicas, o adquirir dos equipos, uno para cada fin. El monitor de modulación también debe ser especial, ya que debe monitorearse tanto la modulación digital como la analógica. En consecuencia, el sintonizador o tuner debe ser capaz de recibir ambas señales, la digital y la analógica.

3.1.2. Enlaces Estudio-Planta

Los enlaces entre el estudio y la planta transmisora también sufren efectos dado el requerimiento de IBOC. Los enlaces STL deben ser análogos y digitales, ya que en el modo híbrido del estándar, ambas señales son utilizadas. Los enlaces análogos pueden ser los que actualmente se utilizan, ya que la señal análoga sólo contiene el audio. Para el caso de la señal digital hay que tomar otras consideraciones. La primera es ver si se implementará el multicasting, de ser así, se necesita un enlace de mayor capacidad o ancho de banda. El enlace digital debe ser sin pérdidas, para garantizar la calidad del audio y debe ser capaz de manejar las velocidades de datos dependiendo de los programas que deseen ser transmitidos. De acuerdo con iBiquity [20], si el procesamiento de audio se lleva a cabo en la planta de transmisión, sólo se necesitara un enlace estudio-planta, ya que solo será necesario llevar a la planta una señal, la cual, con ayuda de un amplificador-distribuidor, puede ser suministrada a

las dos cadenas de procesamiento, la digital y la analógica. Con esta opción, sólo se utilizaría un enlace estudio-planta, sin embargo, la configuración E2X, que es una manera de conectar el Exporter e Importer en los estudios, la cual se aprecia en la Figura 3.1 utilizada para la multiprogramación, y que a su vez aparece en un documento de la empresa iBiquity [19], en el que se detallan los requerimientos de red necesarios para la implementación de esta y otras configuraciones, no podría ser implementada, ya que el resultado de esta configuración es una señal digital que contiene los datos del audio con sus respectivos datos, pero no contiene el audio analógico. En cambio, si el procesamiento de audio se lleva a cabo en los estudios, se debe ampliar la capacidad del enlace estudio-planta y hacerlo capaz de soportar señales digitales, ya que como resultado del procesamiento se obtienen dos señales de audio, una digital y otra analógica. Para este caso, se necesitarían dos enlaces estudio-planta, más los otros 2 enlaces de respaldo. Dado que es más común que el procesador se instale en los estudios, y la adquisición de un enlace digital nunca está demás, ésta última opción, donde se realiza el procesamiento del audio en los estudios, es la que se manejará en este trabajo.

3.1.3. Transmisores

La necesidad de contar con transmisores capaces de funcionar con el estándar IBOC es incuestionable. De acuerdo con iBiquity [20], los transmisores de bulbos no se pueden adaptar para funcionar con IBOC, por lo que deben ser considerados sólo transmisores de estado sólido para poder transmitir digitalmente. Con que el transmisor que se adquiera especifique que es capaz de funcionar con HD Radio, nombre comercial del estándar IBOC, esta consideración estará más que satisfecha. Aunque, debe preguntarse si el excitador para IBOC AM está incluido, lo más probable es que no lo este, por lo que debe cotizarse por aparte.

3.1.4. Antena y Acoplador

Hasta antes de la transmisión digital, contar con una antena de un ancho de banda de 20 [kHz] era más que suficiente. Sin embargo, ahora se necesita de una antena de banda ancha, con un ancho de banda mínimo de 30 [kHz] [11]. La respuesta en

frecuencia de la antena es igualmente muy importante, ya que con base en ésta, se debe modificar el acoplador de la línea de transmisión y la antena, para que la variación de la impedancia de la antena en los alrededores de la frecuencia central, y por lo tanto del VSWR, no varíe en un cierto rango. La modificación del acoplador es muy importante, y no se puede implementar IBOC hasta que se haya garantizado que el acople de impedancias sea en todo el ancho de banda necesario.

Ahora, ya que se conocen los equipos necesarios para el funcionamiento de la planta, es necesario definir las características específicas de cada uno de ellos, lo cual se hará en el siguiente capítulo.

Capítulo 4

Requisitos de la nueva planta de transmisión

En este capítulo se dará una explicación de las necesidades técnicas, eléctricas y civiles que son necesarias para la realización del proyecto. Hay que aclarar que para las partes eléctricas y civiles del proyecto las descripciones serán breves y superficiales, ya que no son objeto de esta tesis. En cuanto a las necesidades del sistema de transmisión, se hará un análisis detallado de las necesidades específicas que se han de satisfacer, las cuales deben cumplir con los objetivos propuestos al inicio de este trabajo, pero también deben satisfacer los parámetros impuestos por el IFETEL en la Norma Oficial Mexicana NOM-01-SCT1-93 que establece las especificaciones y requerimientos para la instalación de estaciones radiodifusoras de amplitud modulada.

4.1. Requisitos Generales

Hay una serie de requisitos generales que debe cumplir la planta transmisora. El primero, la ubicación de la nueva planta de transmisión ya ha sido elegida; se encuentra en la delegación Tláhuac, por lo que la ubicación y dimensiones de este terreno ya están establecidas. La segunda consideración es la frecuencia de la estación, la cual es la misma que la que actualmente Radio UNAM tiene permitida, 860 [kHz]. Por último, la cobertura de la estación debe ser igual a la que actualmente presenta la estación, por lo que en caso de necesitarse un cambio de potencia para satisfacer este

requerimiento, debe ser tomado en cuenta. Se debe realizar un análisis de la estación para 100 [kW] y observar si no presenta ningún inconveniente para así poder considerar un aumento de potencia. Al mismo tiempo, si es que se autorizará el cambio de potencia a 100 [kW], se cambiaría automáticamente la clase de la estación, que pasaría de ser clase B a clase A. En las estaciones de clase A como las de clase B, la potencia nocturna máxima permitida es de 50 [kW], sin embargo, Radio UNAM tiene autorizada una potencia nocturna máxima de 10 [kW], por lo que también se buscará un aumento de potencia nocturna a 50 [kW] por lo que habrá que verificar si este aumento de potencia nocturna no implica algún inconveniente.

4.2. Requisitos del Sistema de Transmisión

Ahora, se describirán las características técnicas que deben cumplir cada uno de los componentes del sistema de transmisión tomando en cuenta las necesidades que deben satisfacer cada uno de ellos.

- **Antena.**

Se necesita una antena para radiodifusión en amplitud modulada (AM), con frecuencia central $f_c = 860[kHz]$, y con un ancho de banda mínimo de $BW = 30[kHz]$ para que de esta manera se cubra el ancho de banda marcado por el IFETEL [16] y se cubra el ancho de banda necesario para la transmisión digital híbrida [11]. Se necesita una antena que sea omnidireccional. Debe ser una antena que soporte grandes magnitudes de corriente y voltaje, es decir, debe ser una antena para alta potencia (100[kW]). La antena debe ser de un cuarto de longitud de onda y debe presentar una impedancia de entrada de aproximadamente $Z_{in} = 55 + j88[\Omega]$, la cual se obtiene de la gráfica de impedancia de torres de radiodifusión (Figura E.6) y que sirve para poder acoplarla a la línea de transmisión de $50[\Omega]$. Debe ser una antena que sirva tanto para la transmisión analógica como para la transmisión digital, así como para la transmisión híbrida, analógica y digital en la misma antena. Si la antena debe sufrir modificaciones para poder adaptarla para la transmisión digital, estas deben ser tomadas en cuenta en el presupuesto. Se debe tomar en cuenta el espacio

necesario para la instalación, así como la periodicidad de los mantenimientos de la misma.

Para que al antena sea posible utilizarla para la transmisión del modo híbrido del estándar IBOC, la impedancia de la antena debe ser lo más cercana posible a $50[\Omega]$. Además, la antena debe presentar una impedancia cuya reactancia presente la característica $X(-k) = X(k)$ sobre la región de $\pm 5[kHz]$; también se debe garantizar una simetría en amplitud que debe estar dentro del rango de 0.02 [dB] [20].

■ **Acoplador Antena – Línea de transmisión.**

El acoplador entre la línea de transmisión que viene de los transmisores y la antena es un dispositivo muy importante. Se debe diseñar un dispositivo que acople la impedancia de la línea de transmisión, generalmente de $50[\Omega]$, a la que sea la impedancia de la antena mencionada en el punto anterior. Este acoplador lo debe proporcionar la empresa que vende la antena, y debe cumplir con los requerimientos necesarios de acople casi-perfecto y no distorsión. Debe estar sintonizado para la frecuencia de la estación, $860[kHz]$, y debe mantener bien acoplada la línea y la antena en los $30[kHz]$ de ancho de banda de la estación, esto con el fin de que las bandas laterales de la señal sean lo más simétricas posibles. En otras palabras, el VSWR en las bandas laterales no debe presentar variaciones significativas ni de fase ni de amplitud, ya que esto ayudara que la señal digital y analógica mantengan un desfase de 90° para así evitar la interferencia entre ambas señales [20]. Debe ser diseñado para soportar altas potencias y con materiales de gran calidad para que el mantenimiento se por lo menos cada 5 años. Se debe tomar en cuenta las necesidades físicas de la instalación, y de ser necesario un lugar especial, incluirlo en las necesidades civiles.

■ **Línea de Transmisión y deshidratador.**

La línea de transmisión debe, en principio, soportar la potencia máxima del transmisor modulando una señal al 100%, es decir, debe soportar picos de potencia picos de aproximadamente $400[kW]$. Es importante recalcar que esta potencia es la que debe soportar la línea en cualquier situación climática que

se presente, ya sea en frío extremo o calor extremo. La impedancia de la línea debe ser de $50[\Omega]$ con una variación no mayor a $\pm 5[\Omega]$. Debe ser una línea que soporte señales digitales, que no distorsione la señal digital, y que no mezcle la señal analógica con la digital en la transmisión híbrida. Debe ser una línea con un ancho de banda tal que abarque toda la banda de radiodifusión en amplitud modulada, para así asegurar que el ancho de banda de la línea no sea un problema en ningún momento. Debe ser de dieléctrico de aire para reducir las pérdidas en el cable y al mismo tiempo, reducir el peso del cable. Se debe complementar con un deshidratador que mantenga seco dicho aire para maximizar la vida del conductor interno, ya que si hay humedad, tarde o temprano habrá corrosión dentro del cable. El deshidratador debe tener la capacidad suficiente para secar todo el volumen del aire que está en la línea de transmisión, y mantenerlo seco siempre.

- **Switch coaxial y carga fantasma.**

El switch coaxial o switch de transferencia debe tener conexiones del mismo tamaño que la línea de transmisión elegida. Debe contar tanto con un control manual como con un control remoto. Si el control remoto se adquiere por separado, es necesario considerarlo en el presupuesto. El control remoto debe ser adaptado para poder desactivar el transmisor en caso de mover accidentalmente el switch con el fin de evitar daño en los transmisores. Al switch coaxial debe ir conectada la carga fantasma. La carga fantasma debe ser igual a la impedancia de la los transmisores para evitar el uso de un acoplador extra, la cual es $50[\Omega]$. Debe ser una carga que soporte la potencia máxima del transmisor, $100[kW]$ y que soporte dicha potencia por un periodo de tiempo considerable en caso de que se necesiten hacer pruebas con el transmisor a su máxima capacidad. La conexión entre los transmisores y el switch coaxial se hará con línea coaxial rígida, que cumpla con las mismas especificaciones que se enlistaron en el punto anterior.

- **Transmisor principal y auxiliar.**

Los transmisores son el corazón de la planta de transmisión y de la estación también. Son equipos caros y con necesidades de instalación y operación muy

específicas. Son equipos en los que se debe tomar bastante tiempo para ver las ofertas en el mercado, y tomarse aún más tiempo para hacer la decisión de cual adquirir.

Para el transmisor principal, se desea que sea un transmisor nuevo. Esto implica que dicho transmisor esté preparado para transmitir radio digital bajo el estándar IBOC, y de ser posible, también bajo el estándar DRM. Debe ser capaz de trabajar en todos los modos posibles, puramente analógico, puramente digital, y en el modo híbrido. El transmisor debe proveer un amplio ancho de banda y una distorsión de fase mínima. La respuesta en frecuencia del transmisor debe mantenerse plana aun cuando se trabaje a mayores niveles de modulación y a mayores frecuencias. El retardo de grupo es vital, ya que la frecuencia central sirve como referencia de fase de la señal. [20]. Con que se pruebe que el transmisor está listo para transmitir ya sea con IBOC o con DRM, estas especificaciones deben estar cubiertas. Debe cumplir con las características de distorsión de audiofrecuencias máximas, respuesta de audiofrecuencia y de nivel de ruido en la portadora marcadas en la Norma Oficial Mexicana para la Operación de Estaciones de Radiodifusión de Amplitud Modulada. Debe ser un transmisor eficiente, la mayor parte de la energía consumida debe ser aprovechada y muy poca energía debe ser perdida en calor, si es posible, debe ser ecológico, que su consumo de energía sea menor en comparación con los transmisores antiguos.

En cuanto a las necesidades técnicas, debe ser un transmisor sintonizado a $860[kHz]$ como frecuencia central. Debe producir una señal que cumpla con las especificaciones de ancho de banda que marca la legislación nacional de $20[kHz]$ para el modo completamente analógico [16] y completamente digital, o de $30[kHz]$ para el modo de transmisión híbrido [11]. Debe tener entrada de audio digital y analógico, y de ser posible, ser compatible con el protocolo IP. Además debe tener un puerto para la conexión a la red de datos de la planta y también hacia internet para poder monitorearlo y controlarlo remotamente. Debe contar con un control externo de tal manera que se pueda desactivar en ciertas circunstancias para proteger el transmisor de corrientes reflejadas. La impedancia de salida del transmisor debe ser de $50[\Omega]$ para que sea igual a la

de la línea de transmisión.

Se busca que el nuevo transmisor sea capaz de proporcionar $100[kW]$ de potencia máxima. Esta característica es tentativa, ya que dependiendo del análisis de cobertura e interferencias, se debe concluir si es posible cambiar de la clase de estación de B a A [16], para poder aumentar la potencia de transmisión. Es necesario también tomar en cuenta las características del nuevo terreno para hacer para establecer dicho parámetro de los transmisores.

Para el segundo transmisor, se planea utilizar el que ahora mismo es el principal de la estación de AM. Es un transmisor marca Harris, de estado sólido, con una potencia máxima de $50[kW]$. Actualmente opera solo a $45[kW]$. Es un transmisor puramente analógico, que puede ser adaptado para que transmita en digital ya que es un transmisor de estado sólido [20]. Su impedancia de salida es de $50[\Omega]$. Dado que actualmente es el transmisor principal, este cumple con el ancho de banda y con la condición de frecuencia central. Es un transmisor aun funcional, pero en caso de ser aprobado la compra de 2 transmisores, el transmisor auxiliar será igual al transmisor principal.

Se necesitan wattmetros por separado, para monitorear la potencia transmitida y reflejada de los transmisores, y al mismo tiempo, tener una segunda lectura a parte de la que nos da el mismo transmisor en sus medidores.

Al mismo tiempo, como todo sistema eléctrico, y en especial para este caso, se necesita un sistema de tierra que sirva como referencia eléctrica para todos los equipos, y que sirva también de protección en caso de ocurrir alguna descarga. Debe ser un sistema de tierra bueno, con una impedancia muy pequeña, menor a $10[\Omega]$, lo ideal sería cero ohms, pero es algo imposible encontrar una tierra con esa impedancia.

Para los transmisores se necesita una conexión de datos, ya sea para llevar audio de los estudios hasta la planta como enlace redundante, así como para darle al transmisor una conexión hacia internet con el fin poder controlarlo remotamente. Para esto se necesita una infraestructura de red, cable Ethernet o fibra óptica, switches y routers, módems, etc.

- **Ventilación y aire acondicionado.**

Es necesario ubicar los transmisores en un lugar con un correcto flujo de aire. El aire acondicionado es indispensable, para mantener el cuarto de transmisión a una temperatura de $25[^\circ C]$, adecuada para el correcto funcionamiento de los transmisores. Debe ser técnicamente capaz de funcionar los 365 días del año las 24 horas del día y de tener la capacidad de mantener todo el cuarto a la misma temperatura independientemente de la temperatura del exterior. Se necesita de un aire acondicionado industrial, capaz de mover $2550[m^3/hr]$.

- **Audio.**

En cuanto al audio, se necesitan una serie de equipos que procesarán la señal recibida de los estudios y la llevaran al transmisor para su difusión al aire. Primeramente necesitamos un enlace entre los estudios y la planta transmisora. Debe ser un enlace dedicado, que tenga un buen ancho de banda y sea una frecuencia asignada por el IFETEL. En un futuro se necesitaran transmitir ambas señales, digitales y analógicas, por lo que contar un enlace que soporte tanto señales digitales como señales analógicas es indispensable. Si no es posible hacer esto, se debe considerar en un futuro la adquisición de enlaces digitales para la transición a radiodifusión digital. Se deben también tomar en consideración otros enlaces punto a punto, que pueden ser alámbricos como MPLS o enlaces E1 dedicados para contar con enlaces redundantes.

Una vez que el audio, analógico o digital, ha llegado a la planta, se necesita un amplificador-distribuidor de señales, analógicas o digitales que nos entregará la señal recibida y podremos obtener más copias de esta señal para otros propósitos como la grabación de audios testigos.

Una de las salidas del amplificador-distribuidor se llevará al procesador de audio, la cual nos entregará el audio que viene de la estación listo para ser suministrado a los transmisores. El procesador de audio se encargará de adaptar la señal recibida, modificarla y mejorarla en cualquier caso, para que ésta esté lista para ser transmitida al aire. El procesador de audio debe entregar una señal digital, para la transmisión digital, y una señal analógica para la transmisión analógica. El procesador de audio debe cumplir con los procesos

de preénfasis marcados en la Norma Oficial Mexicana, debe adaptar el audio al ancho de banda disponible o la tasa de transmisión para el caso de transmisión digital.

Una vez suministrado el audio al transmisor, y que éste empiece a realizar su trabajo, es necesario tener un radio, para monitorear la señal del aire y así asegurarse de que el transmisor, y todos los equipos estén trabajando correctamente. Se necesitan para este propósito sintonizadores analógicos/digitales así como sus respectivas bocinas. Conectar una computadora a un sintonizador es indispensable para tener una copia de la señal que se transmite al aire.

En caso de fallo de los enlaces Estudio-Planta, se contará con un sistema reproductor de audio en la planta que suministre audio a los transmisores para que la estación no salga del aire y la transmisión sea continua. Este reproductor debe soportar medios de almacenamiento como CD o memorias USB.

El audio que es transmitido mediante IBOC es tan bueno como éste es producido. El audio que es producido en los estudios debe ser manejado sin compresión, para no perder calidad, o si es necesaria, mantener los niveles de compresión lo más bajo posible. Es necesario tomar en cuenta que hay que migrar las instalaciones monoaurales, a sistemas estéreo, para poder aprovechar al máximo los beneficios del estándar.

4.3. Requisitos Eléctricos

Ya que se han definido las necesidades técnicas del sistema de transmisión, es necesario definir las necesidades del sistema eléctrico que alimentará a todos los equipos dentro de la planta de transmisión.

Son necesarias dos instalaciones eléctricas distintas. La primera será la que alimenta a los transmisores, que son equipos de alta potencia y por lo tanto, tienen requerimientos específicos de voltaje y corriente. Los transmisores de $100[kW]$, necesitan una alimentación que puede ir de los $340[V]$ a los $440[V]$, a 3 fases o dependiendo de las especificaciones del cliente. Se acordó junto con el ingeniero de Radio UNAM, solicitar transmisores que sean alimentados con $440[V]$ de 3 fases a 4 hilos. La subestación eléctrica debe ser capaz de entregar hasta $340[kW]$ que son los consumidos por

los dos transmisores funcionando al mismo tiempo y modulando ambos al 100 %. La segunda instalación eléctrica debe ser una instalación común de una fase, de 127[V], que servirá para alimentar la mayoría de los demás equipos que se encuentren en la planta, como computadoras, monitores, enlaces estudio-planta, etc.

Por lo tanto, se debe realizar un proyecto de una subestación eléctrica que debe contar con dos salidas trifásicas de 440[V] a 4 hilos, una para cada transmisor, y debe ser capaz de entregar una potencia máxima de 340[kW] en caso de que los dos transmisores estén funcionando al mismo tiempo, como ya se mencionó. Debe haber tableros de distribución para la protección de los distintos circuitos conectados. Se debe contar también con una instalación eléctrica de 127[V], para los demás equipos, y también se debe contar con conexiones de 240[V] ya que existen algunos equipos que necesitan conexiones de este tipo para poder trabajar.

El suministro de energía eléctrica no está exento de fallas, y la transmisión de una estación de radiodifusión debe ser continua. Es por eso que es necesario contar con un respaldo eléctrico para poder alimentar tanto el transmisor como los equipos de audio necesarios para poder mantener la estación al aire. Para la planta de emergencia se requiere una planta que tenga una conexión trifásica de 440[V] a 4 hilos, y que sea capaz de entregar 170[kW] de potencia para poder mantener un transmisor funcionando. Debe ser instalada junto con la subestación eléctrica para que en caso de que se presente una ausencia del servicio, la planta se active automáticamente y así el suministro de energía sea casi continuo. La planta de emergencia debe cumplir con las normas de control de emisiones, ser lo más eficiente posible, y contar con un tanque de combustible grande para que la planta sea capaz de funcionar por periodos largos de tiempo en caso de ser necesario.

4.4. Requisitos Civiles

Al tratarse de una planta de transmisión nueva, en un terreno diferente, se deben edificar ciertos edificios que alberguen a los diferentes equipos que forman parte de la planta de transmisión, desde los necesarios en el sistema de transmisión, los edificios necesarios para el sistema eléctrico, y edificios auxiliares que sirven de apoyo al personal que trabaja en la planta.

Como primer punto, se necesitaría rodear el terreno con una barda, en caso de que el terreno no la tuviera lo cual no sucede en este caso, ya que esta barda sirve tanto para protección de los equipos ahí alojados, como para protección de las personas que transiten por la calle. Después de la protección del perímetro del terreno, se debe construir una caseta de vigilancia. Esta caseta servirá para que la persona encargada de vigilar la planta de transmisión, vigile la entrada y salida de personal y de equipo, con el fin de proteger las instalaciones y no dejar que cualquier persona entre sin las medidas de seguridad adecuadas ni los permisos para ello. Junto al edificio principal, se debe construir un estacionamiento. En él, el personal que trabaje en la planta podrá dejar su automóvil, y también servirá para alojar los automóviles de los ingenieros que acuden a dar servicio a los equipos de transmisión. También servirá como desembarco para todo aquel material y/o equipos que sean enviados directamente a la planta de transmisión, tales como líneas de transmisión, carga fantasma, transmisores, y cualquier equipo de gran tamaño. El edificio debe contar con una parte que sirva como recepción. En esta parte del edificio se encontrará el operador de la planta que es el encargado de estar al tanto de los transmisores. Este lugar debe ser provisto con equipo de oficina como escritorios, sillas, mesas, y demás aditamentos que ayuden a la labor del operador de la planta. Otro edificio importante es una bodega auxiliar, no importa que forme o no parte del edificio principal. En esta bodega se almacenarán los equipos necesarios para el mantenimiento general de la estación y del terreno, como los equipos de jardinería, y material de limpieza.

El edificio principal es el que albergará a los dos transmisores, los equipos de audio, carga fantasma y switch coaxial. Este edificio debe ser lo suficientemente grande como para albergar 2 transmisores con medidas (alto x ancho x profundidad): $450[cm] \times 220[cm] \times 150[cm]$. Estas medidas incluyen el gabinete del transmisor, el gabinete del transformador externo y el o los gabinetes que albergan a los módulos de potencia. También debe albergar un rack para equipos de telecomunicaciones en el que se instalan los equipos que están conectados directamente al transmisor, como el procesador de audio, los receptores de los enlaces estudio-planta, el monitor de modulación, sintonizador de la estación, etc. Este rack tiene unas dimensiones de (alto x ancho): $2[m] \times 0,5[m]$ aproximadamente. También en el edificio se albergara la carga fantasma y el switch coaxial. Independientemente de estas dimensiones apro-

ximadas, el edificio debe contar con el suficiente espacio para poder trabajar en los transmisores de una manera cómoda y que exista una correcta ventilación de los transmisores. Debe haber un espacio libre de por lo menos 2 metros alrededor de los transmisores y de 1.5 metros alrededor de la carga fantasma. El edificio debe tener una altura que permita la correcta instalación de la ventilación de los trasmisores así como la instalación de la línea de transmisión rígida, esta altura debe ir de 1.5 a 2 metros por encima de la altura de los transmisores.

Otra parte del edificio principal, es la bodega de refacciones. Esta bodega de refacciones estará destinada a dos fines, el primero de almacenar cualquier refacción destinada al mantenimiento del transmisor. También se almacenarán los equipos que se utilicen a la hora de dar mantenimiento al transmisor. El segundo fin de este edificio es como taller de reparaciones, debe por lo tanto contar con el espacio suficiente como para albergar una mesa de trabajo, los equipos de trabajo, y albergar a 3 personas en la habitación y aun así tener espacio para poder moverse libremente.

La subestación eléctrica y planta de emergencia deben contar con su propio edificio que preferentemente debe contar con aislante de ruido. Este edificio deberá satisfacer las necesidades de espacio que se planteen en el proyecto del sistema eléctrico y deberá también como en los demás edificios, tener espacio necesario para maniobras de reparación y/o mantenimiento. Y por último, pero no por eso menos importante, la caseta de la antena. Se debe contar con un edificio que albergue el acoplador de impedancia de la línea de transmisión que viene del transmisor, con la impedancia de la antena. Este edificio no es grande en sí, y la mayor parte de las veces es construida por parte de la empresa encargada de la instalación de la torre, que también realiza los estudios de suelo y cimentación del soporte de la antena monopolo, o de la estructura que sostendrá a la antena.

Aunque no se hayan mencionado como especificaciones, servicios como agua potable, drenaje, servicios sanitarios, teléfono y cocina deben ser construidos para que las personas que laboren en la planta, cuenten con las condiciones necesarias de trabajo.

Capítulo 5

Solución técnica y costo

Ya se han definido los elementos necesarios para poder instalar la planta de transmisión en su nueva ubicación, así mismo, se han detallado las especificaciones que debe tener cada equipo de la planta para satisfacer los requerimientos que se han planteado. En este capítulo se propondrá una solución técnica al proyecto, listando los equipos u opciones de equipo que pueden ser adquiridos para llevar a cabo el proyecto. También, se proporcionarán los precios de los equipos que se enlistan, para que al final del capítulo se pueda dar una cantidad aproximada del costo total de los equipos que conforman la solución técnica. En este costo, sólo estarán incluidos los precios de los equipos, no se considerarán los costos de trabajo o instalación.

Como se describió en los capítulos anteriores, para poder implementar la radio digital en la planta de transmisión, es necesario una serie de equipos y modificaciones a algunos de los equipos, por lo que la parte para la implementación del estándar IBOC se manejará un costo aparte del que se proporcionará para la planta de transmisión funcionando analógicamente.

Otra cuestión que se tratará es el impacto en el costo total de equipos si es que se llegase a aprobar un aumento de potencia a 100 [kW], ya que para ello se necesitarán equipos de mayor capacidad que por obvias razones, son de un costo mayor. Teniendo en cuenta estas consideraciones, se empezará a enlistar los equipos de la solución propuesta.

5.1. Equipos propuestos

1. Antena y Circuito Acoplador

a) La antena elegida es una antena Folded Unipole. Estas antenas, a pesar de que se diseñaron por los años 30, no habían sido muy utilizadas hasta hace apenas unos 15 años. La principal ventaja de este tipo antena contra las antenas monopolo convencionales es el ancho de banda. Las antenas Folded Unipole son caracterizadas por tener un gran ancho de banda, lo que las hace perfectas para la transmisión digital. La desventaja de este tipo de antenas es que necesitan una estructura en la cual puedan ser montadas. Esta estructura es provista por la torre que funcionaba como antena monopolo. La opción que se ha cotizado en la antena UP-651-300 Tunipole de la empresa LBA (Lawrence Behr Associates), cuyas características son enlistadas a continuación.

- Frecuencia = $860[kHz]$
- Altura = $90[m](\lambda/4)$
- Hilos: 6 hilos
- Impedancia Entrada: $55 + j88[\Omega]$ (aprox.)
- Bandwidth = $50[kHz]$
- Potencia: $100[kW]$ para un 125 % de modulación.
- Costo: \$ 22,744.80 USD (solo equipo).

b) Al acoplador de impedancias que se ha cotizado es un acoplador ATU (Antenna Tuning Unit) de la misma marca que la antena Folded Unipole, LBA. Este acoplador fue seleccionado ya que es provisto por la misma empresa, y es la misma empresa la encargada de la instalación, además, estos acopladores vienen con su cabina en donde deben ser instalados. Las características del acoplador solicitado son las siguientes:

- Tipo: Circuito tipo T
- Impedancia entrada: $50[\Omega]$
- Impedancia salida: $55 + j88[\Omega]$ (impedancia de entrada de la antena)
- Potencia: $100[kW]$ ($400[kW]$ pico)

- Medidores de corriente y voltaje.
- Caseta para la intemperie con seguro, luz interna y contactos eléctricos.
- *Costo: \$ 60,480.00 USD (Caseta más instalación)*

2. Transmisores

Para el caso de los transmisores, se tomaron en consideración dos marcas, Harris, una marca estadounidense, y Nautel, una marca canadiense. Ambas marcas son reconocidas mundialmente por la excelencia de los transmisores. Los transmisores de ambas marcas son perfectamente capaces de transmitir con IBOC o DRM, sin embargo, hay dos diferencias importantes entre ellos, la primera el SWR, mientras el transmisor Harris soporta un SWR de 1.3, el transmisor Nautel soporta un SWR de 1.5. La otra diferencia es la potencia consumida cuando se modula al 100 %, teniendo los transmisores de la marca Harris un mayor consumo que los de la marca Nautel. Se cotizaron ambos transmisores, sin embargo, sólo se recibió respuesta por parte de Nautel, por lo que son los transmisores de esta marca los que se manejarán. Las características del transmisor NX50 y NX100 son:

- Frecuencia: $860[kHz]$
- Potencia: $50[kW]$ (NX50) y $100[kW]$ (NX100)
- Alimentación: trifásica $440[V]$, 4 hilos.
- Conector: $4 - 1/16''$
- Impedancia salida: $50[\Omega]$
- Entrada de audio AES3
- Manual de operación incluido, además de capacitación para 3 ingenieros en la etapa final de pruebas con todos los gastos pagados.
- Controlado por web
- *Costo (50 [kW]): \$ 184,800.00 USD*
- *Costo (100 [kW]): \$ 346,500.00 USD*

3. Línea de Transmisión.

Como ya fue descrito en el capítulo 3, para la nueva planta son requeridos dos tipos de líneas de transmisión coaxiales, una rígida, para la instalación en interior, y una flexible, para la instalación en exterior; ambas líneas de una impedancia de $50[\Omega]$. Al mismo tiempo, para instalar las líneas, es necesario una serie de conectores y soportes para la línea que deben ser adquiridos por aparte. También hay que tomar en cuenta que la línea flexible debe estar presurizada, para mantener el aire que está dentro de la línea seco, y así maximizar la eficiencia y duración de la línea. La distancia entre el edificio de los transmisores y la antena, que define el tamaño de la línea de transmisión flexible está dada principalmente por el tamaño de los radiales, que será el tamaño de dicha separación. Para Radio UNAM los Radiales son de 70 [m], por lo que se tomarán en cuenta 100 [m] de línea flexible para cubrir cualquier inconveniente. Para la línea rígida, solo se hizo una estimación y ya que los transmisores y demás componentes no estarán muy lejos unos de otros, sólo se estimo 50 [m]. Las características de las líneas de transmisión y de los equipos son listadas a continuación:

a) Flexible: HJ11-50 marca Andrew

- Tamaño: $4 - 1/16''$
- Potencia: $100[kW]$ ($400[kW]$ pico)
- Dieléctrico: aire
- Presurización: sí
- Longitud necesaria: aprox. $100[m]$ ó $328[pie]$
- Costo: \$ 131.00 USD por pie.

b) Rígida: STD450-1 marca Andrew

- Tamaño $4 - 1/16''$
- Potencia: $100[kW]$ ($400[kW]$ pico)
- Marca: Andrew o RFS
- Con flanges.
- Longitud: aprox. $50[m]$ ó $160[pie]$

- *Costo: \$ 1,242.34 USD por 20 [pie]*

c) Presurizador (MT500 de Andrew) y válvula (H5MB-014 de Andrew)

El presurizador se encarga de secar el aire de la línea de transmisión flexible, y para esto se conecta a la válvula, que a su vez está conectada a la línea de transmisión flexible. Los costos de estos dos dispositivos se enumeran a continuación.

- *Presurizador: \$ 3,513.38 USD*
- *Válvula: \$ 289.20 USD*

d) Accesorios

Son necesarios una serie de accesorios, entre los cuales se encuentran las bridas o flanges, para unir los conductores externos de dos secciones de línea; los conectores interiores (o inner conectores) para unir los conductores internos de dos secciones de líneas; secciones de línea de 90°; soportes para la línea rígida; en algunos equipos puede llegar a necesitarse reductores de 4-1/16" a 3-1/8"; anillo para atravesar la pared del edificio principal hacia la antena, con su respectivo kit de instalación; y por último, un acoplador para unir la línea rígida con la flexible. El precio y modelo de estos elementos son listados a continuación:

- *Brida (RLA400-38 ERI): \$ 169.09 USD*
- *Inner conector (ACX450-20 ERI): \$ 147.83 USD*
- *Codo de 90° (CE 4024 ERI): \$ 474.86 USD*
- *Reductor (ELA400-350 ERI): \$ 589.39 USD*
- *Soporte (RLA400-22A): \$ 209.25 USD*
- *Anillo (RLA400-15 ERI): \$ 423.90 USD*
- *Kit de instalación (RLA400-21 ERI): \$ 33.75 USD*
- *Acoplador de líneas (CS4001 ERI): \$ 282.15 USD*

4. Carga Resistiva.

La carga resistiva o dummy load es muy importante ya que es la que cierra el circuito y consume la potencia del transmisor cuando se están realizando pruebas con él. Estas cargas son de 50[Ω] que es la misma que la impedancia

de salida del transmisor, pero la potencia que pueden soportar depende del modelo. En este caso, se cotizaron dos modelos, una carga con una potencia máxima de 75 [kW] que sirve perfectamente para un transmisor de 50 [kW]; y otra carga con una potencia máxima de 150 [kW], que servirá para un transmisor de 100 [kW]. La marca de ambas cargas es Altronic, y las especificaciones de cada modelo son las siguientes:

a) 6775E4-230/60 ALTRONIC

- Air Flow: 1900 CFM
- Alimentación: 220[VAC], 7[A], 60[Hz]
- Potencia Disipada: 75 [kW] al 100 % de modulación
- Costo: \$ 18,573.30 USD

b) 77150E4-230/60 ALTRONIC

- Forced Air cooler
- Alimentación: 220[VAC], 7[A], 60[Hz]
- Potencia: 150 [kW] al 100 % de modulación
- Costo: \$ 43,040.70 USD

5. Interruptor de Transferencia

El switch de transferencia o coaxial es utilizado para poder tener conectado los dos transmisores de la planta de transmisión tanto a la antena como a la carga fantasma o dummy load. El switch debe poder ser controlado tanto manualmente como remotamente. El control remoto debe poder ser conectado a los transmisores como una medida de seguridad. Los equipos que se cotizaron son los siguientes:

- Switch (61102 MCI): \$ 7,614.00 USD
- Control remoto (CSCP/R-1 MCI): \$ 972.00 USD

6. Periféricos de Audio.

Los equipos periféricos de audio son los equipos de audio mencionados cuya función es la de permitir monitorear el funcionamiento de la estación, así como el del mejoramiento de la señal de audio. La función de cada uno de estos

equipos que son listados a continuación ya ha sido explicada en el capítulo 3, por lo que aquí sólo mencionaremos características importantes por las cuales fueron elegidos.

a) Amplificadores-Distribuidores

Son necesarios dos amplificadores-distribuidores, uno análogo y el otro digital, que será utilizado cuando se empiece con las transmisiones digitales. Se eligieron equipos de la marca ATI ya que cuentan con modelos cuyas entradas y salidas son conectores tipo XLR, lo que facilita mucho su instalación; también son equipos en los que las entradas están aisladas mediante transformadores, lo que los hace resistentes a los ruidos externos. En el caso de los modelos digitales, estos equipos son capaces de trabajar con frecuencias de muestreo de hasta 192 [kHz] configurable, presentando un bajo jitter y retardo ultra corto. Además, la ganancia de cada una de las salidas es independiente y puede ser configurada según las necesidades. Los precios y modelos de los equipos elegidos son:

- (Análogo) ATI DA412: \$ 1,159.65 USD
- (Digital) ATI DDA 212 – XLR: \$ 1,382.40 USD

b) Procesadores de Audio

Los procesadores de audio son una parte fundamental de la señal a transmitirse. Generalmente, los procesadores de audio son equipos encontrados en las oficinas de la estación, pero dada su importancia, y dados los objetivos del proyecto, es necesario empezar a tomar en consideración ciertos equipos. El procesador ideal es el Optimod-AM 9400 de la marca Orban ya que dadas sus características lo convierte en un equipo ideal para radio digital y radio analógica. La principal característica es que es un procesador estéreo; otra característica, tal vez la más importante, es que ofrece dos cadenas independientes de procesamiento, una para la señal digital, y otra para la señal analógica. Esta última característica lo hace ideal para IBOC, y para el proyecto, ya que aunque no se haya decidido empezar a transmitir digitalmente, el procesador puede trabajar solo con la señal análoga monoaural, como lo hace cualquier otro procesador de AM puramente analógico.

- *Costo: \$ 10,786.50 USD*

c) Monitor de Modulación de AM

Los monitores de modulación son equipos requeridos por el IFETEL [16], además de los incluidos en los transmisores y que sirven para monitorear la modulación de la señal y así el funcionamiento del transmisor. Al igual que para los equipos anteriores, es necesario contar con un monitor de modulación para la señal analógica y otro para la señal digital. El monitor análogo es solamente dedicado para la modulación en amplitud, mientras que el monitor digital, puede ser utilizado en las bandas de AM y FM para el estándar IBOC. Los equipos elegidos son los siguientes:

- *TFT Modelo 923A: \$ 2,362.50 USD*
- *Audemat Goldeneagle HD FM/AM: \$ 11,160.00 USD*

d) Tuner y Bocinas

El tuner o sintonizador es utilizado para escuchar lo que la estación transmite y si esta sufre alguna interrupción en el servicio, se pueda detectar rápidamente. Es muy probable que estos equipos deban estar en los estudios, pero tener un equipo en la planta de transmisión no está de más. El sintonizador debe ser capaz de recibir señales de la banda de AM y FM, además de poder recibir señales digitales de HD Radio, como el sintonizador M4.2S de la marca DaySequerra que tiene capacidad para recibir audio en las bandas AM y FM y además está listo para recibir audio digital bajo el estándar IBOC (HD Radio), además, una opción muy interesante de este equipo es la capacidad de enviar alertas por e-mail cuando se produzca una pérdida de audio, lo que lo hace perfecto para monitorear la estación. Para esto deben incluirse unas bocinas también.

- *Costo: \$ 1,000.00 USD*

e) Reproductor CD

El reproductor de CD es una medida de emergencia para suministrar audio a los transmisores en caso de que los enlaces entre el estudio y la planta sufran algún fallo. Debe ser capaz de poder reproducir una gran variedad de formatos de audio, además de ser capaz de reproducir desde USB. El

modelo con estas características es:

- *Tascam CD-200SB (USB): \$ 478.80 USD*

f) Protección Eléctrica.

Los equipos de audio mencionados funcionan con 127 [V], es por eso que se debe contar con un dispositivo que alimente a los equipos de audio en caso de un corte de energía eléctrica de la red de 127 [V], para esto se necesita un UPS online o No-break que proporcione 800[VA] como mínimo. Se elige a 1[kVA] por ser un valor común para varios equipos.

- *Tripp lite SmartOnline SU1000RTXLCD2U: \$ 500.00 USD*

7. Enlaces Estudio Planta.

La forma en la que se hace llegar el audio de los estudios a la planta es muy importante. Debe haber enlaces de respaldo para que en caso de fallo del enlace principal, se tenga otro medio de comunicación entre los estudios y la planta. Dado que el procesador de audio estará en los estudios, debe haber dos enlaces principales de audio, uno analógico y otro digital, para la transmisión híbrida. Los enlaces analógicos a utilizar son los que actualmente están en funcionamiento, ya que estos trabajan en frecuencias asignadas a Radio UNAM por la COFETEL, ahora IFETEL. Por lo tanto, sólo habrá que cotizar un enlace digital. De acuerdo con iBiquity, el STL capaz de satisfacer las demandas de ancho de banda para IBOC es el enlace digital Moseley Starlink SL9003T1 [19]. Este enlace es capaz de trabajar sobre un enlace E1 o T1 alámbricos y también es capaz de trabajar con enlaces de microondas, en la banda libre, por lo que no es necesario ningún permiso, aunque está expuesto a interferencias, haciendo que un enlace E1 alámbrico sea más fiable.

- *Costo: \$ 14,512.50 USD*

8. Equipos del estándar IBOC

Hay dos equipos necesarios para la implementación de IBOC en la estación, que es el generador de la señal principal o Exporter, y el generador de la señal de los 2 canales extra posibles (multicasting) o Importer. El Exporter maneja y combina el audio principal, junto con sus datos, y los servicios de aplicación

avanzada, para el transporte de esta señal sobre un enlace Estudio-planta, mientras que el Importer maneja los servicios de aplicación avanzados como la multiprogramación. Ambos equipos son indispensables para la implementación de IBOC. Las licencias por la utilización del estándar están incluidas en los precios de los equipos. Otro equipo necesario para la transmisión digital es el excitador o modulador de IBOC, el cual debe ser instalado en los transmisores, y que no está incluido en el precio de los transmisores.

Otra cuestión importante para la implementación del estándar IBOC es la antena y el acoplador, ya que se deben realizar modificaciones en el acoplador con base en la respuesta en frecuencia de la antena, con el objetivo de garantizar que el acoplamiento sea igual en todo el ancho de banda y de esa manera evitar variaciones en el VSWR. Los precios los equipos y de la modificación del acoplador se enlistan a continuación:

- *Exporter: \$ 20,000.00 USD*
- *Importer: \$ 10,000.00 USD por canal*
- *Modificación Acoplador: \$ 10,000.00 USD*
- *Excitador IBOC AM: \$ 17,000.00 USD*

9. Planta de emergencia

Para la planta de generación de emergencia se requiere que entregue 440[V] a 4 hilos, con una potencia de 170 kW. Debe ser de tipo automática, con un tanque grande de combustible para poder funcionar por horas. El costo que fue proporcionado para una planta de estas características es de:

- *Costo: \$ 60,196.50 USD*

10. Equipos varios

Aquí se enlistarán una serie de equipos que no son requeridos pero que la planta debe contar con ellos para poder realizar estudios y reparaciones.

- *Analizador de Espectro (MS2712E ANRITSU): \$ 11,187.50 USD*
- *Coverage Mapping, para análisis de cobertura (431 ANRITSU): \$ 3,125.00 USD*

- *Caja de Herramientas (9898 TECHNI-TOOLS): \$ 1,052.50 USD*
- *Osciloscopio (190-202/AM FLUKE): \$ 4,749.95 USD*
- *Multímetro (179/EDA FLUKE): \$ 437.50 USD*
- *Cautín (WTCP-T WELLER): \$ 157.00 USD*

5.2. Costo de la solución propuesta

Ahora, ya que se cuenta con los precios de los equipos que conformarán la nueva planta de transmisión, es necesario dar un costo total de los equipos cotizados. Sin embargo no es posible dar un solo total, ya que se tienen varias opciones. Primeramente hay dos opciones de potencia. La opción A incluirá un transmisor y una carga fantasma para 50 [kW], mientras que la opción B incluirá un transmisor y una carga fantasma de 100 [kW]. Los demás componentes no cambiarán dado que ambos sirven para las dos opciones de potencia. Cada una de estas dos opciones tendrá a su vez dos opciones, la primera será considerando equipos de audio para una transmisión puramente analógica, y la segunda será considerando equipos de audio digitales, así como los equipos necesarios para la implementación de IBOC, descritos en el punto 8. Por lo tanto, se tendrá un total de 4 presupuestos totales, los cuales se presentaran en la Tabla 5.1

	Potencia 50 [kW] (USD)	Potencia 100 [kW] (USD)
Estación AM	\$ 506,011.87	\$ 710,796.01
Estación AM + HD	\$ 594,597.34	\$ 799,381.48

Tabla 5.1: Presupuestos de equipos finales para la nueva planta de transmisión.

Es importante mencionar que los presupuestos mostrados en la Tabla 5.1 contemplan un margen del 10% en caso de presentarse cualquier imprevisto como variaciones en los cambios de moneda. Además, en estas cantidades solo se está considerando la adquisición de un sólo transmisor, ya sea de 50 o 100 [kW], por lo que el transmisor emergente sería el que actualmente esta en la planta de Ticomán, y no se contemplaría la adquisición de un transmisor auxiliar de 100 [kW].

Capítulo 6

Estimación de Cobertura e Interferencias

En este capítulo se harán las estimaciones de cobertura e interferencias posibles que se puedan presentar al cambiar la ubicación de la planta a lo que será su nueva ubicación. El cálculo de cobertura e interferencias es vital para este tipo de proyectos, ya que gracias a él se puede ver la viabilidad del proyecto y prácticamente depende de los resultados de este análisis que el proyecto sea aprobado o rechazado por la Comisión Federal de Telecomunicaciones, ahora Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFETEL) [9]. El proyecto, para ser aprobado ha de cumplir ciertas especificaciones de cobertura, radiación e infraestructura, primeramente para poder funcionar, y en segunda para poder ser autorizado el cambio de ubicación. El IFETEL señala que al hacer un cambio de ubicación del sistema radiador, es decir, de la planta de transmisión, las características del nuevo sistema radiador deben ser tales que la cobertura que tenía autorizada la estación antes del cambio de ubicación siga siendo la misma después del cambio. Las especificaciones de radiación son una serie de contornos que sirven para proteger a la estación de interferencias, y también proteger a las demás estaciones de interferencias que pueda causar la nueva ubicación del sistema radiador. Los valores de campo que a cierta distancia debe cumplir la planta transmisora dependen del tipo de estación que sea la radiodifusora. Estos valores de campo y más que nada, las distancias desde la antena a la cual se encuentran dichos valores de campo, serán estimados utilizando el método establecido por el IFETEL en la

Norma Oficial Mexicana NOM-01-SCT1-93 [16]. Las especificaciones de infraestructura radican principalmente en las características básicas de la antena, junto con los radiales, el tipo de acoplador y las características de potencia y funcionamiento de los transmisores.

En capítulo 7, principalmente con base en los resultados obtenidos en el presente capítulo, se podrá concluir además acerca de la viabilidad del cambio de tipo de estación de Radio UNAM de clase B a clase A.

Para el cálculo de cobertura es necesario tomar en consideración un cierto número de datos técnicos de la estación transmisora, del terreno y los diferentes campos señalados por el IFETEL. Para la estimación de las interferencias, es necesario también contar con información de las plantas de transmisión de otras estaciones radio-difusoras cercanas a la nueva ubicación de la planta transmisora, o en frecuencias cercanas a la frecuencia de Radio UNAM.

Se empezará por ubicar el terreno que albergaría a la nueva planta de transmisión y al mismo tiempo se buscarán plantas de transmisión de otras frecuencias cercanas a la nueva planta, para que en un apartado siguiente se analicen las posibles interferencias con éstas. Posteriormente se calcularán los contornos protegidos para evaluar las posibles interferencias sobre Radio UNAM, y finalmente se calcularán los contornos interferentes para calcular las posibles interferencias provocadas por Radio UNAM sobre otras estaciones de radio.

6.1. Ubicación de la Nueva Planta de Transmisión

La actual planta de transmisión de la estación de AM de Radio UNAM está ubicado en la delegación Gustavo A. Madero, cerca de Ticoman, al norte de la Ciudad de México. Se planea cambiar la ubicación de la planta a un terreno ubicado en la delegación Tláhuac. El terreno está ubicado en la esquina de las calles Salvador Díaz Mirón y San Rafael Atlixco, cerca de la estación “Nopalera” del metro de la línea 12 que recorre toda avenida Tláhuac. El tamaño del terreno es de 280 [m] x 100 [m], que es el área delimitada por el contorno amarillo en la Figura 6.1. En este espacio se colocarán todos los edificios descritos en el Capítulo 4 y además se colocarán la antena y los radiales. Es claro que la antena no puede ser instalada en medio del



Figura 6.1: Ubicación del terreno para la Nueva Planta de Transmisión

terreno, ya que al hacerlo no habría espacio para los demás edificios, es necesario planificar la ubicación de la planta transmisora como un todo, y no por cada elemento, que en este caso se podría decir que son dos, la antena y el edificio principal. Generalmente, el edificio principal, que es donde se encuentran los transmisores se construye a las orillas del terreno, ya que de esta forma se garantiza que habrá suficiente espacio en el terreno para poder instalar la antena y sus radiales sea cual sea la longitud de éstos. Es por eso que la antena debe ser instalada en el cuadrante superior del terreno, el cual se observa en la Figura 6.1 delimitado por el contorno rojo. Las dimensiones del espacio de terreno donde se instalará la torre de la antena y los radiales es de 100 [m] x 150 [m]. La antena será instalada en el centro de la parte superior del terreno (delimitado con rojo).

6.2. Interferencias con estaciones cercanas

En cuanto a otras plantas de transmisión AM cercanas a la nueva planta de transmisión de Radio UNAM, se encontraron 3 diferentes antenas que están dentro de un radio de 5 [km] de la nueva planta de transmisión. Son dos plantas transmisoras,



Figura 6.2: Ubicación de antenas radiodifusoras de AM vecinas a la nueva planta de transmisión de Radio UNAM.

3 antenas y 4 frecuencias que se transmiten desde ellas. La más cercana es la planta transmisora del Instituto Mexicano de la Radio (IMER). En esta planta se maneja un sistema dúplex. Son 2 diferentes frecuencias que se transmiten con una sola antena. La otra planta transmisora, un poco más lejos que la planta transmisora perteneciente al IMER, pertenece a la compañía radiodifusora Cadena Radiodifusora Mexicana, S.A. de C.V. En esta planta se encuentran dos antenas cada una con una frecuencia diferente. La ubicación de estas antenas se observa en la Figura 6.2 y la distancia que hay entre estas antenas y la nueva antena de Radio UNAM es la que aparece en la Tabla 6.1.

En la Tabla 6.1 también se muestran datos de cada una de las estaciones cercanas a la nueva ubicación de la planta de transmisión de la UNAM proporcionados por la antigua página de internet de la COFETEL [12]. Se observa la frecuencia de cada estación, así como las potencias, tanto diurnas como nocturnas que tiene

Estado	Consecionario / Permisionario	Distintivo	Frecuencia [kHz]	Potencia [kW]	Distancia a Antena de Radio UNAM [km]
D.F.	Instituto Mexicano de la Radio	XEDTL	660	50-D, 1-N	1.71
D.F.	Instituto Mexicano de la Radio	XEB	1220	100-D, 100-N	1.71
D.F.	Cadena Radiodifusora Mexicana, S.A. de C.V.	XEX	730	100-D, 100-N	3.4
D.F.	Cadena Radiodifusora Mexicana, S.A. de C.V.	XEQ	940	50-D, 50-N	3.58

Tabla 6.1: Datos de las estaciones cercanas publicados por la COFETEL (D-diurna N-nocturna).

autorizada cada estación. Con estas estaciones tendrá que convivir la nueva planta de transmisión de Radio UNAM, y es necesario analizar si la instalación de la nueva planta de Radio UNAM ocasionará interferencias en las estaciones ya ubicadas en la zona y viceversa. Para este fin, la norma establece un contorno denominado como “Área de bloqueo” [16, p. 8]. Este contorno está delimitado por el valor de campo $E = 1[V/m]$. Este contorno delimita un área alrededor de cada antena en la cual no puede haber otra antena, de cualquier frecuencia, ya que esto podría suponer una interferencia entre las estaciones, o bien deben proveerse mecanismos para evitar dichas interferencias. El siguiente paso es calcular dicho contorno, pero para poder hacerlo, se necesita conocer el valor del campo característico E_C de cada estación, y ya que el IFETEL no proporciona este dato sobre ninguna estación, es necesario estimarlo.

6.2.1. Estimación de los Campos Característicos E_C

De acuerdo al método para realizar la estimación de contorno descrito en el Apéndice A, es necesario contar con dos datos técnicos característicos de cada estación, que son la potencia y el campo característico de la antena, y obviamente, la frecuencia de operación. El dato de la potencia de cada estación se puede observar en la Tabla 6.1 que contiene datos publicados por la antigua COFETEL [12] y donde podemos ver la potencia diurna y nocturna que tiene autorizada cada estación.

El campo característico de antenas verticales es un valor de campo normalizado a una potencia de $1[kW]$ de PRA a $1[km]$ de distancia. Para estimar el campo característico de una antena, es necesario tomar en consideración parámetros físicos de la instalación de la antena, como lo son la longitud de la antena en longitudes de onda (λ), longitud de los radiales en longitudes de onda, y número de radiales. Para realizar la estimación del campo característico, el IFETEL, en la norma NOM-01-SCT1-93, incluye una gráfica denominada “Campos característicos de antenas verticales” [16, p. 39]. Con dicha gráfica, incluida en el Apéndice E de este trabajo (Figura E.4), junto con los datos de altura de antena, longitud de los radiales y número de radiales, es posible realizar una estimación del campo característico para cada estación.

Campo característico de XDTL ($f = 660[kHz]$)

Para las estaciones que pertenecen al Instituto Mexicano de la Radio, que son la XDTL y la XEB, es necesario hacer un cálculo extra, ya que estas estaciones funcionan en un sistema dúplex, es decir, ambas frecuencias son transmitidas en una misma antena. La antena, que es un monopolo de un cuarto de longitud de onda, debió haber sido diseñada para la frecuencia más baja, cuya longitud de onda es mayor, ya que si hubiese sido diseñada para la frecuencia más alta, cuya longitud de onda es menor, resultaría una antena pequeña para la frecuencia baja, lo que implicaría problemas para dicha frecuencia, por lo que se supondrá que la antena fue diseñada para la frecuencia de $660[kHz]$. Calculamos entonces la altura física que tiene la antena:

$$\frac{\lambda_{660}}{4} = \frac{454,231[m]}{4} = 113,56[m] \quad (6.1)$$

Por lo tanto, la altura física de la antena a usar para ambas frecuencias será de $113,56[m]$. Ahora, es necesario también obtener la longitud máxima de los radiales. Para ello, se midió, haciendo uso de la herramienta de medición de Google Earth, el perímetro del terreno de la planta transmisora, como se observa en la Figura 6.3. El terreno donde se encuentra ubicada la antena de las estaciones del IMER tiene unas dimensiones de $190 [m] \times 400 [m]$.

El terreno es suficientemente grande como para albergar radiales de un cuarto de longitud de onda de la frecuencia $660 [kHz]$, sin embargo, al observar la Figura 6.3 notamos que la antena no se encuentra ubicada en el centro del terreno. Esto limita el tamaño de los radiales que se encuentran en dirección oeste de la antena. En esta dirección, el tamaño máximo que se puede alcanzar es de $90 [m]$. Eso no quiere decir que todos los radiales en todas las direcciones sean de la misma longitud, sin embargo, para este trabajo se estimará que los radiales son todos iguales y que miden $90 [m]$. La antena, para $660[kHz]$, mide $0,25\lambda_{660}$, mientras que los radiales, para la misma frecuencia, miden $0,19\lambda_{660}$. Con base en estos dos datos, y considerando un número de radiales de 120 (valor típico), de la gráfica E.4 se obtiene un campo característico para $660[kHz]$ de:

$$E_C = 287,5\left[\frac{mV}{m}\right] \quad (6.2)$$

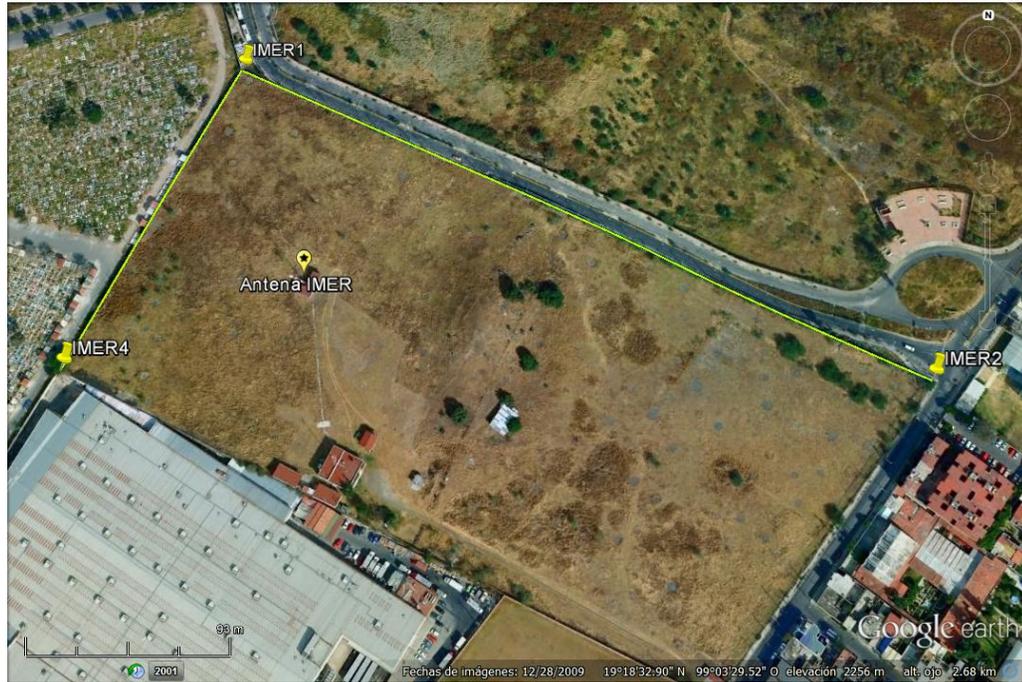


Figura 6.3: Terreno de la planta de transmisión del IMER.

Campo característico de XEB ($f = 1220[kHz]$)

Para el cálculo de este campo característico, utilizaremos los mismos datos de longitud física que se obtuvieron para la estación pasada, ya que como se mencionó, estas dos frecuencias trabajan en un sistema dúplex. Por lo tanto, la altura física de la antena será de 113.56 [m] y los radiales serán de 90 [m]. Entonces, la antena para 1220[kHz], mide $0,46\lambda_{1220}$, mientras que los radiales miden $0,36\lambda_{1220}$. Con base en estos dos datos, y considerando un número de radiales de 120, de la gráfica E.4 se obtiene que el campo característico para 1220[kHz] es de:

$$E_C = 395 \left[\frac{mV}{m} \right] \quad (6.3)$$

Campo característico de XEX ($f = 730[kHz]$)

Las otras dos estaciones que se encuentran cerca de la nueva ubicación de la planta de Radio UNAM pertenecen a la Cadena Radiodifusora Mexicana. Lo que se pudo notar de la imagen satelital ofrecida por Google Earth (Figura 6.4) es que cada

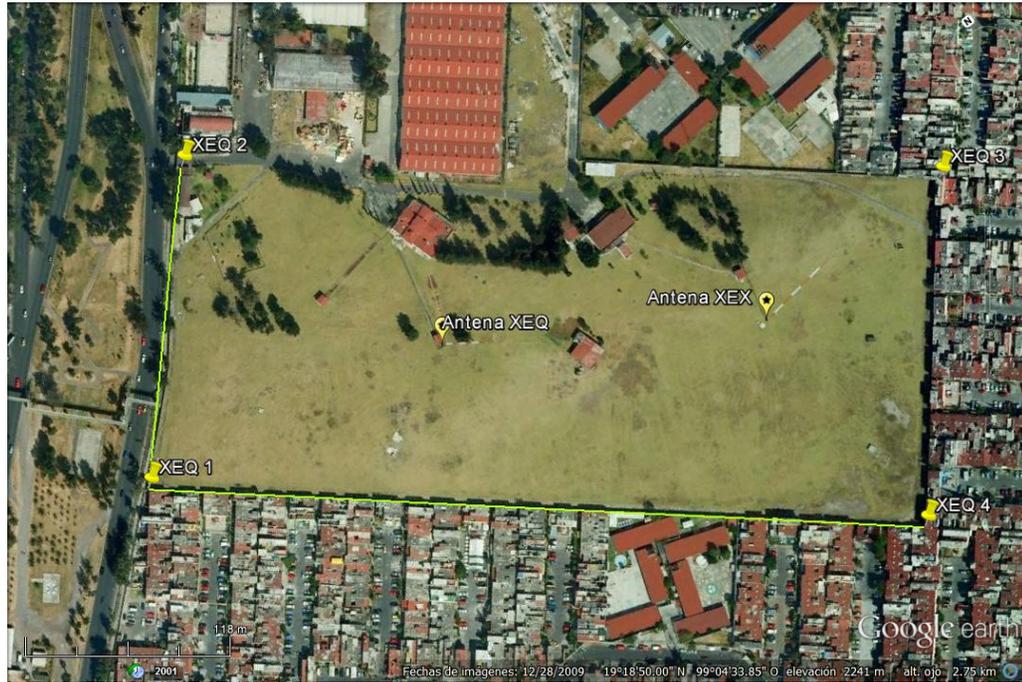


Figura 6.4: Terreno de la planta de transmisión de las estaciones de la Cadena Radiodifusora Mexicana

una tiene su propia antena. Sin embargo, ambas comparten el mismo terreno, por lo que las limitaciones de espacio para colocar radiales de cierta longitud afectarán a ambas antenas.

Para los radiales, se tomará como número de radiales los 120 marcados por la norma. El tamaño del terreno de esta planta transmisora es de 190 [m] x 450 [m] aproximadamente. La ubicación de las antenas se aprecia en la Figura 6.4. Considerando la ubicación en el terreno de la antena de la XEX, y tomando en cuenta que la antena es un monopolo de un cuarto de onda, lo que para $730[kHz]$ representa una longitud de $102,67[m]$, se concluye que es posible instalar radiales de un cuarto de longitud de onda o un poco más grandes, por lo tanto, ya que la antena y los radiales miden casi $\lambda_{730}/4$, el campo característico de esta estación es de:

$$E_C = 305 \left[\frac{mV}{m} \right] \quad (6.4)$$

Campo característico de XEQ ($f = 940[kHz]$)

Para esta estación, se estimará una antena de $\lambda_{940}/4$ representa una longitud de 79.73 [m]. Si observamos la ubicación de la antena dentro del terreno de la planta, se nota que si hay suficiente espacio para albergar radiales de la misma longitud, por lo que, considerando 120 radiales, resultaría en un valor de campo característico de:

$$E_C = 303,5 \left[\frac{mV}{m} \right] \quad (6.5)$$

Campo característico para Radio UNAM ($f = 860[kHz]$)

Para el caso de Radio UNAM (XEUN), la obtención del campo característico se hará con un poco más de precisión, dado que es el objeto de estudio del presente trabajo y se tiene acceso a más datos. Se empezará por obtener la altura de la antena.

Dado que se está diseñando la nueva planta de transmisión para que sea posible empezar a transmitir digitalmente, se deben tener en consideración las especificaciones mencionadas en el Capítulo 4. Una de estas especificaciones concierne a la impedancia de la antena. De acuerdo con iBiquity, la impedancia de la antena debe ser lo más cercana posible a 50[Ω] [20]. Esta característica limita el tamaño de la antena, ya que si se observa la gráfica de impedancia contra altura de la antena, incluida en el Apéndice E (Figura E.6) se puede ver que para que la antena cumpla con esta característica, la longitud eléctrica de la antena debe estar lo más cerca posible a 90°, lo que significa una altura de $\lambda/4$. Esta altura, para la frecuencia de la estación (860[kHz]) es de 87.15 [m]. El siguiente paso es obtener la longitud de los radiales. Dado que el terreno en el que se ha de instalar la nueva antena tiene unas dimensiones de 150 [m] x 100 [m] y la antena será instalada en el centro como se muestra en la Figura 6.5, los radiales que se instalen no podrán ser todos de 87.15 [m], o de un cuarto de onda. Se pondrán radiales que salgan de la antena y que lleguen a la frontera del terreno, para mejorar en lo posible las características de radiación, pero como dichos radiales no serán todos de la misma longitud, es necesario obtener una longitud promedio de estos, para estimar el campo característico. Para ello, se calculó la longitud de los radiales cada 15° para el primer cuadrante, dando los resultados de la Tabla 6.2

Además de los radiales cada 15°, se calculó la longitud de los radiales más grandes,



Figura 6.5: Ubicación de la antena en el nuevo terreno de la planta transmisora

Ángulo	Longitud del radial [m]
0°	50
15°	51.76
30°	57.73
45°	70.71
60°	86.6
75°	77.65
90°	75

Tabla 6.2: Dimensiones de los radiales cada 15° para Radio UNAM.

Estación	Frecuencia [kHz]	Longitud antena	Longitud radiales	E_C [mV/m]
XDTL	660	$0,25\lambda$	$0,19\lambda$	287.5
XEB	1220	$0,46\lambda$	$0,36\lambda$	395
XEX	730	$0,25\lambda$	$0,251\lambda$	305
XEQ	940	$0,25\lambda$	$0,25\lambda$	303.5
XEUN	860	$0,25\lambda$	$0,203\lambda$	290

Tabla 6.3: Campo característico de Radio UNAM y las estaciones cercanas.

que son los que van hasta la esquina del terreno. Estos radiales tienen una longitud de 90.14 [m]. Considerando estas medidas, y considerando además que éstas se repiten para los 4 cuadrantes, se obtiene una longitud promedio de radiales de 70.012 [m], lo que en longitudes de onda son $0,20\lambda_{860}$. Con estos valores, el valor de campo característico obtenido es:

$$E_C = 290[mV/m] \quad (6.6)$$

En la Tabla 6.3 se muestran los valores de campo característico calculados para Radio UNAM y las estaciones de transmisión cercanas.

Una vez que se han obtenido los campos característicos de las antenas cercanas, y que de alguna manera pudiera existir algún problema de interferencia, se procede a estimar el Área de bloqueo de cada estación.

6.2.2. Estimación de las Áreas de Bloqueo $1[V/m]$

El límite de campo que marca el perímetro del contorno de bloqueo está dado por $E = 1[V/m]$. Es una magnitud de campo grande, pero así debe ser dado el propósito de este contorno. El método de calcular la distancia a la cual se encontrará este límite de campo se explica en el Apéndice A. Dado que es un contorno delimitado por una magnitud de campo grande, se esperan distancias pequeñas, no mayores a 5 [km], por lo que se utilizó el método de conductividad homogénea. Se estima el radio de este contorno utilizando la potencia de transmisión diurna de cada estación (Tabla 6.1) y el campo característico de cada estación (Tabla 6.3), para poder utilizar la gráfica correspondiente. Con estos datos, se obtuvieron los radios de la Tabla 6.4.

Como se observa en la Tabla 6.4 hay dos cálculos para el caso de Radio UNAM, uno utilizando una potencia de $50[kW]$ y otro utilizando una potencia de $100[kW]$.

Estación	Frecuencia [kHz]	Distancia al contorno [km]
XEDTL	660	1.8
XEB	1220	2.45
XEX	730	2.5
XEQ	940	1.65
XEUN ([50kW])	860	1.7
XEUN ([100kW])	860	2.3

Tabla 6.4: Radios de las diferentes estaciones para el contorno de $1[V/m]$.

El primero es en caso de que se continúe con la potencia de transmisión actual, y el segundo para estudiar la viabilidad del cambio de estación de clase B a clase A. Para observar los alcances de estos contornos, y si es que existe algún problema de interferencia, se utilizó Google Earth para visualizar estos contornos en un mapa.

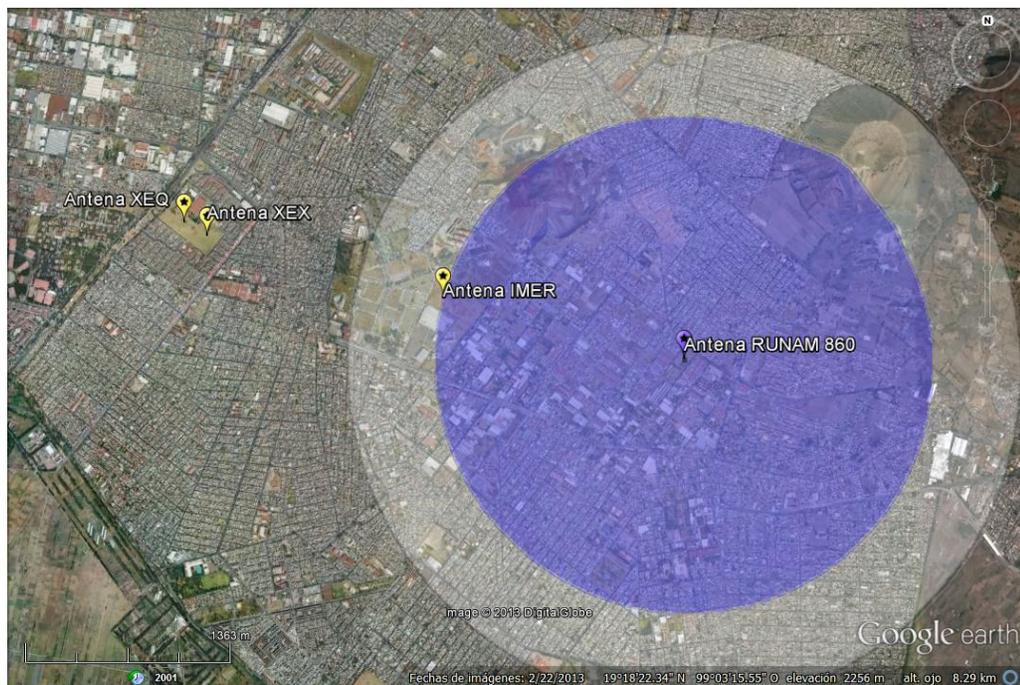


Figura 6.6: Contorno de $1[V/m]$ para Radio UNAM (50kW y 100[kW]).

Como se observa en la Figura 6.6, el contorno de Radio UNAM con una potencia de $50[kW]$ (de color morado) no presenta problemas con las antenas de la XEX y de la XEQ. Para la antena del IMER, ésta se encuentra justo en la orilla del contorno,

no está dentro del contorno, pero si está muy cerca de éste. Al observar la misma Figura 6.6, se observa que en el contorno de Radio UNAM para $100[kW]$ (de color blanco) la antena del IMER queda dentro del contorno de $1[V/m]$ lo que significa un posible problema para las estaciones del IMER. En caso de caso de transmitir con $100 [kW]$ habría que verificar si se producen interferencias al IMER, y en ese caso proveerles con un filtro de rechazo.

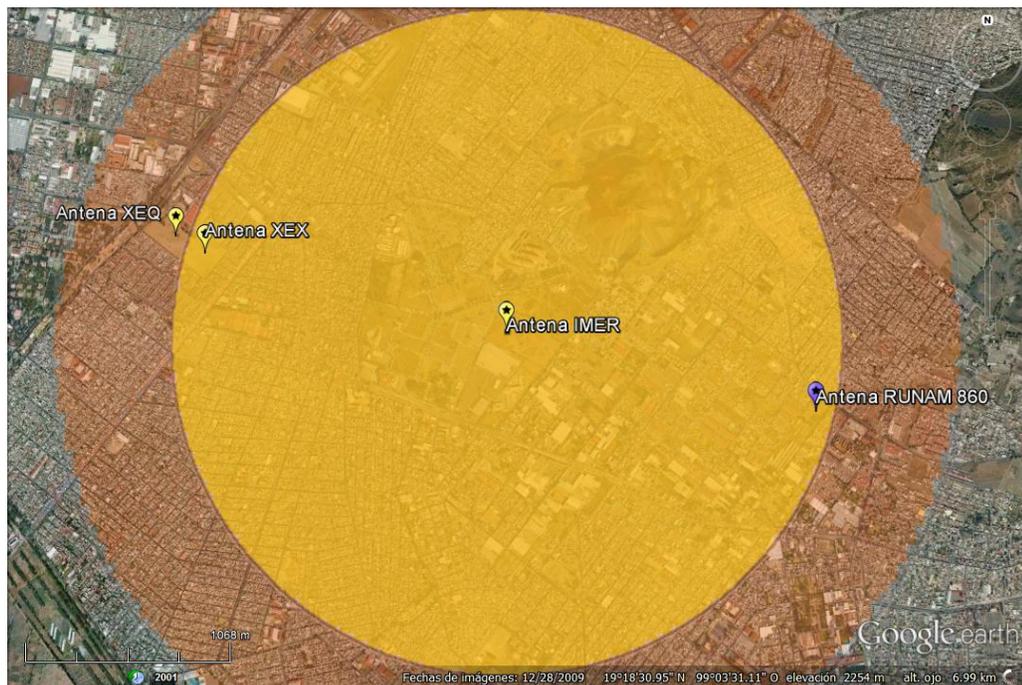


Figura 6.7: Contorno de $1[V/m]$ para las estaciones del IMER.

Ahora se observará si los contornos de las otras estaciones afectan a la antena de Radio UNAM. Al observar la Figura 6.7 se nota que existen problemas con las estaciones del IMER. La antena de Radio UNAM está dentro del contorno de ambas estaciones del IMER, la XDTL ($660[kHz]$) y de la XEB ($1220[kHz]$), por lo que la estación podría sufrir interferencias debido a estas estaciones.

Con las estaciones de la Cadena Radiodifusora Mexicana, la XEQ y la XEX, no existe ningún problema (Figura 6.8), ya que la antena de Radio UNAM queda fuera de los dos contornos de bloqueo de estas estaciones.

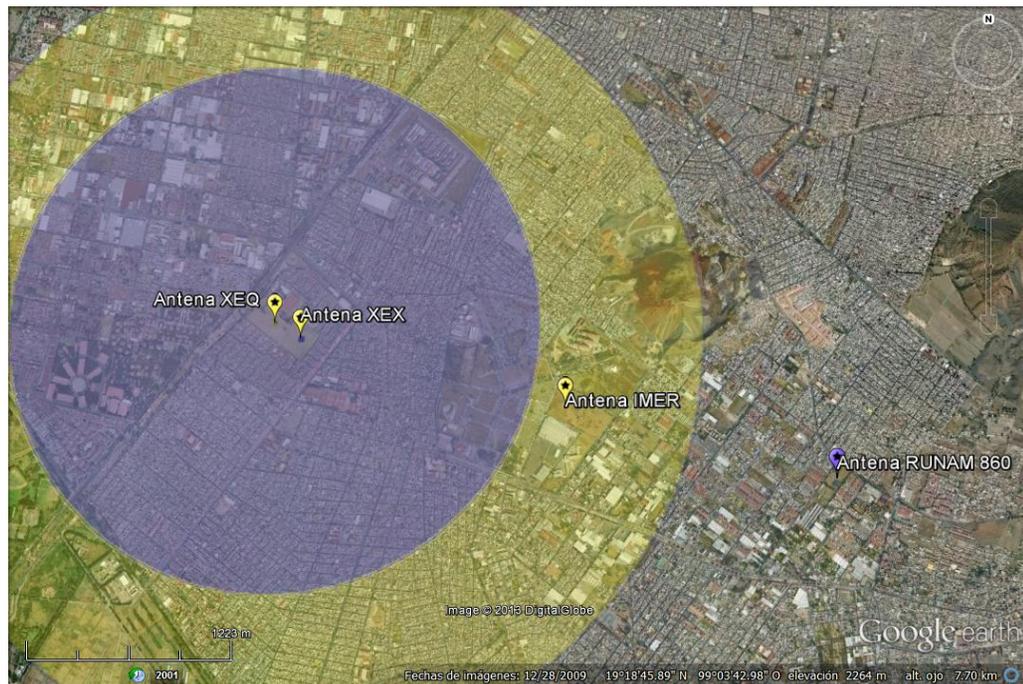


Figura 6.8: Contorno de $1[V/m]$ para las estaciones de la Cadena Radiodifusora Mexicana.

Si Radio UNAM decide colocar ahí su nueva planta de transmisión, debe estar consciente de que se pueden presentar interferencias y que es posible que deba invertir en las adaptaciones necesarias como filtros de rechazo, que no son más que filtros pasa-banda, con el fin de evitar éstas posibles interferencias. En cuanto al IFETEL, no se opondría siempre y cuando no se produzcan interferencias a las estaciones del IMER, ya que hay numerosos casos en esta misma situación solucionados a base de filtros de rechazo.

6.3. Estimación del Contorno Protegido Cocanal Diurno

Ya que contamos con el análisis del área de bloqueo, se calcularán otros contornos para Radio UNAM. Estos contornos no están relacionados con las plantas transmisoras cercanas, sino más bien con la posición de la estación dentro del es-

pectro. Los valores de campo que delimitan a cada contorno se encuentran definidos en la Norma Oficial Mexicana [16, p. 17] en la Tabla 2 de dicho documento. En esta tabla están los valores de campo de cada contorno, de acuerdo al tipo de estación. Se calcularán todos los contornos, protegidos e interferentes, del cocanal y de los 2 canales adyacentes, diurnos y nocturnos tanto para $50[kW]$ como para $100[kW]$, tal y como lo exige la normativa mexicana [16]. Los contornos diurnos se calculan para propagación por onda de superficie, mientras que los contornos nocturnos se calculan para propagación por onda ionosférica (50 % del tiempo). Para el cálculo de los contornos diurnos se utilizará principalmente el Método de Kirke para trayectos de conductividad no homogénea, aunque, cuando sea posible, se utilizará el método de conductividad homogénea, ambos descritos en los Apéndices B y A respectivamente. Esto se debe a que en ocasiones, el límite de campo del contorno a buscar cae dentro de la misma zona de conductividad donde se encuentra la antena, por lo que no se presentan cambios de conductividad en el trayecto. Entonces se puede aplicar el método de conductividad homogénea, más sencillo que el de Kirke.

Se calculará primero el Contorno Protegido Cocanal para $50[kW]$ y para $100[kW]$, es decir, el área de cobertura primaria que tendrá la estación con estas potencias. Antes de empezar, para poder utilizar el Método de Kirke se necesita saber la distancia de la antena de Radio UNAM al contorno de $3[mS/m]$ ya que la nueva antena se encontrará en una zona con esta conductividad (ver Figura B.2). Éstas distancias, que están calculadas en 8 direcciones radiales en base a la Figura E.1, de la forma explicada en el Apéndice B, se muestran en la Tabla 6.5. En esta tabla también se muestran las distancias para otros saltos de conductividad en las direcciones en las que esto ocurre. Para los casos donde no hay datos significa que dicha conductividad no aparece en esa dirección.

Ya que se cuenta con el valor de la distancia de la antena al contorno de la zona de $3[mS/m]$, las cuales serán ocupadas para todos los contornos, se procedió a calcular la longitud del radio del Contorno Protegido Cocanal en 8 direcciones. En algunas direcciones, la onda atraviesa 3 conductividades distintas, por lo que hubo que aplicar el método de Kirke para 3 conductividades. Se utilizaron los dos valores de potencia de $50[kW]$ y $100[kW]$ y el campo característico de $E_C = 290[mV/m]$ obtenido de

Dirección	Distancia al contorno [km]			
	3[mS/m]	4[mS/m]	5[mS/m]	2[mS/m]
Norte	74.5	-	-	-
Noroeste	25.4	50	-	27
Oeste	10.5	-	-	-
Suroeste	9.5	-	-	-
Sur	19	-	-	-
Sureste	40.7	-	-	-
Este	81	-	-	-
Noreste	91.5	-	-	-
XETW	76.5	81.5	123.5	-

Tabla 6.5: Distancia de la Antena de Radio UNAM a los contornos de diferente conductividad.

cálculos previos (Tabla 6.3). Con estos datos, se calcula el valor del Contorno P.C.D¹ que está delimitado por un valor de campo de $E = 0,5[mV/m]$ [16], obteniéndose los resultados mostrados en la Tabla 6.6. Este contorno es de especial importancia ya que delimita el área de servicio primaria (área de cobertura diurna).

Al igual que para el área de bloqueo, es necesario ver como convive éste contorno, con su contraparte, que es el Contorno Interferente Cocanal Diurno de otras estaciones AM que transmiten en el mismo canal $f = 860[kHz]$. Para poder calcular el contorno interferente cocanal de las estaciones que tienen la misma frecuencia que Radio UNAM, es necesario contar con los mismos datos técnicos que se utilizaron para las demás estaciones, es decir, la potencia y el campo característico y también la ubicación de la antena. Lamentablemente estos son datos que el IFETEL no proporciona en su página de internet, del IFETEL sólo se puede obtener la potencia y la población donde está ubicada la antena [12].

¹Protegido Cocanal Diurno

Dirección	Distancia al contorno $E = 0,5[mV/m]$	
	50[kW]	100[kW]
Norte	123.5	143.5
Noroeste	134.4	154.4
Oeste	136	154.7
Suroeste	134.8	154.8
Sur	133	153
Sureste	128.7	156
Este	123	143
Noreste	120.5	153.5

Tabla 6.6: Distancia de la Antena de Radio UNAM al Contorno Protegido Cocanal Diurno.

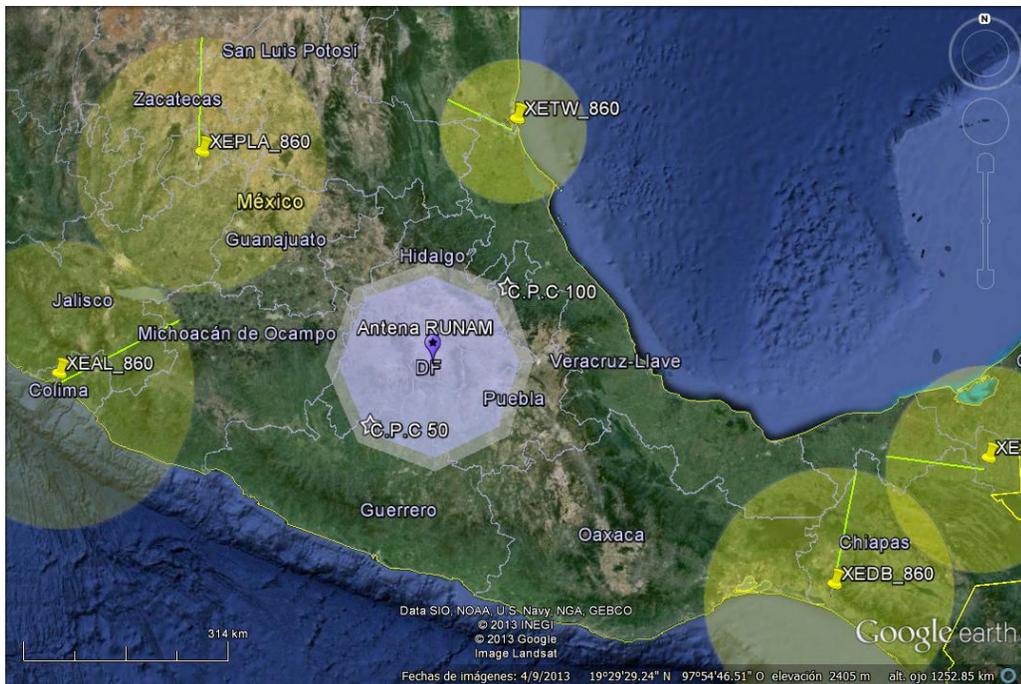


Figura 6.9: Contorno protegido cocanal diurno de Radio UNAM (50 [kW] y 100 [kW]) y contornos interferentes cocanales diurnos de otras estaciones a 860[kHz].

Afortunadamente para este trabajo, éstos datos sí son proporcionados por la Federal Communication Commission (FCC), el ente regulatorio en materia de telecomunicaciones de los Estados Unidos [3]. Además de estos datos, la FCC provee

datos más específicos como la potencia, el tipo del sistema radiador (direccional o no direccional), el número de torres para sistemas direccionales, y un dato muy importante para la estimación de contornos nocturnos, la longitud de la antena en grados eléctricos. Todos estos datos, así como las distancias de los radios de los diferentes contornos están recopilados en el Apéndice D de este trabajo. De la antigua COFETEL se obtuvieron el número de estaciones que trabajan a $860[kHz]$ y de la FCC, los datos restantes. Así fue posible calcular el contorno interferente cocanal diurno de estas otras estaciones, y poder ver con la ayuda de Google Earth, si existe alguna interferencia.

Todos estos resultados se muestran en la Figura 6.9. Como se puede observar, los contornos interferentes de las otras estaciones cocanal no tocan en ningún punto el contorno protegido cocanal de Radio UNAM ni el de $50[kW]$ ni el de $100[kW]$, por lo que no existe problema de que las demás estaciones cocanal interfieran a Radio UNAM.

6.4. Estimación del Contorno Interferente Cocanal Diurno

Pero, así como las otras estaciones cocanales pueden causar problemas a la estación de Radio UNAM, la estación de Radio UNAM también puede causar problemas a las otras estaciones cocanales, es por eso que debemos analizar el contorno interferente cocanal de Radio UNAM.

El cálculo de este contorno nos ayuda principalmente a ver si la estación en cuestión, para nosotros Radio UNAM, produce alguna interferencia a las demás estaciones cocanales del país. Se utilizaron los mismos datos proporcionados por la FCC y utilizados en el cálculo del contorno anterior. Para el cálculo de este contorno se utilizó una conductividad homogénea de $\sigma = 5[mS/m]$ que es la mayor conductividad encontrada en el trayecto de la onda. Se utilizó esta conductividad para realizar el cálculo para el peor caso, de esta manera, si no existe problema para esta conductividad, se asegurará que la estación no interfiere con ninguna otra. En caso de presentarse algún inconveniente con alguna estación, se analizará más a fondo el caso de dicha interferencia.

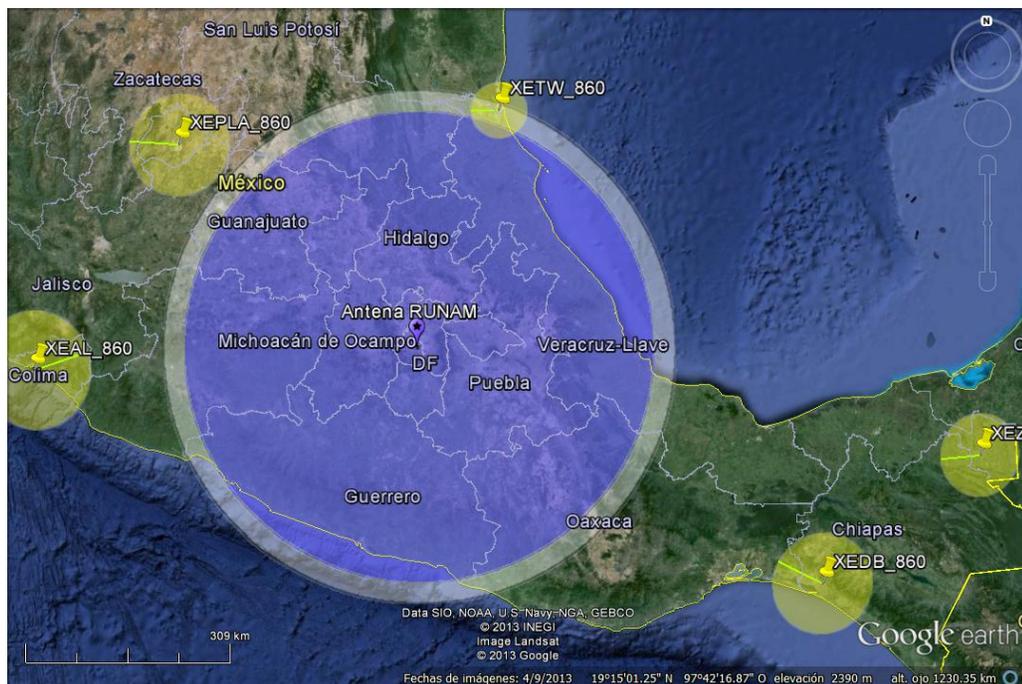


Figura 6.10: Contorno interferente cocanal diurno de Radio UNAM (50 [kW] y 100 [kW]) y contornos protegidos cocanales diurnos de otras estaciones a 860[kHz].

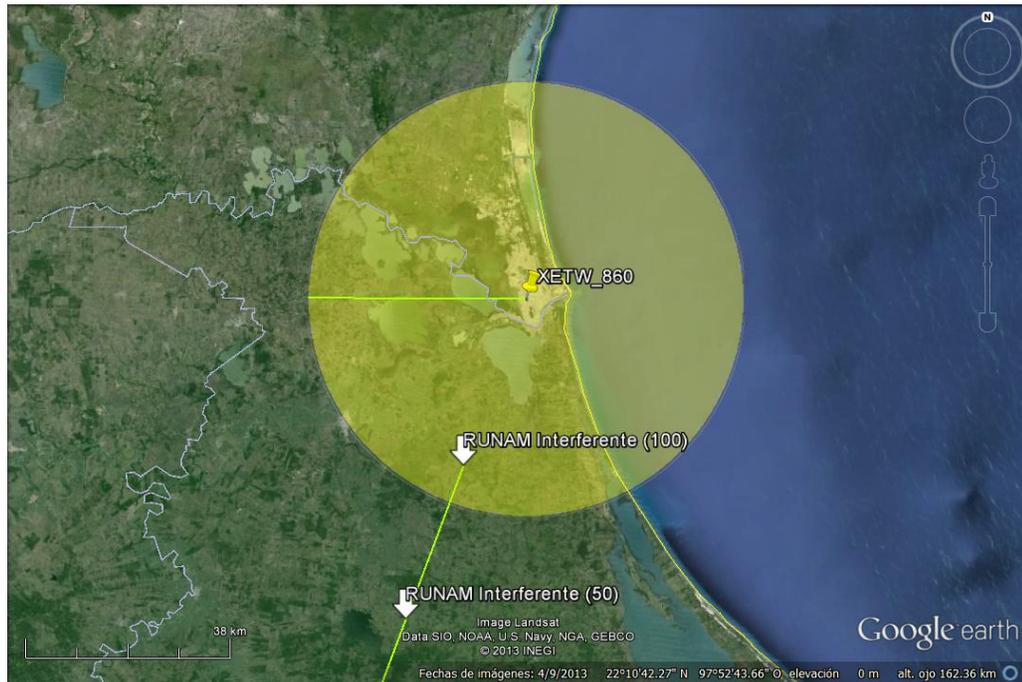


Figura 6.11: Interferencia con la estación XETW

El límite de campo que define este contorno es $E = 0,05[mV/m]$, y la distancia a este límite es de $330[km]$ para una potencia de $50[kW]$, y de $360[km]$ para $100[kW]$. Estos contornos se muestran en la Figura 6.10 en la cual también se observan los contornos protegidos de las demás estaciones cocanales. El único problema que se aprecia es con la estación XETW, con la cual, los contornos interferentes cocanal de Radio UNAM de ambas potencias interceptan el contorno protegido cocanal de esta estación. Para este caso, analizaremos la distancia de este contorno en la dirección de la estación XETW utilizando el método de Kirke, y por tanto con mayor precisión.

Para Radio UNAM, en dirección de la antena de la estación de la XETW se tiene un trayecto con cuatro conductividades: $\sigma_1 = 3[mS/m]$, $\sigma_2 = 4[mS/m]$, $\sigma_3 = 5[mS/m]$ y $\sigma_4 = 2[mS/m]$. Para la estación de la XETW sólo se presenta una conductividad en el trayecto de su señal que es de $\sigma = 2[mS/m]$, por lo que para esta estación no hubo que aplicar el método para diferentes conductividades. Se realizó el método de Kirke con las cuatro conductividades por las que atraviesa la señal de Radio UNAM, obteniéndose una distancia al Contorno Interferente Cocanal de $d = 286[km]$ para una potencia de $50[kW]$, y una distancia de $d = 316[km]$ para

100[kW]. Estas distancias se muestran como flechas blancas en la Figura 6.11, y se observa que el contorno interferente cocanal de 50[kW] no afecta en ningún punto al contorno protegido de la XETW, sin embargo, para el caso de 100[kW] se observa una clara interferencia con el contorno protegido cocanal de la XETW. Aunque el traslape es de sólo 7[km], que pareciera no ser una distancia considerable, siguiendo lo establecido en la norma, esta situación podría ser razón suficiente para que el IFETEL no autorice el aumento de potencia.

6.5. Estimación del Contorno Protegido Cocanal Nocturno

Ya que se ha analizado el comportamiento diurno de la estación, se procederá a analizar el comportamiento nocturno. Se sabe que durante la noche, además de la propagación por onda de superficie, aparece otro tipo de propagación conocido como onda ionosférica la cual se propaga a manera de rebote utilizando la ionósfera. Por lo tanto, para estimar la cobertura de la onda ionosférica se utiliza otro método descrito en la Norma Oficial Mexicana [16], el cual se describe en el Apéndice C de este trabajo. Sin embargo, también se debe considerar la propagación por onda de superficie, por lo que el contorno estará definido por el medio de propagación que dé como resultado una mayor cobertura.

Se empezará por estimar el Contorno Protegido Cocanal Nocturno ($E = 2,5[mV/m]$), que también es conocido como Área de Servicio Secundaria. El método para la propagación por onda ionosférica requiere de otros datos técnicos que son: la mayor distancia de cobertura diurna, la longitud de la antena en grados eléctricos, la potencia de transmisión nocturna, así como el campo característico de la estación. Los datos de Radio UNAM son datos de diseño, por lo que se cuenta con ellos. Para las demás estaciones cocanal, ya al igual que para el contorno diurno no basta sólo con tener la distancia de la cobertura sino es necesario observar si hay interferencia por parte de otras estaciones, éstos datos fueron obtenidos de la FCC [3].

Para este contorno es necesario realizar una consideración. Tanto para estaciones clase A y B, la potencia nocturna máxima permitida de acuerdo con la ley es de 50[kW] por lo que no hubo que realizar dos cálculos para dos potencias distintas. El



Figura 6.12: Contorno Protegido Cocanal Nocturno de Radio UNAM ($50[kW]$) y Contornos Interferentes Cocanales Nocturnos de las demás estaciones.

Contorno Protegido Cocanal Nocturno para Radio UNAM, que resultó tener un radio de cobertura de $80[km]$, está definido por la propagación por onda ionosférica, al igual que el Contorno Cocanal Interferente Nocturno de las otras estaciones cocanales ². Ahora, si se observa la Figura 6.12 se puede afirmar que no hay interferencia sobre Radio UNAM ocasionadas por las demás estaciones cocanales, ya que sus contornos interferentes quedan retirados del contorno protegido de Radio UNAM.

6.6. Estimación del Contorno Interferente Cocanal Nocturno

Ahora, se analizará si Radio UNAM puede provocar interferencias a otras estaciones cocanales. Para eso, se analizará el Contorno Interferente Cocanal Nocturno ($E = 0,125[mV/m]$) de Radio UNAM y los contornos Protegidos Cocanales Nocturnos de las otras estaciones.

²Los radios de cobertura de los contornos de estas estaciones están registrados en el Apéndice D

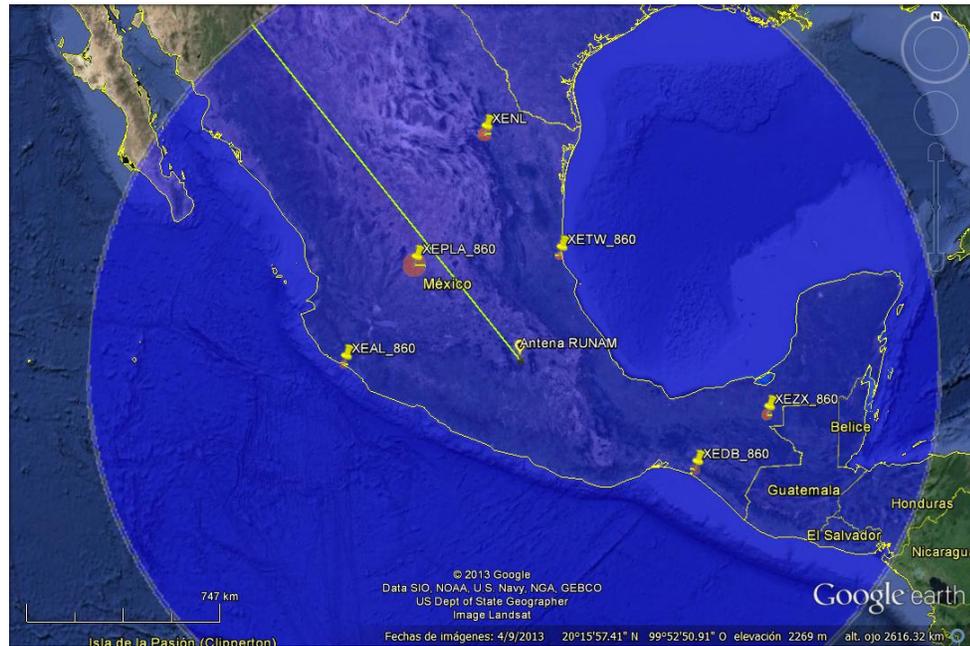


Figura 6.13: Contorno Interferente Cocanal Nocturno de Radio UNAM ($50[kW]$) y Contornos Protegidos Cocanales Nocturnos de las demás estaciones.

El contorno Interferente de Radio UNAM resultó tener un radio de cobertura de $1,400[km]$ con $50[kW]$ de potencia nocturnos. Es claro que habrá las otras estaciones estarán dentro de este contorno, ya que con esta cobertura se cubre prácticamente todo el país, como se puede observar en la Figura 6.13.

Actualmente, la potencia nocturna autorizada para Radio UNAM es de $10[kW]$, por lo que se decidió realizar el cálculo para esta potencia con el fin de observar el comportamiento actual de la estación. Para una esta potencia, el radio de cobertura del Contorno Interferente Cocanal Nocturno resulto ser de $925[km]$, que es una distancia menor que la anterior, pero no evita los problemas de interferencia con las demás estaciones, como se observa en la Figura 6.14.

Aunque no se eviten los problemas con las estaciones cocanales del país, con $10[kW]$ el contorno Interferente queda mayormente dentro del territorio nacional, abarcando por muy poco territorios de Texas y de Guatemala, mientras que con $50[kW]$ se abarca mayor territorio de EE.UU y Guatemala, y se llega a Honduras y El Salvador. Por lo tanto, la opción de $10[kW]$ como potencia de transmisión nocturna se establece como la más viable.

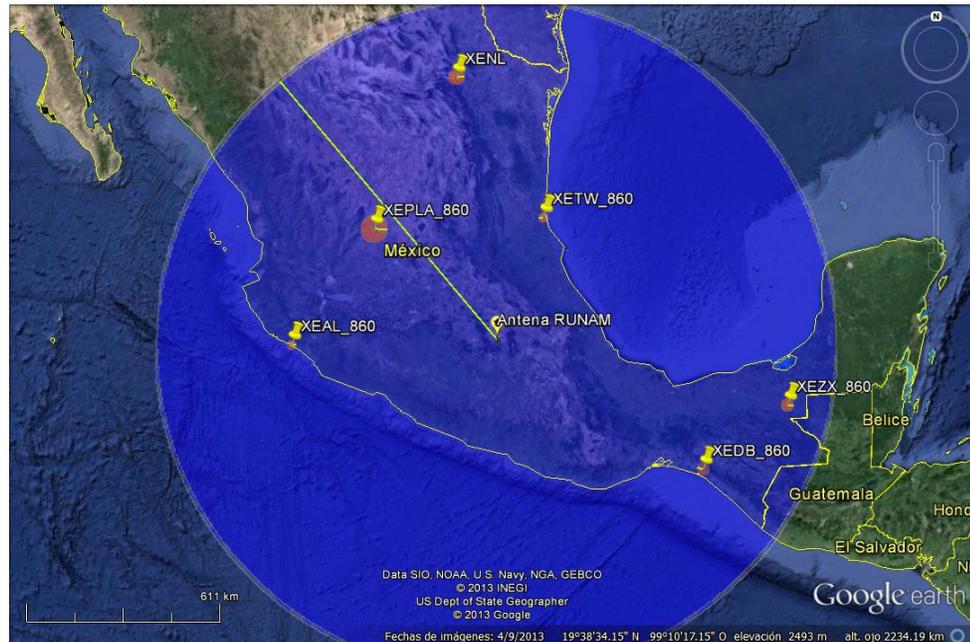


Figura 6.14: Contorno Interferente Cocanal Nocturno de Radio UNAM ($10[kW]$) y Contornos Protegidos Cocanales Nocturnos de las demás estaciones.

6.7. Estimación del Contorno Protegido e Interferente del Primer Canal Adyacente

Ya que se ha estudiado las interferencias de las estaciones cocanales, ahora se analizará que es lo que sucede con el primer canal adyacente, tanto superior como inferior, de Radio UNAM, es decir con las estaciones a las frecuencias $850[kHz]$ y $870[kHz]$. Estos contornos, protegido e interferente, están incluidos en un mismo apartado dado que la relación de protección es de $0 [dB]$, es decir, ambos contornos tienen por límite la misma intensidad de campo, $E = 1[mV/m]$.

En esta ocasión, para Radio UNAM se utilizó, como primera aproximación, una conductividad homogénea de $\sigma = 4[mS/m]$, que es la conductividad mayor presentada en el trayecto de la onda. Para las estaciones del primer canal adyacente, cuya información técnica fue obtenida de la FCC [3] y está contenida en el Apéndice D, se utilizó el mismo criterio, es decir, se usó la mayor conductividad del trayecto esperado.

Como se puede observar en la Figura 6.15, se presenta una situación de interferen-

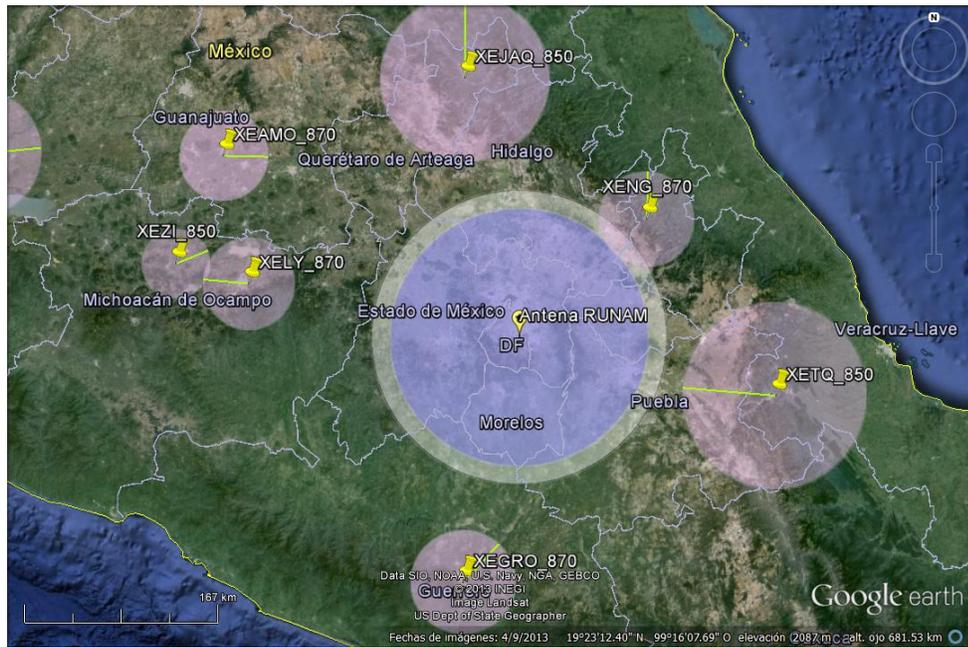


Figura 6.15: Contornos Protegido e Interferente de Radio UNAM ($50[kW]$ y $100[kW]$) y de las estaciones del primer canal adyacente.

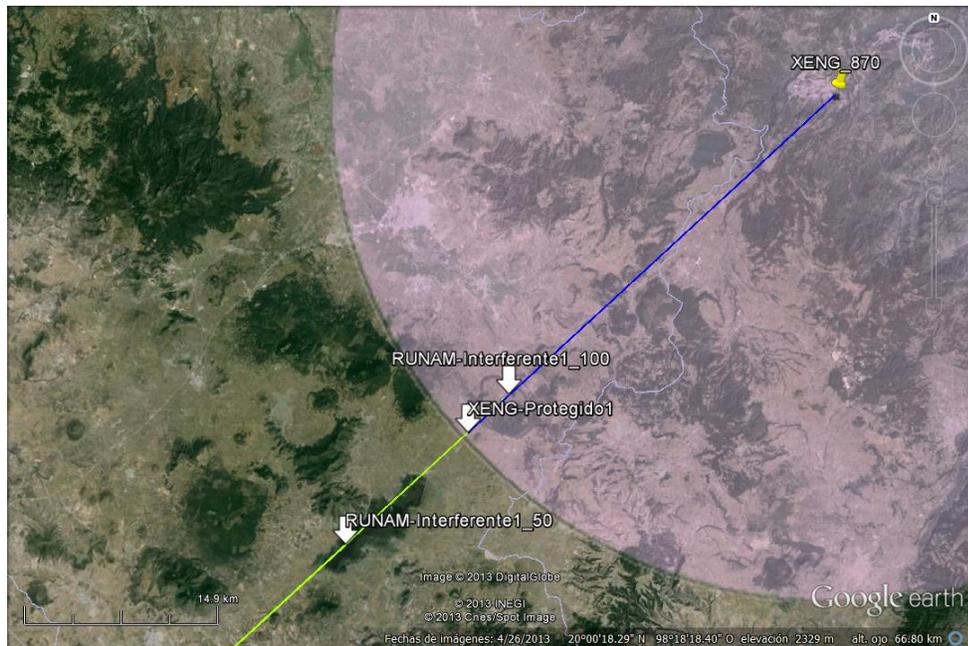


Figura 6.16: Análisis de interferencia de Radio UNAM con la estación XENG utilizando el método de Kirke.

cia con el contorno protegido de la estación XENG a $870[kHz]$, con ambos contornos interferentes de Radio UNAM. El de $50[kW]$ pareciera coincidir solo con la orilla del contorno de la XENG, mientras que el contorno de Radio UNAM de $100[kW]$ sí se traslapa con el de la XENG. Es por eso que esta dirección se realizará un análisis más a detalle utilizando el método de Kirke para ambas estaciones.

Al observar los resultados del método de Kirke en la Figura 6.16 se aprecia que el contorno Interferente de Radio UNAM para $50[kW]$ no toca en ningún punto al contorno protegido de la estación XENG. Sin embargo, para el caso de $100[kW]$ éste si toca el contorno de la XENG. Aunque en área en el que se superponen ambos contornos es pequeña, la interferencia existe. Hasta ahora, la opción de $50[kW]$ es la que no presenta problema alguno, aunque no hay que descartar la otra opción ya que hay otras consideraciones que influyen en esta toma de decisión y que serán tratadas en los capítulos posteriores.

6.8. Estimación del Contorno Protegido e Interferente del Segundo Canal Adyacente

En este apartado se analizará el comportamiento de la estación con las estaciones de los segundos canales adyacentes, $840[kHz]$ y $880[kHz]$. Los datos técnicos de estas estaciones fueron obtenidos de la página de la FCC [3], y están contenidos en el Apéndice D. Al igual que para el contorno anterior, la relación de protección entre el contorno protegido y el interferente es de 0 [dB], por lo que el límite de estos contornos es el mismo y en este caso es de $E = 25[mV/m]$.

Dado que es un contorno cuyo límite de campo es relativamente alto, éste contorno cae siempre en zonas de conductividad homogénea, por lo que no hubo necesidad de utilizar el Método de Kirke. Al mismo tiempo, como el límite de campo es grande, se esperaban contornos pequeños, los cuales se pueden apreciar en la Figura 6.17. No aparecen todas las estaciones que están en la Tabla D.4 ya que éstas están lejos y sus contornos son pequeños, por lo que no afectan, bajo ninguna circunstancia a Radio UNAM. Por lo tanto, se concluye que para los segundos canales adyacentes no se presenta ningún problema.



Figura 6.17: Contornos Protegidos e Interferentes del segundo canal adyacente de Radio UNAM y de las estaciones del segundo canal adyacente.

6.9. Posibles Interferencias con IBOC

Como se sabe, el estándar de Radio Digital Terrestre adoptado por México es IBOC³ [1]. En este estándar existe un modo de transmisión denominado "Híbrido", el cual tiene por objetivo funcionar durante la transición a una Radio totalmente digital, ya que en este modo es posible transmitir la señal analógica actual, y la misma señal bajo el estándar digital. Sin embargo, todo en telecomunicaciones consume un ancho de banda, y este modo híbrido no es la excepción. IBOC está diseñado para que utilice el mismo ancho de banda que el actual asignado a cada estación de radio sólo cuando se haya completado la transición digital y el apagón analógico de radio se haya dado. Mientras tanto, las estaciones están obligadas a realizar transmisiones híbridas, para las cuales IBOC necesita un mayor ancho de banda que el actualmente asignado. Actualmente se tiene asignado un ancho de banda de $BW = 20[kHz]$, pero para la transmisión híbrida se necesita un ancho de banda de $BW = 30[kHz]$, lo que implica un aumento de $10[kHz]$. La forma de señal híbrida se aprecia en la Figura

³El nombre comercial es HD Radio

6.18

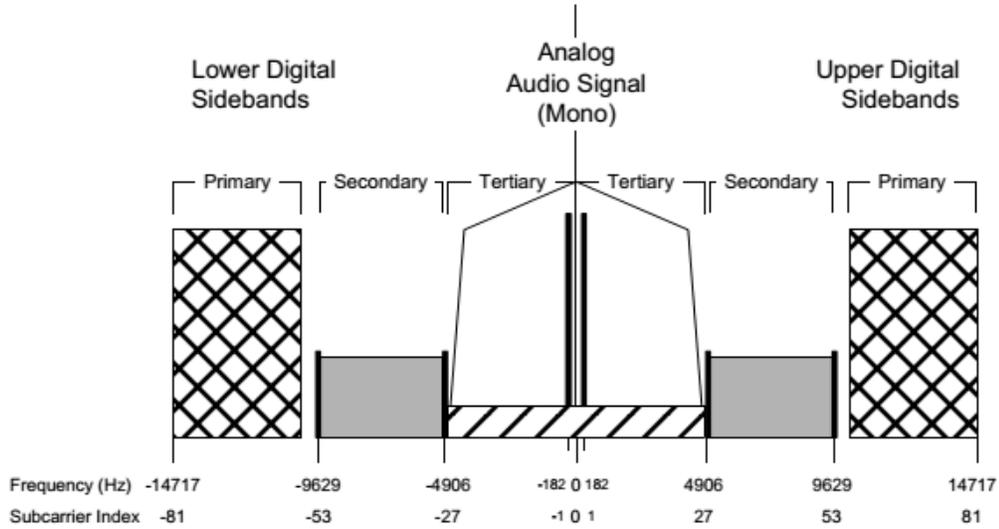


Figura 6.18: Espectro de la forma de onda híbrida de IBOC AM [21].

En un principio, este aumento de ancho de banda se soluciona con la utilización de las bandas de guarda, sin embargo, para Radio UNAM surge un problema mayor. En el Distrito Federal, las estaciones de frecuencia mas cercana a la frecuencia de Radio UNAM son las de la frecuencia $830[kHz]$ y la de $900[kHz]$. Lo primero que se nota es que la estación inferior sólo está separada $30[kHz]$ de la de Radio UNAM, mientras que la estación superior tiene una separación de $40[kHz]$. El problema se presenta con la estación inferior.

El ancho de banda del modo de transmisión híbrido para Radio UNAM abarcaría las frecuencias $845-875[kHz]$. Para la estación a $900[kHz]$, el ancho de banda híbrido abarcaría las frecuencias $885-915[kHz]$. Mientras que para la estación a $830[kHz]$, el mismo ancho de banda abarcaría $815-845[kHz]$. Con la estación a $900[kHz]$ no existe ningún problema ya que incluso si ambas estaciones, 860 y 900 , se digitalizaran al mismo tiempo, se tiene una banda de guarda de $10[kHz]$. El problema surge con la estación a $830[kHz]$, ya que si esta estación digitaliza su señal, no habría una banda de guarda entre las dos señales, lo que resultaría muy probablemente en interferencias para ambas estaciones.

Para poder analizar si hay interferencias se necesitaría conocer los márgenes de protección para ese caso, que no son de carácter público, ya que se trata de un

estándar privado. Aunque también influirían datos técnicos de las estaciones como la potencia con la que transmiten y algunos más.

Soluciones a esta interferencia hay muchas. Una de ellas puede ser el cambio de frecuencia de Radio UNAM de $860[kHz]$ a $865[kHz]$, de esta manera se tendrían bandas de guarda, superior e inferior, de $5[kHz]$, pero un cambio de frecuencia no es bien visto por los radiodifusores ya que implicaría una pérdida de escuchas, que tal vez a Radio UNAM no sea de interés económico, pero si es de interés cultural. Además, legalmente se estaría fuera de los canales actuales que van de $10 [kHz]$ en $10 [kHz]$, además de que en la actualidad algunos receptores modernos sólo sintonizan de 10 en $10 [kHz]$. Otra solución puede ser pasar de transmisión puramente analógica a puramente digital, sin pasar por el modo híbrido, esto después de que la radio digital este completamente o casi completamente introducida, y este por darse el apagón analógico de Radio. Otra solución se basa en el hecho de que las estaciones de AM pueden solicitar un canal de FM para transmitir, y después dejar la frecuencia de AM. La solución radica en que la estación de $830 [kHz]$ solicite su cambio a FM y no transmita digitalmente en AM, algo poco probable ya que no hay frecuencias libres en FM al menos en el D.F. La solución sería ganarle la partida a la estación de $830 [kHz]$, digitalizar Radio UNAM antes que ésta estación se digitalice y dejar que la otra estación solucione este problema por ella misma.

Pero incluso antes de empezar a pensar en soluciones es necesario realizar el análisis de interferencias posibles, ya que puede suceder que no sea necesario realizar ninguna acción, ya que las señales digitales son más robustas. Pero mientras tanto, las autoridades de Radio UNAM deben estar al tanto de este problema.

Capítulo 7

Evaluación del aumento de potencia a 100 [kW]

En este capítulo se hablará de las ventajas y desventajas del aumento de potencia de la estación de Radio UNAM que se han encontrado a lo largo de la realización de esta tesis. Hay una serie de aspectos, tanto técnicos como económicos y legales, que han dado ya sea un punto a favor o un punto en contra a la posibilidad de un aumento de potencia, de los cuales, se hablará en este capítulo.

1. Cobertura

La cobertura es una de las principales características que se ven afectadas con el cambio de potencia, y es, sin duda, la razón principal para este aumento de potencia. El aumento de área es mínimo, ya que el radio del área de cobertura aumenta sólo 20 [km], sin embargo, en este aumento se incluyen varios centros poblacionales a los cuales antes no llegaba la señal de Radio UNAM, algunos muy importantes como Ixmiquilpan y Tula en el estado de Hidalgo. Además de esto, se aumenta el área cubierta de ciertos estados como Tlaxcala, Hidalgo, el Estado de México, Guerrero y Puebla, lo que significa un aumento considerable de radio escuchas ya que estos estados, de acuerdo con el INEGI, tienen una alta densidad de población [10]. Por lo que se observa, aun cuando el aumento de área no es tan grande como se esperaba, el aumento de oyentes puede llegar a ser de una cifra importante.

Se podría aumentar la cobertura aumentando el tamaño de los radiales que afecta directamente la magnitud del campo característico de la estación, pero éstos no pueden ser modificados de tamaño ya que las dimensiones del terreno no lo permiten, y no es posible hacer un cambio de terreno ya que el terreno ya ha sido elegido. También se podría aumentar el número de radiales, ya que esto aumentaría las características de radiación de la antena aunque no se sabe en qué magnitud, ya que la gráfica para estimar el campo característico (Figura E.4) sólo dice que pasa si se utilizan menos de 120 radiales, no dice que sucede cuando se utilizan más de 120, pero lo más seguro es que el campo característico aumente. Otra opción para combatir este inconveniente es aumentar la altura de la antena, lo cual aumentaría su impedancia de entrada, lo que ocasionaría problemas para la transmisión digital, que necesita una antena de impedancia de entrada lo más cercana a $50[\Omega]$ [20].

Sin embargo, a pesar del poco aumento de área de Servicio Primaria, al aumentar la potencia se ganaría en recepción y en número de radio escichas, ya que en los lugares en los que no se escuchaba la estación o había problemas de recepción, con un aumento de potencia se podrían solucionar dichos problemas. La cobertura no sólo es medida en área, sino también en tiempo, haciendo que con un aumento de potencia se logre una mejor recepción en el área de cobertura y donde antes la señal no se escuchaba bien, ahora si lo haga. Sumándole a esto un aumento importante de oyentes al abarcar poblaciones importantes.

2. Interferencias

Las interferencias son un punto en contra para este posible aumento de potencia, y es que con $100[kW]$ de potencia se presentan interferencias tanto en el cocanal con la estación XETW, como en el primer canal adyacente con la estación XENG. En ambos casos existe un traslape del contorno interferente de Radio UNAM (cocanal y primer canal adyacente) con los contornos protegidos de estas estaciones. Aunque el traslape de dichos contornos es mínimo, del orden de 5 [km], este existe, aunque la zona en la que ocurre este traslape, en ambos casos, no es en centros poblacionales, o al menos el contorno interferente de Radio UNAM no abarca los centros principales de servicio de estas estaciones.

Sin embargo, de acuerdo con el Subdirector de Ingeniería de Radio UNAM, aunque en la norma oficial no se mencione, existe un cierto rango de tolerancia para interferencias, el cual puede ser aplicado en estos casos y de esta manera no se descartaría la opción de 100[kW].

Otro tipo de interferencia que se presenta es con el área de bloqueo, y en este caso, la interferencia es mutua con las estaciones del Instituto Mexicano de la Radio, ya que con una potencia de 100[kW] el área de bloqueo cubre la antena de las estaciones del IMER, y lo mismo pasa con la antena de Radio UNAM que queda dentro del área de bloqueo de las dos estaciones que son transmitidas en esta antena. Sin embargo, este problema puede ser solucionado con filtros de rechazo, por lo que no tendría impacto en la decisión del aumento de potencia.

La presencia de éstas interferencias, principalmente las del cocanal y del primer canal adyacente, no son razón para descartar el aumento de potencia, y esto debido a una gran razón. Ambas estaciones, tanto la XETW (860 [kHz]) y la XENG (870 [kHz]), son estaciones que operan en modo "combo", es decir, tienen una frecuencia asignada en la banda de FM [13], con la condición de que después de cierto tiempo dejen de transmitir en AM.

La frecuencia en FM de la XETW es 107.1 MHz (XHTW) que de acuerdo al documento de infraestructura de las estaciones de FM presentado por el IFETEL [13], esta estación es un cambio de frecuencia de la estación XETW-AM, la estación cocanal a la que Radio UNAM provoca interferencia cocanal con una potencia de 100 [kW]. La frecuencia en FM de la estación XENG es 97.5 [MHz] (XHENG) y es producto de un cambio de frecuencia de la estación XENG-AM [13], que es la estación del primer canal adyacente a la que Radio UNAM interfería con 100 [kW]. Pero mientras estas estaciones no dejen sus transmisiones en AM, Radio UNAM no podrá transmitir a 100 [kW], sin embargo, se recomendó buscar una potencia mayor a 50 [kW] y menor a 100 [kW], con la cual estas interferencias no existieran. La potencia, estimada utilizando el método de Kirke resultó ser de 80 [kW], con esta potencia, las interferencias con la estación XETW y con la estación XENG, desaparecen.

Tarde o temprano, posiblemente en lo que es aprobado el presupuesto de este proyecto, éstas estaciones dejarán de transmitir en AM, lo que le conviene a

Radio UNAM, ya que significa la desaparición de estas estaciones de AM y por consiguiente la desaparición de las interferencias con 100 [kW].

3. IFETEL

La parte legal es otro aspecto que hay que discutir, porque en cualquier caso, hay que solicitar la autorización de la institución regulatoria, el IFETEL, para que autorice no sólo el cambio de potencia, si no todo el proyecto, desde el cambio de ubicación de la planta transmisora. Se debe entregar al IFETEL la solicitud del aumento de potencia, y este se encargará de realizar los análisis de cobertura con un software especializado, mucho más preciso que el método utilizado, y dará su dictamen si es posible aumentar la potencia.

Es necesario recalcar que las herramientas de estimación de cobertura que debe poseer el IFETEL darán resultados más precisos, por lo que es posible que las interferencias que aquí se mencionan con el cocanal y con el primer canal adyacente no aparezcan o tal vez sean mayores o esten dentro de un margen de error y tolerancia marcado por el IFETEL.

Sin embargo, con la información de que éstas estaciones ya cuentan con una frecuencia en FM, estas interferencias pasan a segundo plano. Es posible que mientras estas estaciones, la XETW y la XENG, sigan operando en AM, Radio UNAM sólo sea autorizada a transmitir con 80 [kW], potencia para la cual no se presentan estas interferencias, y una vez que estas estaciones, la XETW y la XENG completen su transición a FM y apaguen su transmisión en AM, Radio UNAM ya pueda transmitir con 100 [kW]. Dependerá del IFETEL como emita su resolución.

4. Económico

Se ha llegado a lo que tal vez sea el aspecto más importante a considerarse en la decisión del aumento de potencia, el factor dinero. La cuestión es simple, si hay presupuesto suficiente como para adquirir un transmisor de 100[kW], entonces no se descartaría la opción de un aumento de potencia a 100 [kW] y se buscarían todos los medios técnicos y legales para solucionar los problemas de interferencia. La diferencia entre un transmisor de 50[kW] y un transmisor de 100[kW] son casi \$ 200,000.00 dólares, que es una suma fuerte de dinero.

Si a eso le añadimos el transmisor auxiliar para 100 [kW], el aumento sería de \$ 350,000.00 USD. Por ello, hay que conocer el presupuesto para saber si alcanza para la adquisición de un transmisor de 100 [kW].

5. Conclusión

La opción de 100[kW] diurnos se plantea como la principal opción de este proyecto por las ventajas en cobertura tanto en área (no muy significativas), como en tiempo y número de radio escuchas. Los problemas de interferencia desaparecerán en un tiempo, por lo que ya no son asuntos por lo que haya que preocuparse. Incluso, pueden estudiarse opciones para aumentar el área de cobertura, como aumentar el número de radiales, y aunque esto signifique contornos interferentes y protegidos más grandes, no habrá ningún problema, ya que por ejemplo, las estaciones XETQ (850 [kHz]) y XEJAQ (850 [kHz]), que son las estaciones más cercanas a Radio UNAM (en cuanto a contornos protegidos del primer canal adyacente: Figura 6.15) también les ha sido autorizada su frecuencia en la banda de FM, XHTQ en 101.3 [MHz] y XHJAQ en 107.1 MHz, por lo que estas posibles interferencias que al aumentar el campo característico de Radio UNAM pudieran aparecer, también desaparecerán en un tiempo. Lo mismo pasa con la estación cocanal XEPLA (860 [kHz]), cuyo contorno protegido cocanal está muy cerca del contorno interferente cocanal de Radio UNAM, sin embargo, esta estación ya cuenta con una frecuencia en FM, la 91.3 [MHz] con siglas XHPLA. Las interferencias ya no juegan un papel determinante en la decisión del aumento de potencia, a final de cuentas este cambio de potencia será definido por el factor dinero principalmente.

Capítulo 8

Trámites Legales

Otra parte importante del proyecto, aparte de la parte técnica y financiera, y se podría pensar que más importante que éstas dos, es la parte legal. Es simple, si la institución regulatoria de las telecomunicaciones en México, hoy IFETEL antes COFETEL, no aprueba el proyecto, no se podrá seguir adelante con el mismo aun cuando el presupuesto haya sido aprobado, y los análisis técnicos muestren que el proyecto es viable en todos los sentidos.

Se deben cumplir con una serie de trámites que son solicitados por el IFETEL y que son mencionados en la Norma Oficial Mexicana [16]. Esta serie de trámites deben realizarse ante el IFETEL, algunos primero que otros, pero la mayoría pueden realizarse simultáneamente. La COFETEL, hoy IFETEL, debe tener un control sobre todos los usos del espectro radioeléctrico, por lo que la radiodifusión esta completamente regulada por esta institución. Cada estación de AM o FM está registrada con sus características técnicas por lo que cualquier modificación en estas características debe ser informada ante la ley, y debe haber una aprobación de la misma institución regulatoria para que la empresa a cargo de la estación pueda llevar a cabo dichas modificaciones.

Son varios trámites que hay que tomar en consideración para el proyecto, cada parte de éste tiene sus trámites, la parte civil y la parte eléctrica tienen trámites muy específicos ante otras instituciones. Este capítulo sólo abarcará los trámites necesarios o que tienen que ver con la instalación del sistema de transmisión. Los trámites que el IFETEL menciona en la Norma, por alguna razón, no se encontraban

en la antigua página de la COFETEL, por lo que se tuvieron que buscar en otra fuente. La descripción de los trámites necesarios fue encontrada en la página del "Registro Federal de Trámites y Servicios" a cargo de la Comisión de la Mejora Regulatoria COFEMER [18], que es una institución en la que uno de sus objetivos es ser la base de datos de absolutamente todos los trámites legales ante cualquier institución federal, haciendo relativamente fácil encontrar todos los trámites de la COFETEL, hoy IFETEL.

Se empezará por citar los trámites que tienen mayor prioridad, los que deben ser tramitados primero, y después se continuará con los demás trámites que deberán ser realizados una vez aprobados los primeros.

8.1. Autorización de Emplazamiento de Elementos Radiadores

El primer trámite que se analizará no es parte del IFETEL, es un trámite que se realiza ante la Dirección General de Aeronáutica Civil pero que es solicitado por la COFETEL (IFETEL) para autorizar el cambio de una planta transmisora. El trámite es "Autorización de Emplazamiento de Elementos Radiadores en el Territorio Nacional" y la descripción de éste se tomó de una Circular Obligatoria [17] enviada a todas las radiodifusoras.

El primer trámite a realizar, ya que los trámites siguientes piden la autorización otorgada mediante este trámite como un requisito para otros trámites.

Responsable: Dirección General de Aeronáutica Civil.

Solicitante: Concesionarios y Permissionarios de Estaciones de Radio AM.

Causa: Al existir interés en obtener una autorización de altura y balizamiento en aspectos técnicos aeronáuticos, para la instalación de elementos radiadores elevados para cualquier servicio de telecomunicaciones.

Medio: Se debe presentar por medio de escrito con formato predeterminado, original y copia.

Información requerida: El interesado deberá presentar un escrito original de acuerdo al formato establecido en el apéndice A de la circular (Figura E.7), debiendo contar con la firma autógrafa del representante legal, anexando copia del poder otorgado por la institución. Toda documentación del proyecto deberá ser presentada en hojas membretadas de la razón social, de la persona física o moral que solicita el trámite.

Documentos anexos: Deben incluirse 2 carpetas, original y copia, con los siguientes documentos:

1. Carátula de acuerdo al apéndice B de la circular (Figura E.8).
2. Memoria de cálculo de las coordenadas geográficas del sitio en sistema WGS-84, latitud, longitud y elevación del sitio en metros sobre el nivel del mar.
3. Plano de localización geográfica del sitio propuesto de ubicación del elemento radiador en una carta topográfica del INEGI en escala 1:50,000. Debe incluirse la información de acuerdo al apéndice C de la circular (Figura E.9).
4. Plano en corte con acotación de la altura total de la estructura del elemento radiador, incluyendo pararrayos.
5. Memoria de análisis de superficies limitadoras de obstáculos del aeropuerto, aeródromo o helipuerto de referencia.
6. Todas las memorias y planos deberán ser firmados por el responsable del proyecto y/o peritos en materia de Ingeniería Aeronáutica, Telecomunicaciones, Electrónica, Civil o Arquitectura, señalando su número de registro.

8.2. Autorización de modificación a las características técnicas de operación de estaciones y equipos de radio y televisión

Este trámite es establecido por la COFETEL, y el cual tiene la homoclave COFETEL-11-017 [18]. En este trámite se abarcan varias modalidades para cubrir

todas las ramas de la radiodifusión (AM, FM y Televisión). Para este trabajo, sólo son de interés 2 de ellas, la modalidad "C" referente a la ubicación de las estaciones de AM y la modalidad "F" que abarca los cambios de frecuencia y de potencia.

8.2.1. Ubicación de estaciones de radio AM

La homoclave de este trámite es COFETEL-11-017-C [7], y prácticamente con el nombre, se puede dar una idea a que se refiere, aunque se dara una explicación más amplia de los requerimientos para cumplir con este trámite. Éste trámite debe ser tramitado después de la autorización de emplazamiento de la antena por parte de la Dirección General de Aeronáutica Civil, ya que, como se describe adelante, es un requerimiento por parte del IFETEL para poder iniciar el trámite.

Responsable: Unidad de Sistemas de Radio y Televisión.

Solicitante: Concesionarios y Permisionarios de Estaciones de Radio AM.

Causa: Se solicitará cuando se pretenda reubicar una planta transmisora anteriormente instalada o cuando se pretenda instalar un equipo transmisor de emergencia de la emisora correspondiente.

Medio: Se debe presentar por medio de escrito libre, original y copia.

Información requerida: Debe incluirse el nombre o razón social de quien promueve, domicilio para recibir notificaciones y nombre de la persona autorizada para recibirlas. La petición debe incluir los hechos o motivos de la misma; el órgano administrativo a quien se dirigen, lugar y fecha de su emisión. Debera incluir la información siguiente: distintivo de llamada, ubicación del equipo transmisor principal de la estación de radio AM, frecuencia, hechos y razones que dan motivo a la solicitud, y deberá estar firmada por el interesado o el representante legal. Incluir coordenadas geográficas de la ubicación del equipo que pretende instalar (Latitud Norte y Longitud Oeste).

Monto: El costo del trámite es de \$ 4,997.00 mn. Los permisionario pagarán el 50 % del monto.

Documentos anexos: Deben incluirse el plano del terreno avalado por una unidad de verificación o por un perito en telecomunicaciones con especialidad en radiodifusión con registro vigente (original y copia). Plano de ubicación avalado por una unidad de verificación o por un perito en telecomunicaciones con especialidad en radiodifusión con registro vigente. La escala de 1:50,000 es lo aceptado por la Dirección General de Aeronáutica Civil, dado que con dicha escala se pueden realizar los análisis que requiere el artículo 35 del Reglamento de la Ley de Aeropuertos.

Plazo de respuesta: 3 meses máximo, aunque puede verse afectado por razones de coordinación de frecuencias a nivel internacional.

8.2.2. Frecuencia o potencia en estaciones de AM

Este trámite se encuentra en el Registro Federal de Trámites y Servicios bajo la homoclave COFETEL-11-017-F [6], y es necesario para poder realizar el cambio de clase de estación para poder aumentar la potencia de transmisión; puede ser tramitado al mismo tiempo que el trámite para el cambio de ubicación, para que el análisis realizado por las autoridades sea en conjunto.

Responsable: Unidad de Sistemas de Radio y Televisión.

Solicitante: Concesionarios y Permisionarios de Estaciones de Radio AM.

Causa: Se solicitará cuando se pretenda modificar la potencia de la emisora correspondiente.

Medio: Se debe presentar por medio de escrito libre, original y copia.

Información requerida: Debe incluirse el nombre o razón social de quien promueve, domicilio para recibir notificaciones y nombre de la persona autorizada para recibirlas. La petición debe incluir los hechos o motivos de la misma; el órgano administrativo a quien se dirigen, lugar y fecha de su emisión. Debera incluir la información siguiente: distintivo de llamada, ubicación del equipo transmisor

principal de la estación de radio AM, frecuencia, hechos y razones que dan motivo a la solicitud, y deberá estar firmada por el interesado o el representante legal. Potencia o frecuencia propuesta.

Monto: El costo del trámite es de \$ 4,997.00 mn. Los permisionario pagarán el 50 % del monto.

Documentos anexos: Se debe anexar el plano del terreno, avalado por una unidad de verificación o, en ausencia de ésta, por un perito en telecomunicaciones con especialidad en radiodifusión y registro vigente (original y copia).

Plazo de respuesta: 3 meses máximo, aunque puede verse afectado por razones de coordinacion de frecuencias a nivel internacional.

8.3. Cambio de Equipo Transmisor

Este trámite debe realizarse en tercer lugar, una vez que se ha autorizado el cambio de ubicación y/o potencia para poder instalar un transmisor de mayor potencia, o en el caso de que se vaya a sustituir el transmisor actual por uno nuevo. La homoclave de este trámite es COFETEL-11-015 [8].

Responsable: Unidad de Sistemas de Radio y Televisión.

Solicitante: Concesionarios y Permisionarios de Estaciones de Radio y Televisión.

Causa: concesionarios o permisionarios de estaciones de radio que pretendan reemplazar un equipo transmisor, siempre y cuando no se alteren las características técnicas previamente autorizadas, ya que en ese caso deberán contar con la autorización correspondiente.

Medio: Se debe presentar por medio de escrito libre, original y copia.

Información requerida: Debe incluirse el nombre o razón social de quien promueve, domicilio para recibir notificaciones y nombre de la persona autorizada para recibirlas. La petición debe incluir los hechos o motivos de la misma; el órgano administrativo a quien se dirigen, lugar y fecha de su emisión. Debera incluir la

información siguiente: distintivo de llamada, ubicación del equipo transmisor principal de la estación de radio, frecuencia, hechos y razones que dan motivo a la solicitud, y deberá estar firmada por el interesado o el representante legal. Con el fin de identificar al equipo relacionado con la petición se deberá presentar los siguientes datos: a) Distintivo de llamada y b) Ubicación del equipo transmisor principal de la estación.

Monto: El monto a cubrir es de \$ 2,999.00 mas otro pago por \$ 5,622.00, por cada solicitud presentada. Los permisionarios pagarán sólo el 50 % del monto.

Documentos anexos: Ninguno.

Plazo de respuesta: 3 meses máximo, aunque puede verse afectado por razones de coordinacion de frecuencias a nivel internacional.

8.4. Autorización de equipo transmisor auxiliar.

La homoclave de este trámite es COFETEL-11-015 [5], y se utiliza para dar de alta un equipo transmisor auxiliar para garantizar la continuidad del servicio. Este trámite debe solicitarse al mismo tiempo que el trámite de cambio de equipo transmisor, ya que se pretende cambiar el equipos transmisor auxiliar actual por el transmisor principal actual.

Responsable: Unidad de Sistemas de Radio y Televisión.

Solicitante: Concesionarios y Permisionarios de Estaciones de Radio y Televisión.

Causa: Concesionarios o permisionarios que pretendan con un equipo transmisor auxiliar a su operación, siempre y cuando no se alteren las características técnicas previamente autorizadas, ya que en ese caso deberá contar con la autorización correspondiente.

Medio: Es un trámite gratuito.

Información requerida: Debe incluirse el nombre o razón social de quien promueve, domicilio para recibir notificaciones y nombre de la persona autorizada para

recibir las. La petición debe incluir los hechos o motivos de la misma; el órgano administrativo a quien se dirigen, lugar y fecha de su emisión. Deberá incluir la información siguiente: distintivo de llamada, ubicación del equipo transmisor principal de la estación de radio, frecuencia, hechos y razones que dan motivo a la solicitud, y deberá estar firmada por el interesado o el representante legal. Con el fin de identificar al equipo relacionado con la petición se deberá presentar los siguientes datos: a) Distintivo de llamada y b) Ubicación del equipo transmisor principal de la estación.

Monto: El monto a cubrir es de \$ 2,999.00 más otro pago por \$ 5,622.00, por cada solicitud presentada. Los permisionarios pagarán sólo el 50 % del monto.

Documentos anexos: Ninguno.

Plazo de respuesta: 3 meses máximo, aunque puede verse afectado por razones de coordinación de frecuencias a nivel internacional.

8.5. Instalación y operación de un sistema de enlace Estudio - Planta y Control Remoto, así como por la modificación al circuito del mismo.

Este trámite incluye dos modalidades, la primera correspondiente a la instalación de enlaces estudio-planta, y la otra a la modificación de los mismos. La homoclave general de este trámite es COFETEL-11-018. Ambas modalidades se presentan a continuación dado que ambas pueden ser llevadas a cabo, ya sea para modificar los enlaces monoaurales análogos actuales o para la instalación de enlaces digitales nuevos. Estos trámites deben solicitarse en cuarto lugar, cuando los trabajos en la nueva planta estén a punto de terminar y ya se empiecen a realizar pruebas con audio.

8.5.1. Instalación y operación de un sistema de enlace estudio - planta o control remoto.

Este trámite tiene como identificador en el Registro Federal de Trámites y Servicios la homoclave COFETEL-11-018-A [14] y se utiliza cuando se desea implementar un nuevo enlace estudio-planta para tener un enlace de respaldo al enlace principal.

Responsable: Unidad de Sistemas de Radio y Televisión.

Solicitante: Concesionarios y Permissionarios de Estaciones de Radio y Televisión.

Causa: En los casos que se requiera contar con servicios auxiliares a la radiodifusión con la finalidad de dar continuidad al servicio que prestan las estaciones de Radio y Televisión.

Medio: Se debe presentar por medio de escrito libre, 2 originales.

Información requerida: Debe incluirse el nombre o razón social de quien promueve, domicilio para recibir notificaciones y nombre de la persona autorizada para recibirlas. La petición debe incluir los hechos o motivos de la misma; el órgano administrativo a quien se dirigen, lugar y fecha de su emisión. Debera incluir la información siguiente: distintivo de llamada, ubicación del equipo transmisor principal de la estación de radio, frecuencia, hechos y razones que dan motivo a la solicitud, y deberá estar firmada por el interesado o el representante legal. La solicitud deberá contener: I. Datos generales de la concesion o permiso del interesado; II Tratándose de enlaces estudio - planta: a) coordenadas geográficas y altura sobre el nivel del mar de la planta transmisora y de los estudios; b) la frecuencia propuesta, el número de canales de radiofrecuencia requeridos y el ancho de banda por canal, que deberán ser congruentes con el uso que daría a las frecuencias; c) potencia radiada aparente de enlace estudio -planta requerido; d) distancia entre la antena transmisora y receptora; e) altura del centro eléctrico de radiacion respecto del nivel del terreno para cada estación

Monto: El costo del trámite es de \$ 3,114.00 mn.

Documentos anexos: Fotocopia del oficio por el que la Secretaría de Comunicaciones y Transportes reconoció la personalidad del representante legal del concesionario o permisionario (1 original).

Plazo de respuesta: 62 días hábiles.

8.5.2. Modificación de un sistema de enlace estudio - planta o control remoto.

Este trámite tiene como identificador en el Registro Federal de Trámites y Servicios la homoclave COFETEL-11-018-B [15] y se utiliza cuando se desea modificar las características técnicas de un enlace estudio-planta previamente autorizado.

Responsable: Unidad de Sistemas de Radio y Televisión.

Solicitante: Concesionarios y Permisionarios de Estaciones de Radio y Televisión.

Causa: En los casos que se requiera contar con servicios auxiliares a la radiodifusión con la finalidad de dar continuidad al servicio que prestan las estaciones de Radio y Televisión.

Medio: Se debe presentar por medio de escrito libre, 2 originales.

Información requerida: Debe incluirse el nombre o razón social de quien promueve, domicilio para recibir notificaciones y nombre de la persona autorizada para recibirlas. La petición debe incluir los hechos o motivos de la misma; el órgano administrativo a quien se dirigen, lugar y fecha de su emisión. Debera incluir la información siguiente: distintivo de llamada, ubicación del equipo transmisor principal de la estación de radio, frecuencia, hechos y razones que dan motivo a la solicitud, y deberá estar firmada por el interesado o el representante legal. La solicitud deberá contener: I. Datos generales de la concesión o permiso del interesado; II Tratándose de enlaces estudio - planta: A. Coordenadas geográficas y altura sobre el nivel del mar de la planta transmisora y de los estudios. B. La frecuencia propuesta, el número de canales de radiofrecuencia requeridos y el ancho de banda por canal, que deberán ser congruentes con el uso que daría a las frecuencias; C . Potencia radiada aparente de enlace estudio -planta

requerido; D. Distancia entre la antena transmisora y receptora; E. Altura del centro eléctrico de radiación respecto del nivel del terreno para cada estación

Monto: El costo del trámite es de \$ 2,298.00 mn.

Documentos anexos: Fotocopia del oficio por el que la Secretaría de Comunicaciones y Transportes reconoció la personalidad del representante legal del concesionario o permisionario (1 original).

Plazo de respuesta: 62 días hábiles.

8.6. Ampliación de plazos por modificación de características técnicas o para cumplimiento de obligaciones

Los permisionarios o concesionarios tienen ciertos plazos para realizar las modificaciones técnicas para las cuales solicitaron alguna autorización. En caso de no cumplir con los plazos forzosos, se puede solicitar este trámite. El trámite está en el Registro Federal de Trámites y Servicios bajo la homoclave COFETEL-11-022 [4].

Responsable: Unidad de Sistemas de Radio y Televisión.

Solicitante: Concesionarios y Permisionarios de Estaciones de Radio y Televisión.

Causa: Cuando se ha otorgado un plazo para la modificación de las características técnicas de las estaciones de radio y televisión. .

Medio: Se debe presentar por medio de escrito libre, original y copia.

Información requerida: Debe incluirse el nombre o razón social de quien promueve, domicilio para recibir notificaciones y nombre de la persona autorizada para recibirlas. La petición debe incluir los hechos o motivos de la misma; el órgano administrativo a quien se dirigen, lugar y fecha de su emisión. Deberá incluir la información siguiente: distintivo de llamada, ubicación del equipo transmisor principal de la estación de radio, frecuencia, hechos y razones que dan motivo

a la solicitud, y deberá estar firmada por el interesado o el representante legal. El solicitante deberá hacer referencia al número y folio del documento en el que se le estableció la obligación, con relación a las cuales solicita la prórroga.

Monto: El costo del trámite es de \$ 5,831.00 mn.

Documentos anexos: Documento que avale las razones por las que se presenta la solicitud (original y copia). Los cálculos que presente el concesionario o permisionario, o su representante legal, de conformidad con lo autorizado, para que la SCT determine el plazo de prórroga correspondiente (original y copia)

Plazo de respuesta: 3 meses.

8.7. Autorización para empezar las transmisiones en el modo híbrido del estándar adoptado de radio digital

Por último, cuando se quiera empezar a transmitir digitalmente, se presentará este trámite, ya que requiere una planta de transmisión funcionando al 100 % y técnicamente capaz de transmitir digitalmente. Actualmente, el Registro Federal de Trámites y Servicios no cuenta con un registro de este trámite para estaciones que no se encuentren en la frontera norte del país, aunque puede suponerse que el trámite no diferirá mucho al que deben cumplir las estaciones fronterizas.

Responsable: Unidad de Sistemas de Radio y Televisión.

Solicitante: Concesionarios y Permisionarios de Estaciones de Radio AM.

Causa: Cuando se quiera empezar a hacer uso de un sistema digital vigente.

Medio: Se debe presentar por medio de escrito libre, original y copia.

Información requerida: Debe incluirse el nombre o razón social de quien promueve, domicilio para recibir notificaciones y nombre de la persona autorizada para recibirlas. La petición debe incluir los hechos o motivos de la misma; el órgano

administrativo a quien se dirigen, lugar y fecha de su emisión. Debera incluir la información siguiente: distintivo de llamada, ubicación del equipo transmisor principal de la estación de radio, frecuencia, hechos y razones que dan motivo a la solicitud, y deberá estar firmada por el interesado o el representante legal.

Monto: El costo del trámite, para las estaciones fronterizas es de \$ 3,387.00 mn.
Los permisionarios pagarán el 50 % del monto.

Documentos anexos: Ninguno.

Plazo de respuesta: 90 días naturales.

Capítulo 9

Conclusiones

Durante este trabajo se han establecido las características técnicas necesarias a considerarse para llevar a cabo la reubicación de la planta transmisora de Amplitud Modulada de Radio UNAM así como la modernización de la misma, para lo cual se ha llevado a cabo todo un análisis tanto técnico como económico, así como legal, de los procedimientos y equipos necesarios para el cumplimiento de los objetivos de este proyecto.

El diseño de la planta es una configuración básica que se puede aplicar a cualquier planta de transmisión, ya sea AM o FM o incluso de TV, con la diferencia de los equipos utilizados. En el proyecto se ha definido cada parte de tal manera que cada una de ellas cumpla con las especificaciones deseadas con el fin de cumplir las características de la estación establecidas en los objetivos. Se han buscado equipos que actualmente están preparados para poder utilizar el estándar de radio digital IBOC. Sin embargo, en algunos de ellos, será necesaria una inversión futura cuando ya se empiece a transmitir digitalmente, como es el caso de la adquisición de un excitador digital IBOC-AM. Cada uno de los equipos propuestos en la solución técnica del proyecto se han elegido con el propósito de funcionar con dicho estándar, aunque en el caso del acoplador de la línea de transmisión y la antena, éste debe ser modificado para que pueda funcionar con IBOC.

Los equipos listados no son los únicos, ni mucho menos los precios, es posible que otras empresas tengan los mismos equipos o más baratos o más caros, sin embargo, uno de los principales problemas a los que nos enfrentamos fue la participación de

empresas mexicanas distribuidoras de equipo para radiodifusión, ya que sólo se obtuvo respuesta de una empresa llamada "OnAir" (Organización Nacional de Ingeniería en Radiodifusión, S.A. de C.V.), cuya cotización es la que aparece en el capítulo de la solución técnica.

En cuanto a las estimaciones de cobertura e interferencias, se observó que el posible aumento de potencia de la estación a Radio UNAM a 100 [kW] puede provocar problemas de interferencias tanto en el cocanal como en el primer canal adyacente, como se discutió en el Capítulo 6. Se producen también interferencias en el área de bloqueo, las cuales pueden ser resueltas con filtros de rechazo que no han sido incluidos en el presupuesto. Las interferencias cocanal y del primer canal adyacente no son ningún problema ya que ambas estaciones, XETW y XENG funcionan en la modalidad conocida como "estaciones combos" en las cuales las estaciones de AM solicitan una frecuencia en la banda de FM donde las ventajas son claras, mayor ancho de banda, más calidad de sonido, recepción con dispositivos móviles, etc., y transmiten en ambas frecuencias por un periodo de tiempo, para después desaparecer la estación de AM. Con esta modalidad muchas estaciones de baja potencia están optando por cambiar su estación a FM como es el caso de éstas dos estaciones y otras más cuya desaparición de la banda de AM representará una ventaja para Radio UNAM. Las interferencias expuestas en el Capítulo 6 desaparecerán en algún tiempo (junto con estas estaciones de AM), por lo que ya no serán un impedimento para el aumento de potencia, con la cual los oyentes de Radio UNAM serán los principales beneficiados.

Es por eso que se concluye como viable el cambio del tipo de estación a clase A y así el aumento de potencia a 100[kW]. Ya dependerá de factores legales y económicos la implementación de la estación con esta potencia. Para el caso de la potencia nocturna, no se contempla ningún aumento de ésta, ya que con los 10 [kW] autorizados actualmente, el contorno interferente cocanal nocturno queda mayormente dentro del territorio nacional, lo que con 50 [kW] no sucede ya que se abarcan zonas más amplias de países fronterizos.

En cuanto a trámites legales, en el capítulo correspondiente se señalan el orden en el que deben ser presentados, así como los requisitos principales, de los cuales los más importantes son estudios técnicos de no interferencias con los aeropuertos cercanos por ejemplo, o el estudio de cobertura y no interferencias con estaciones cercanas, o

el plano del terreno con perfiles topográficos. Todos los trámites deben ser realizados por el representante legal de Radio UNAM y todos deben estar firmados por un perito en Telecomunicaciones con especialidad en Radiodifusión.

En cuanto a la implementación de IBOC, la planta transmisora diseñada en este trabajo es capaz de que con una inversión adicional, menor a la que todo el proyecto significa, se pueda implementar el estándar (en caso de que se haya optado por la opción que no incluye IBOC desde el inicio). Está claro que en este trabajo sólo se habló de la parte técnica necesaria para IBOC, sin embargo, están involucrados otros factores que deben ser puestos en práctica en toda la estación o en los estudios más específicamente, como la migración de instalaciones monoaurales a estereofónicas o quizás sonido envolvente (surround), la implementación de una red de datos interna lo suficientemente rápida para ser capaz de manejar audios sin comprensión, la migración de los recursos sonoros a archivos puramente digitales o la producción de nuevos contenidos radiofónicos para la multiprogramación. Todo esto es un proceso, que debe llevar tiempo para completarse y que sería recomendable que fuera iniciado a la brevedad posible. Para el problema de ancho de banda de la estación al digitalizarse en el cual se pueden presentar problemas con la estación del D.F. a 830 [kHz] cuando ambas estaciones esten transmitiendo en el modo híbrido, es necesario tomar cartas en el asunto y realizar un estudio de las relaciones de protección de IBOC, para lo cual se necesitaría un acceso al estándar. No será fácil realizar dicho estudio, pero si se desea implementar la radio digital en Radio UNAM es indispensable que se haga dicho estudio y a la vez se busquen soluciones no tan radicales como un cambio de frecuencia.

El presente trabajo es sólo una parte del proyecto entero de reubicación de la planta de transmisión, pero es el corazón del proyecto, ya que define toda la parte de señal y radiofrecuencia, las demás partes están intrínsecamente ligadas a esta parte del proyecto, y se podría decir que el sistema de transmisión es el que define los demás requisitos. El sistema de transmisión aquí definido servirá tanto para la transmisión analógica, como para la transmisión digital (con una inversión extra). Además de haberse realizados los estudios de cobertura e interferencias correspondientes a la nueva ubicación de la planta, de los cuales se concluye que la potencia estación puede ser aumentada a 100[kW] diurnos con ciertas modificaciones y consideraciones

(desaparición de estaciones de AM), y en donde se observa que la potencia de 50[kW] diurnos no presenta problema alguno. No se contempla un aumento de potencia nocturna y se decide que Radio UNAM seguirá operando con 10[kW] nocturnos.

Para la parte financiera, se necesitará una inversión mínima para la adquisición de equipos de \$ 506,011.87 USD para la versión más simple del proyecto (un transmisor de 50 [kW] y transmisión analógica); hasta una inversión máxima de \$ 799,381.48 USD para la versión que incluye un transmisor de 100 [kW] y se contempla una transmisión híbrida (analógica y digital).

Apéndice A

Método para la Estimación de Contornos Diurnos con Conductividad Homogénea

En la norma NOM-01-SCT1—93 [16] se mencionan dos métodos para estimar los contornos de la onda de superficie, un método para la operación diurna y un método distinto para la operación nocturna. Para la estimación de los contornos nocturnos no hay problema, ya que solo hay se describe un método el cual, una vez entendido completamente, es fácil aplicarlo. Para la estimación de los contornos diurnos, existe un detalle que hay que considerar. En la norma se mencionan dos formas de aplicar el método para la operación diurna, en la cual, como sabemos, la propagación de la onda es mediante la denominada onda de superficie. La primera forma se basa en la consideración de un suelo con conductividad homogénea; la segunda forma es considerando un suelo de conductividad no homogénea. La diferencia es clara, el primer método se usa cuando no hay variaciones de la conductividad del suelo entre el transmisor y el receptor, mientras que el segundo sí la hace. Para poder definir cuando utilizar el método de conductividad homogénea cuando el método de conductividad no homogénea, es necesario observar la posición de la antena dentro de la Carta de Conductividad de la República Mexicana, esto para poder el si en trayecto de la propagación de la onda, el suelo sufre algún cambio cambio de conductividad. Cuando el límite del campo a buscar cae dentro de una zona con una conductividad

fija, es decir, la onda no sufre un cambio de conductividad del suelo durante su trayecto, se aplica el método para una conductividad homogénea, y puede suceder para todo un contorno, o sólo en una dirección dentro del cálculo de un contorno en el que hay que considerar otras direcciones ya que en estas otras direcciones la onda sí sufre un cambio de conductividad del suelo en su trayecto.

Ambos métodos basan su funcionamiento en la utilización de las Gráficas de Intensidad de Campo de la Onda de Superficie contra Distancia, que prácticamente son graficas de atenuación de campo a diferentes conductividades del suelo. Estas gráficas están incluidas en la norma oficial mexicana [16, pp. 52–89], sin embargo, las gráficas incluidas en la norma no cuentan con una buena resolución por lo que para este trabajo se utilizaron las gráficas proporcionadas por la FCC[2], que cuentan con una mejor resolución y definición y que son iguales. En estas gráficas se observa en el eje de las abscisas en escala logarítmica la distancia en kilómetros, mientras que en el eje de las ordenadas, en escala logarítmica, el valor de intensidad de campo. Las líneas dibujadas dentro de la gráfica representan diversos valores de conductividad del terreno. Estas gráficas están normalizadas para una PRA de 1[kW] y un valor de campo característico de 100[mV/m] a 1[km], es por eso que para otras potencias de transmisión y sistemas de antenas con diferentes magnitudes de campo característico, como es el caso de este trabajo, se deben realizar ciertas correcciones de acuerdo a la siguiente fórmula, incluida también en la norma:

$$E = E_0 \frac{E_C}{100} \sqrt{P} \quad (\text{A.1})$$

Donde:

E = Intensidad de campo eléctrico resultante en [mV/m].

E_0 = Intensidad de campo eléctrico leído en las gráficas de intensidad de campo contra distancia en [mV/m]

E_C = Intensidad de campo característico en [mV/m].

P = Potencia de la estación en [kW].

Mediante el uso de la fórmula (A.1), es posible estimar la distancia que marca el contorno delimitado por un cierto valor de campo. Nuestra incógnita es el valor de E_0 , que es el valor a encontrar en las gráficas. La potencia de la estación, el campo

característico de la misma son valores de las estaciones de transmisión, y por tanto conocidos, y el valor de E esta dado por el valor del contorno a estimar. Por lo que, al despejar, la ecuación que se utilizará durante todo el trabajo será:

$$E_0 = \frac{100E}{\sqrt{PE_C}} \quad (\text{A.2})$$

Lo único que resta hacer, es sustituir los datos técnicos de cada estación, E_C y P y el valor del campo E a estimar y con ello obtener el valor de E_0 a buscar en la gráfica correspondiente a la frecuencia de operación de la estación. Una vez encontrado el valor de E_0 , se busca la intersección de dicho valor de campo con alguna de las curvas que representan la conductividad del terreno.

Para el método de conductividad no homogénea, se utiliza un método denominado como ‘Método de Kirke’el cual se explica en el siguiente apéndice.

Apéndice B

Método para la Estimación de Contornos Diurnos con Conductividad no Homogénea: Método de Kirke

Para realizar las estimaciones considerando conductividades del suelo no homogéneas, la Norma Oficial marca la utilización del Método de Kirke o distancia equivalente[16], que se basa principalmente en la utilización del método descrito en el apéndice A. Para este método, al igual que para el método de conductividad homogénea, es necesario contar con la carta de conductividad de la República Mexicana, incluida en la norma oficial y en el apéndice de Gráficas (Figura E.1).

El Método de Kirke resulta de un análisis de distancia y atenuación, ya que al final de cuenta, las gráficas utilizadas para la estimación de campo son gráficas de atenuación. Para explicarlo, se utilizará la siguiente imagen.

Al hablar de dos conductividades distintas, físicamente lo que representa son dos atenuaciones distintas. En la Figura B.1, para un mejor entendimiento, se utilizaron decibeles como unidad de la amplitud, para que la representación en gráfica de la magnitud del campo sea lineal.

En el método de Kirke, como la norma señala, lo primero, una vez obtenido el valor o valores de la distancia d_1 , que es la distancia de la antena al cambio de

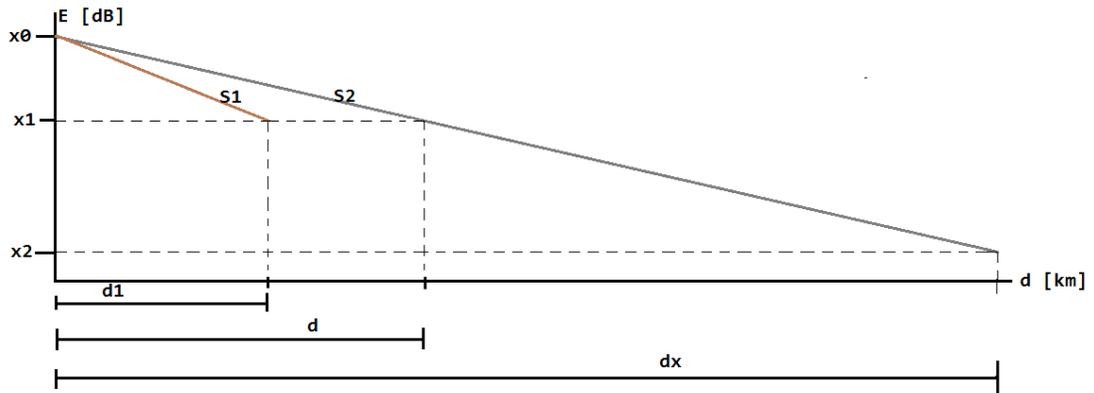


Figura B.1: Representación gráfica del Método de Kirke

conductividad del suelo, es que obtener es el valor de campo x_1 que tiene la onda después de recorrer la distancia d_1 , es decir, obtener la magnitud del campo después de haber recorrido la distancia d_1 con el índice de atenuación S_1 . El segundo paso es, para el índice de atenuación S_2 , es decir, para la conductividad σ_2 , se busca la distancia a la cual se obtiene el mismo valor de campo x_1 , esta distancia la nombraremos d . El tercer paso, en la norma la explicación es un poco confusa, pero de la gráfica se puede entender mejor. En este tercer paso, se busca la distancia sobre la conductividad σ_2 , o en otras palabras con el índice de atenuación S_2 , a la cual se obtiene el valor de campo deseado x_2 que es el valor que define los contornos. Esta distancia se llamará dx . La distancia dx sería la distancia real si se estuviera realizando el análisis en una conductividad homogénea σ_2 . A esta distancia se le resta la distancia marcada como d , ya que esta distancia, la onda no la recorrió con el índice de atenuación S_2 y hay que sumarle la distancia que recorrió la onda con el índice de atenuación S_1 . Por lo tanto, la ecuación para encontrar la distancia final buscada d_f , quedaría como sigue:

$$d_f = dx - d + d_1 \tag{B.1}$$

El método se basa en el análisis de una señal a través de un recorrido con múltiples atenuaciones. La señal recorre cierta distancia con un índice de atenuación, al llegar al cambio de índice de atenuación, la señal ya tiene cierta atenuación por lo que, para



Figura B.2: Carta de conductividades de la República Mexicana sobrepuesta en Google Earth

el recorrido con el segundo índice de atenuación la intensidad inicial del recorrido es la intensidad final con la que la señal llega al final del primer recorrido, es decir, la intensidad con la que llega al cambio de conductividades.

B.1. Ejemplo de aplicación del Método de Kirke

La utilización de este método de Kirke implica la medición de distancias a partir de un punto dado, sobre un mapa de la República Mexicana. Para poder observar esto, se hizo uso de una herramienta de software libre llamada “Google Earth”. Lo primero que se realizó fue sobreponer la imagen de la carta de conductividades de la República Mexicana con la imagen del país y observar la ubicación de las antenas dentro de los contornos de conductividad. Las líneas azules en la Figura B.2 señalan los límites estatales que el programa marca. Las líneas negras son los contornos estatales marcados por el mapa de conductividades, y pertenecen a la imagen superpuesta. Se puede observar que no coinciden al 100%, pero al centro de la República, en el D.F. el acoplamiento entre líneas es bueno. Esto hará que la

aproximación de las mediciones de los límites de los contornos de las conductividades sea buena. En la Figura B.2 se observa que la posición de la antena de Radio UNAM está dentro del contorno de $3[mS/m]$. Se decidió realizar las mediciones únicamente en 8 direcciones principales. Si en algún caso se necesitase más definiciones se podría hacer sin problemas. Estas direcciones son las marcadas por la rosa de los vientos norte, noroeste, oeste, suroeste, sur, sureste, este y noreste. Este valor de distancia de la antena al contorno de $3[mS/m]$ es el valor de la distancia que se denominó $d1$.

Para este ejemplo, y para todo el trabajo, se consideró un trayecto con sólo dos conductividades, sin embargo, el método puede ser aplicado a trayectos con más conductividades. Ya teniendo en consideración las conductividades a utilizar, se mide la distancia de la antena al contorno de la primer conductividad ($d1$). Lo que procede una vez que se han obtenido los valores de las 8 distancias $d1$ (1 distancia distinta en cada dirección), es seguir con los pasos siguientes del Método de Kirke. Por ejemplo, para la nueva antena de Radio UNAM, la distancia $d1$ en dirección Norte, es de $74,5[km]$. El método marca que hay que buscar el valor de E_0 , sobre la conductividad 1, que es $\sigma_1 = 3[mS/m]$, que se tiene a dicha distancia:

$$\sigma_1 = 3[mS/m], d1 = 74,5[km] \longrightarrow E_0 = 0,075[mV/m] \quad (B.2)$$

El segundo paso del método es buscar, sobre la conductividad 2, la distancia d a la cual se obtendría el mismo valor de campo E_0 del paso anterior:

$$\sigma_2 = 4[mS/m], E_0 = 0,075[mV/m] \longrightarrow d = 87[km] \quad (B.3)$$

El tercer paso consiste en buscar, sobre la conductividad 2, la distancia dx a la cual se obtendría el valor de campo que delimita el contorno. Para este ejemplo utilizaremos el Contorno Protegido Cocanal, que está delimitado por un valor de campo de $E = 0,5[mV/m]$. Para este valor de campo, y considerando una potencia de la estación de $P = 50[kW]$ y un valor de campo característico de $E_C = 290[mV/m]$, utilizando la fórmula (A.2), se obtiene un valor de campo $E_0 = 0,024[mV/m]$.

$$\sigma_2 = 4[mS/m], E_0 = 0,024[mV/m] \longrightarrow dx = 136[km] \quad (B.4)$$

El cuarto y último paso consiste en hacer la operación aritmética (Fórmula (B.1)) para

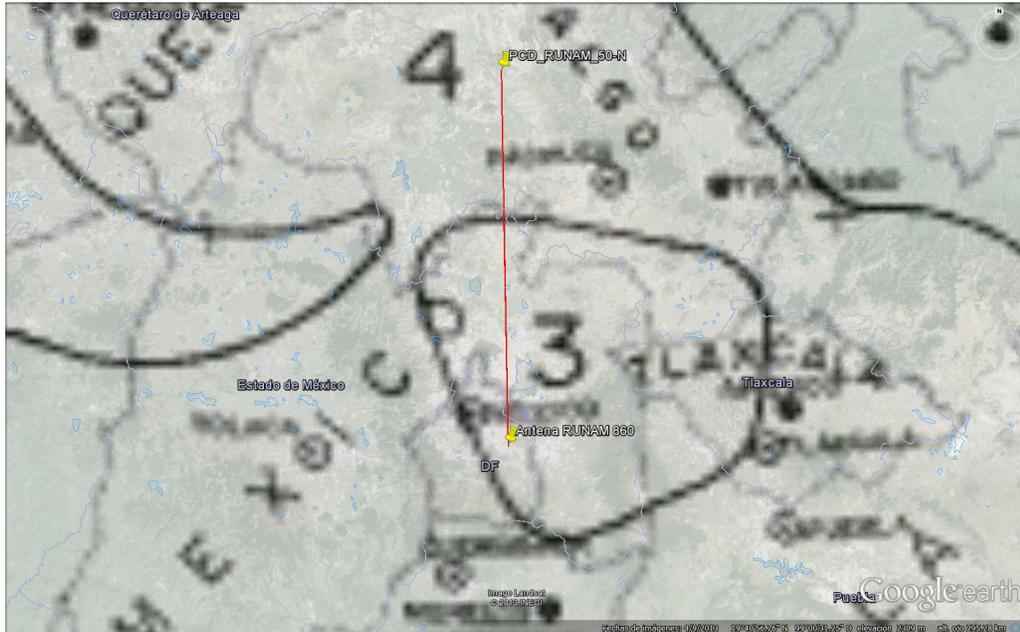


Figura B.3: Medición del alcance en dirección Norte del Contorno Protegido Cocanal Diurno de Radio UNAM (50[kW])

obtener el valor de la distancia final d_f :

$$d_f = dx - d + d1 = 136 - 87 + 74,5 = 123,5[km] \quad (B.5)$$

Esta distancia es la distancia a la cual se encontrará en contorno de $E = 0,5[mV/m]$ en la dirección considerando un trayecto de dos conductividades. Lo que resta es marcar dicha distancia en el programa para tener un registro visual. Este proceso se repite para las otras 7 direcciones, y para cualquier contorno que se ha de obtener su distancia de cobertura.

Algunas veces, sule suceder que el límite del campo a buscar cae dentro de una zona con una conductividad fija, es decir, la onda no sufre un cambio de conductividad del suelo. En estos casos, lo único que hay que hacer es aplicar el método para una conductividad homogénea, y puede pasar para todo un contorno, o sólo para una dirección dentro del cálculo de un contorno en el que hay que considerar otras direcciones ya que en éstas otras la onda sí sufre un cambio de conductividad en su trayecto.

En este apéndice se quiso dar una explicación más detallada del método de Kirke y cómo fué que se utilizó en el cálculo de cobertura de Radio UNAM. Es importante ya que todo este trabajo se basa en este método, todos los contornos y distancias calculados se obtuvieron aplicando este método como en el ejemplo aquí descrito.

Apéndice C

Método para la Estimación de Contornos Nocturnos

En la Banda 6 del espectro radioeléctrico mejor conocida como banda MF, las ondas radieléctricas pueden propagarse mediante dos maneras distintas. La primera es conocida como propagación por Onda de Superficie. La segunda, durante la noche, conocida como propagación por Onda Ionosférica. La principal diferencia es que mientras en el día las ondas se desplazan sobre la tierra, como si se tuviera una guía de onda, en la noche, además, las ondas son capaces de robotar en la ionósfera, dandoles un gran alcance. Las estaciones de radiodifusión en Amplitud Modulada se encuentran en esta banda, por lo que se propagarán por ambas formas. Es necesario por consiguiente, contar con métodos que nos permitan estimar valores de campo durante el día y durante la noche. Los métodos para estimar magnitudes de campo por onda de superficie se explicaron en los Apéndices A y B, pero ahora es necesario explicar el método que proporciona la Norma Oficial Mexicana para la estimación de contornos nocturnos [16], dado que la onda se propaga, además, mediante onda ionosférica.

El método que describe la norma se basa en una serie de fórmulas y gráficas que se presentarán en este apartado. Lo primero que hay que realizar es obtener el ángulo de elevación con respecto al plano horizontal en función de la distancia a la que se estimará el campo. Este ángulo se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$\theta = \tan^{-1}\left(0,00752 \cot \frac{d}{444,54}\right) - \frac{d}{444,54} \quad (\text{C.1})$$

Donde d está definida como ‘Distancia más corta del trayecto del círculo máximo (km)’, y $0^\circ < \theta < 90^\circ$, es el ángulo de elevación. Una vez obtenido el ángulo de elevación es necesario obtener el valor del patrón de radiación vertical para el ángulo dado. Este valor del patrón de radiación vertical se representa mediante $f(\theta)$ y para calcularlo se cuenta con la siguiente fórmula:

$$f(\theta) = \frac{\cos(G \text{sen} \theta) - \cos G}{(1 - \cos G) \cos \theta} \quad (\text{C.2})$$

Donde G es la altura de la antena en grados eléctricos. Ahora, lo que resta es averiguar la magnitud del campo a una determinada distancia para lo cual se cuenta con la fórmula:

$$F = F_c \left(\frac{E_r}{100} \right) \quad (\text{C.3})$$

Donde:

F = Mediana anual de la intensidad de campo de la onda ionosférica corregida ($\mu V/m$).

F_c = Intensidad de campo leída en la gráfica E.5 del Apéndice E, para una Intensidad de Campo Característico de $100[mV/m]$ a $1[km]$.

$$E_r = E_C [mV/m] \times f(\theta) \times \sqrt{P} [kw]$$

Para E_r se necesitan los valores del campo característico de la antena, el valor del patrón de radiación vertical y la potencia de la estación, con el fin de obtener el valor de la potencia que es radiada hacia la ionósfera. Si realizamos la sustitución de E_r en la fórmula C.4 podemos ver que ésta se parece mucho a la fórmula A.1 utilizada para realizar los cálculos de magnitudes de campo en la propagación por onda de superficie, sólo que la fórmula C.4 es su contraparte para la propagación por onda ionosférica. Se realiza esta corrección dado que los valores de F_c , al igual que los de E_0 , están normalizados para un campo característico de $E_C = 100[mV/m]$ a

1[*km*]. Por lo tanto, para obtener un valor de campo deseado y para poder utilizar la gráfica E.5, es necesario despejar F_c de la fórmula C.4:

$$F_c = \frac{100F}{E_r} \quad (\text{C.4})$$

El valor de F es el valor de campo radiado tomando en consideración las características de la antena. Dado que durante la noche se presentan ambos métodos de propagación, el contorno estará definido por la forma de propagación que tenga un mayor alcance. Por lo tanto, se debe obtener, con el valor que limita el contorno nocturno definido en la norma, la distancia de cobertura tanto con el método para estimación de contornos de onda de superficie, como para el de onda ionosférica. Para el caso de la onda ionosférica, dicho valor que limita el contorno se toma como F . La norma, al definir un contorno nocturno, establece que el valor del campo está referido a un 50 % del tiempo ($F(50)$), pero la norma también define que $F = F(50)$ [16, p. 37] por lo que no hay que realizar ninguna consideración extra.

Una vez obtenido el valor de F_c para el valor de F requerido, sólo basta con buscar este valor en la gráfica E.5 y obtener la distancia a la cual se obtiene el valor de campo F_c correspondiente al valor F . Es necesario poner cierta atención a las unidades utilizadas, ya que no todos los parámetros utilizan las mismas.

Este método es el establecido por la norma para realizar estimaciones de contornos nocturnos, podemos apreciar que es un método muy parecido al descrito en el Apéndice A, sólo que en este se requiere el valor del ángulo de elevación, pero la metodología en sí misma es muy simple.

Este método fué el utilizado para estimar los únicos dos contornos nocturnos definidos por la norma, el Contorno Protegido Cocanal Nocturno, y el Contorno Interferente Cocanal Nocturno.

Apéndice D

Datos de las estaciones obtenidos de la Federal Communications Commission (FCC)

En este apéndice están incluidos los datos de las estaciones cocanales a 860 kHz, las estaciones del primer canal adyacente de 860 kHz, y las estaciones del segundo canal adyacente de 860 kHz. Se incluyen los datos técnicos de éstas, así como las coordenadas de la ubicación de la antena. También se incluye el valor del contorno protegido e interferente para cada estación dado su frecuencia, es decir, el valor de la distancia al contorno protegido e interferente cocanal para las estaciones cocanales e igual para los demás. Los valores de distancia fueron calculados utilizando el método descrito en el apéndice A para los contornos diurnos, utilizando una conductividad del suelo homogénea dado que estas distancias no son el objetivo principal de este trabajo; y el método descrito en el apéndice C para los contornos nocturnos.

Los resultados aquí mostrados fueron utilizados para calcular las interferencias que pueden provocar estas estaciones, o que la nueva planta puede ocasionar en éstas mismas estaciones. La representación gráfica de estos resultados se observa en el capítulo 4, donde se interpretan los datos aquí mostrados.

En las tablas se utiliza la siguiente nomenclatura:

C.P.C. : Contorno Protegido Cocanal.

C.I.C. : Contorno Interferente Cocanal.

C.P.A.1 : Contorno Protegido Adyacente, primer canal.

C.I.A.1 : Contorno Interferente Adyacente, primer canal.

C.P.A.2 : Contorno Protegido Adyacente, segundo canal.

C.I.A.2 : Contorno Interferente Adyacente, segundo canal.

Distintivo	Ubicación Antena	Potencia Diurna [kW]	Campo Característico [mV/m]	Conductividad del suelo [mS/m]	Distancia al C.P.C[km]	Distancia al C.I.C [km]
XEPLA	21°55'11" N 102°15'57" O	2.5	283.6	4	74	185
XEAL	19°2'57" N 104°18'37" O	5	283.69	4	86	210
XEDB	16°5'58" N 93°45'57" O	5	269.61	3	73	185
XEZX	17°35'34" N 91°30'34" O	1	280.59	4	60	152
XETW	22°15'12" N 97°51'52" O	1	233.22	2	40	105
XENL	25°41'57" N 100°12'39" O	5	265.7	2	58	155

Tabla D.1: Datos de las estaciones cocanal de Radio UNAM (860 kHz) y distancias a los contornos protegido cocanal ($E = 0,5[mV/m]$) e interferente cocanal ($E = 0,05[mV/m]$) diurnos.

Distintivo	Potencia Nocturna [kW]	Campo Característico [mV/m]	Longitud antena [°]	Distancia d [km]	Distancia al C.P.C [km]	Distancia al C.I.C [km]
XEPLA	2.5	283.6	75.4	74	37	220
XEAL	0.1	283.69	82.6	86	13	60
XEDB	0.25	269.61	89.8	73	17.5	80
XEZX	0.15	280.59	61.9	60	18	50
XETW	0.25	233.22	46.4	40	13	40
XENL	1.5	265.7	67.12	58	22	125

Tabla D.2: Datos de las estaciones cocanal de Radio UNAM (860 kHz) y distancias a los contornos protegido cocanal ($F = 2,5[mV/m]$) e interferente cocanal ($F = 0,125[mV/m]$) Nocturnos.

Frecuencia [kHz]	Distintivo	Ubicación Antena	Potencia Diurna [kW]	Campo Característico [mV/m]	Conductividad del suelo [mS/m]	Distancia al C.P.A.1 – C.I.A.1 [km]
870	XEAMO	20°38'0" N 101°21'42" O	1	305.75	3	37
870	XEGRO	17°30'21" N 99°28'39" O	1	292.63	4	43
870	XELY	19°41'36" N 101°8'52" O	1	322.6	3	38
870	XEACC	15°50'56" N 97°2'48" O	10	289.23	4	70
870	XENG	20°10'4" N 98°2'52" O	1	243.75	4	39
850	XEZI	19°50'5" N 101°19'1" O	1	241	2	28.5
850	XEMIA	20°38'15" N 103°19'1" O	3	234.84	4	52
850	XEJAQ	21°12'56" N 99°27'59" O	10	241	4	69
850	XETQ	18°51'44" N 97°3'11" O	10	307.14	4	77

Tabla D.3: Datos de las estaciones del primer canal adyacente de Radio UNAM (850 kHz y 870 kHz) y distancia a los contornos portegido e interferente del primer canal adyacente ($E = 1[mV/m]$).

Frecuencia [kHz]	Distintivo	Ubicación Antena	Potencia Diurna [kW]	Campo Característico [mV/m]	Conductividad del suelo [mS/m]	Distancia al C.P.A.2–C.I.A.2 [km]
880	XEIG	18°19'47" N 99°30'32" O	2.5	283	4	10
880	XEAAA	20°37'57" N 103°26'24" O	20	284.1	4	16
880	XERTP	19°15'53" N 98°23'36" O	2.5	286.24	3	8.7
880	XEEM	21°55'53" N 100°0'41" O	5	303.15	4	12.7
880	XEYV	18°54'44" N 96°58'38" O	10	287.95	4	15.5
840	XEFG	20°31'38" N 100°46'13" O	5	267.2	3	10.7
840	XEXXX	19°38'59" N 103°15'55" O	5	234.84	2	9.4
840	XEPV	20°26'51" N 97°19'3" O	2.5	271.66	5	11
840	XEUAG	17°30'15" N 99°29'48" O	3	305.63	4	13.5

Tabla D.4: Datos de las estaciones del segundo canal adyacente de Radio UNAM (840 kHz y 880 kHz) y distancia a los contornos portegido e interferente del segundo canal adyacente ($E = 25[mV/m]$).

Apéndice E

Gráficas

En este apéndice estan incluidas todas las gráficas que fueron utilizadas durante la realización de este trabajo.

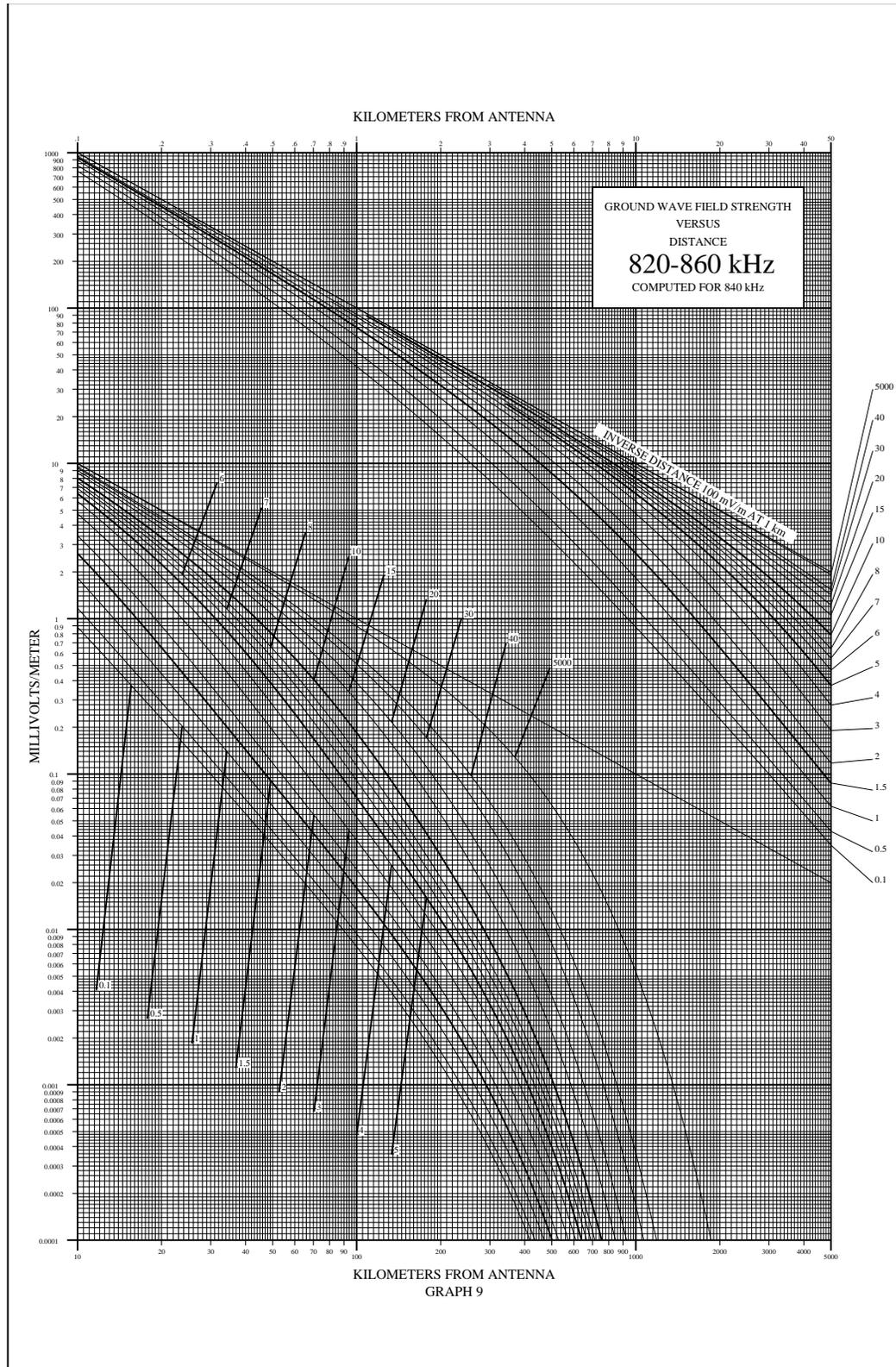


Figura E.2: Groud Wave Field Strength versus Distance 840[kHz]

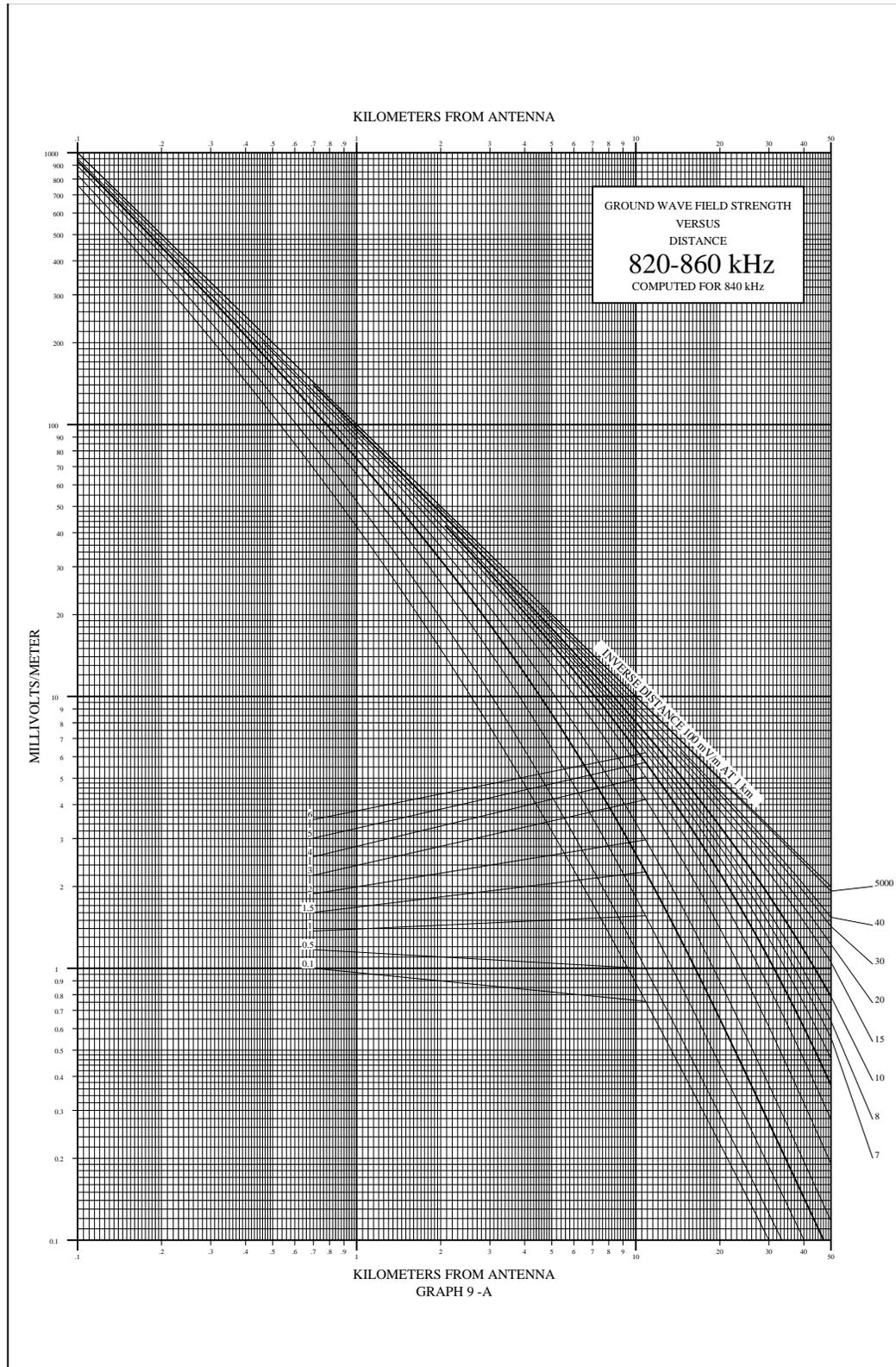


Figura E.3: Groud Wave Field Strength versus Distance 840[kHz] up to 50[km]

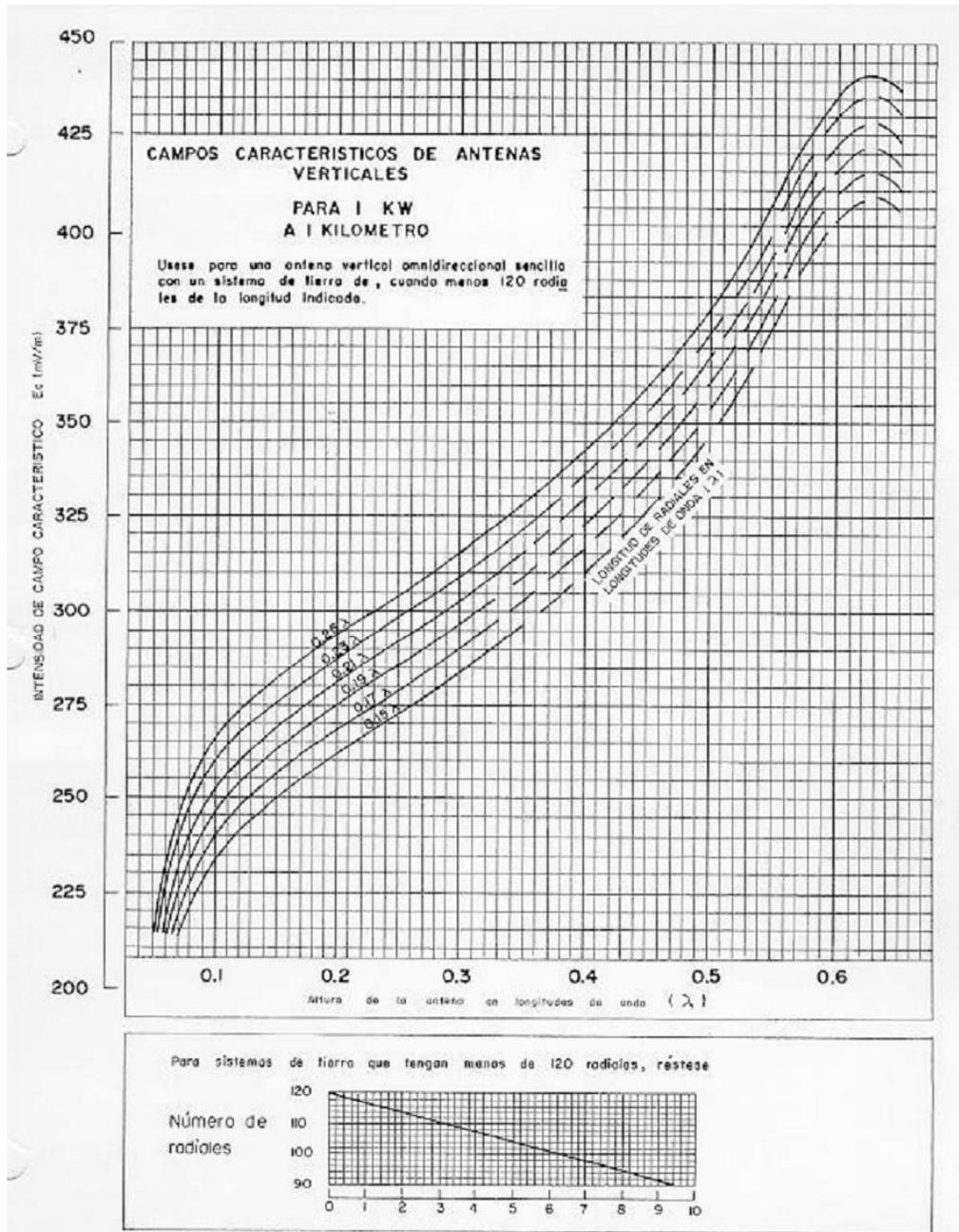


Figura E.4: Campo Característico de Antenas Verticales

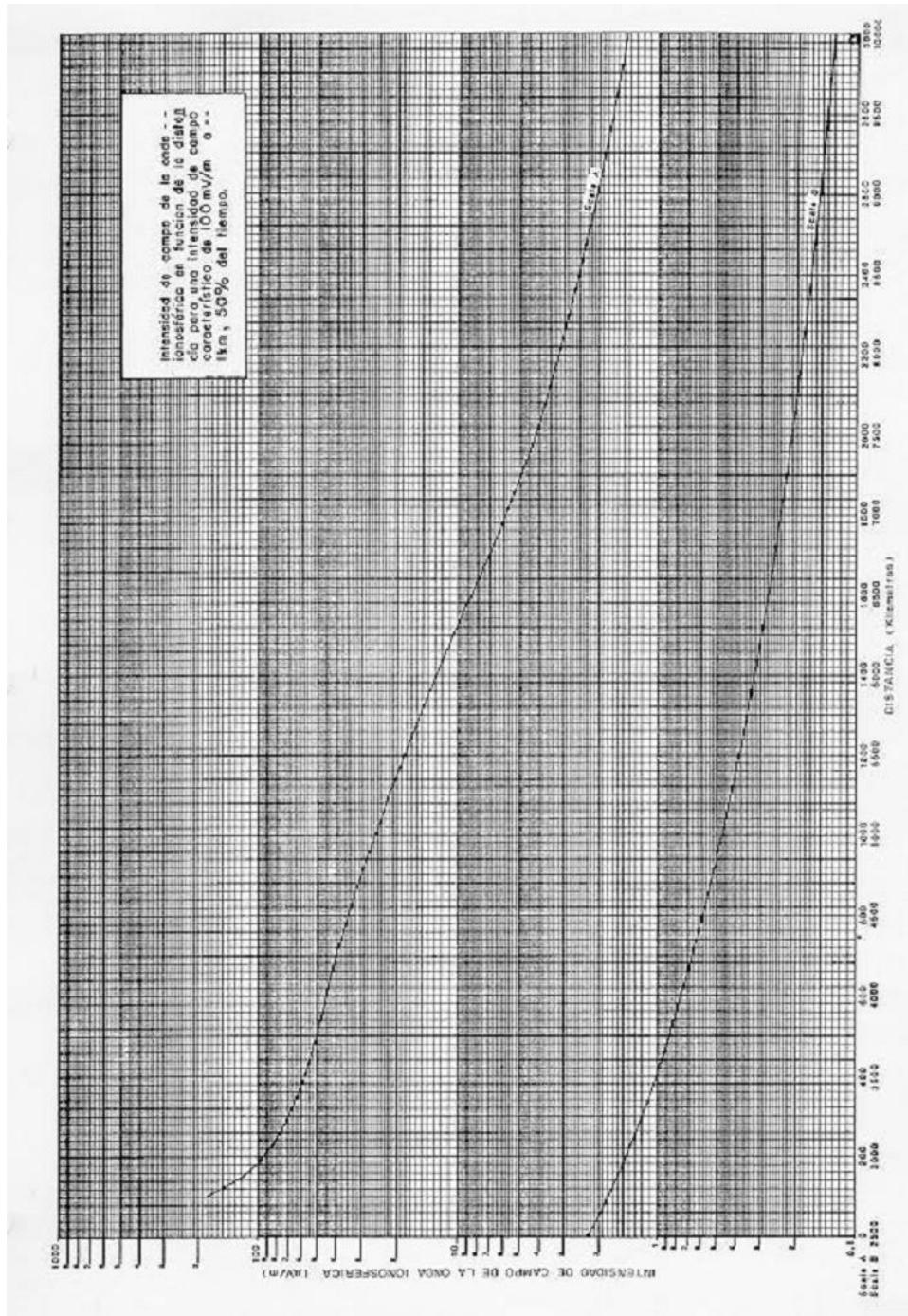


Figura E.5: Intensidad de Campo de la Onda Inosférica

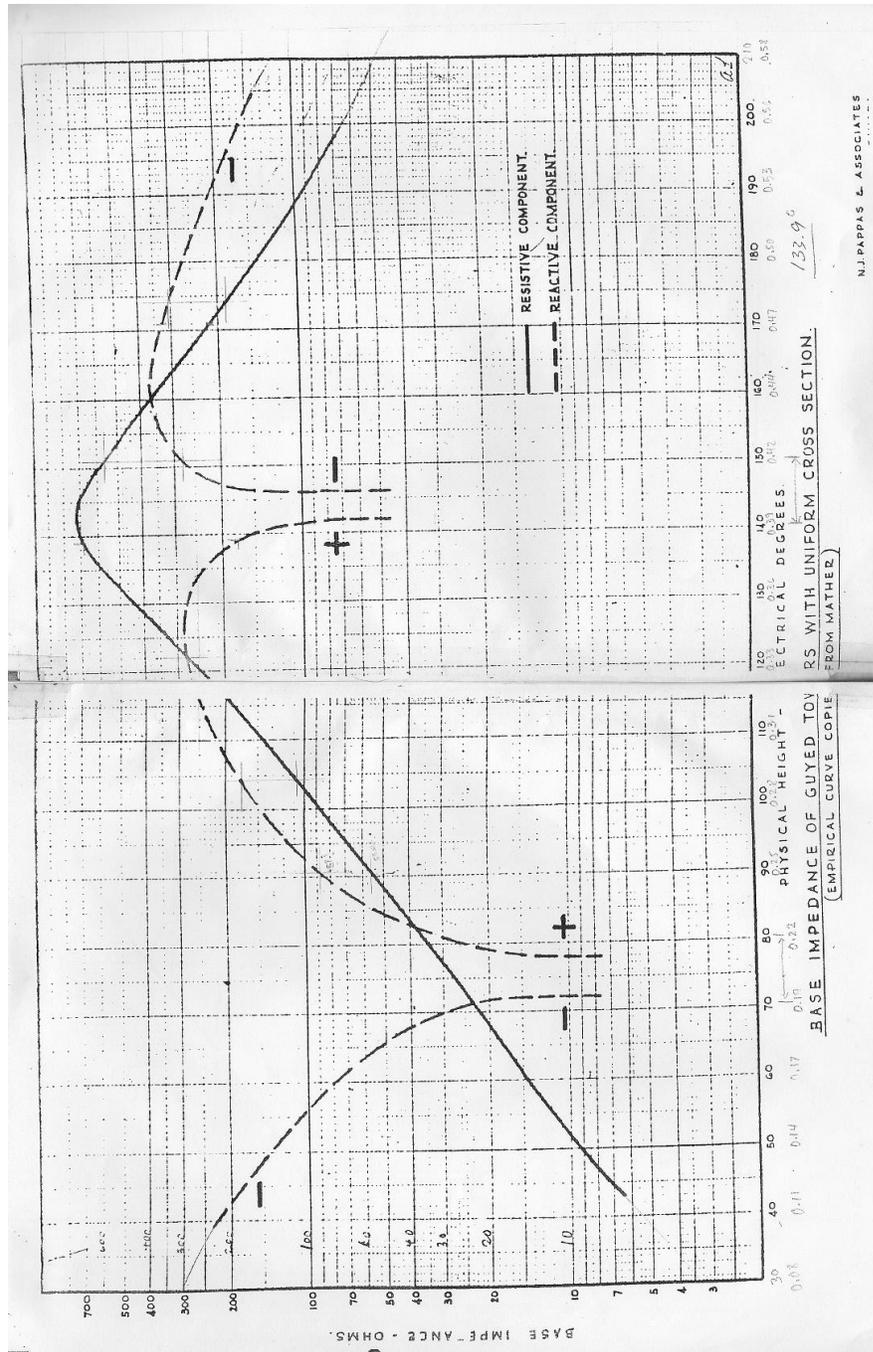


Figura E.6: Base Impedance of Guyed Towers with Uniform Cross Section

APÉNDICE "A" CO DA-01/2010

FORMATO DE SOLICITUD PARA AUTORIZACIÓN DE ELEMENTO RADIADOR
(Hoja membretada de la empresa con logotipo, nombre, domicilio y teléfono)

**DIRECTOR DE AEROPUERTOS
DIRECCIÓN GENERAL DE AERONÁUTICA CIVIL
SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
PRESENTE**

Por este medio pongo a su consideración el proyecto para el emplazamiento de un elemento radiador con las siguientes características:

Propiedad de:	PERMISIONARIO	Altura del elemento radiador:	EN m.s.n.t.
Sitio	NOMBRE PROPUESTO DEL SITIO	Municipio:	ESPECIFICAR
Coordenadas:	GRADOS, MINUTOS, SEGUNDOS LN	GRADOS, MINUTOS, SEGUNDOS LW	Elevación:
Aeródromo o Helipuerto de referencia:	ESPECIFICAR	Distancia al Aeródromo o Helipuerto de referencia:	ESPECIFICAR
		Estado:	ESPECIFICAR
			EN m.s.n.m.m.

Para lo cual, adjunto al presente encontrará la información correspondiente en dos carpetas, las cuales dan cabal cumplimiento a lo establecido en la Circular Obligatoria de la Autoridad Aeronáutica 01/2010.

Lo anterior con la finalidad de que esa Dirección a su cargo, evalúe las características del sitio propuesto y determine la factibilidad para el emplazamiento del elemento radiador.

Sin más por el momento y en espera de su dictamen, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE
(Nombre del solicitante ó representante legal)

(firma en original)

(personalidad)

12 de 18

Figura E.7: Formato de Solicitud para Autorización de Elemento Radiador

CO DA-01/2010

APÉNDICE "B"
FORMATO PARA LA PORTADA DE LAS CARPETAS
(hoja membretada de la empresa con logotipo, nombre, domicilio y teléfono)

NOMBRE DEL SOLICITANTE PERSONA FÍSICA Ó MORAL

SITIO: Arial 16

**NOMBRE COMPLETO DEL SITIO
PROPUESTO** Arial 24

COORDENADAS:
GRADOS, MINUTOS, SEGUNDOS LN; GRADOS, MINUTOS,
SEGUNDOS LW Arial 16

MUNICIPIO:
NOMBRE DEL MUNICIPIO Arial 16

ESTADO:
NOMBRE DEL ESTADO Arial 16

ALTURA SOLICITADA: Arial 16
ESPECIFICAR LA ALTURA EN m.s.n.t.

(Se deberán respetar tipos y tamaños de letra)

13 de 18

Figura E.8: Formato para la Portada de las Carpetas de la Solicitud para Autorización de Elemento Radiador

CO DA-01/2010

APÉNDICE "C"

**FORMATO PARA EL CUADRO DE REFERENCIAS QUE SE DEBERÁ COLOCAR EN LAS
CARTAS TOPOGRÁFICAS DEL INEGI ESCALA 1:50 000**

RAZÓN SOCIAL
PERSONA FÍSICA Ó MORAL

(LOGOTIPO DEL
SOLICITANTE)

NOMBRE DEL SITIO:

MUNICIPIO:

ESTADO:

COORDENADAS GEOGRÁFICAS (WGS 84):

ELEVACIÓN DEL SITIO PROPUESTO: (en metros sobre el nivel medio del mar)

DOMICILIO: (del predio donde se emplazará el elemento radiador)

ALTURA SOLICITADA: (en metros sobre el nivel del terreno)

AEROPUERTO DE REFERENCIA:

ELEVACIÓN DEL AEROPUERTO DE REFERENCIA:

DISTANCIA A LA CABECERA MÁS CERCANA:

Arial 10

12 cm.

(Este cuadro se deberá colocar en el extremo inferior derecho de la carta topográfica cuidando no cubrir las referencias gráficas y el nombre de la misma)

(Se deberán respetar tipos de letra y dimensiones del cuadro)

14 de 18

Figura E.9: Formato para el Cuadro de Referencias que se deberá colocar en las cartas topográficas del INEGI escala 1:50,000.

Bibliografía

- [1] *Acuerdo por el que se adopta el estándar para la radio digital terrestre y se establece la política para que los concesionarios y permisionarios de radiodifusión en las bandas 535-1705 kHz y 88-108 MHz, lleven a cabo la transición a la tecnología digital en forma voluntaria.* Diario Oficial de la Federación, México, 16 de junio de 2011.
- [2] *AM Broadcast Groundwave Field Strength Graphs.* <http://www.fcc.gov/encyclopedia/am-broadcast-groundwave-field-strength-graphs-sections-73183-and-73184>. Federal Communications Commission, United States of America, consulta: 5 de junio de 2013.
- [3] *AM Query Broadcast Station Search.* <http://www.fcc.gov/encyclopedia/am-query-broadcast-station-search>. Federal Communications Commission, United States of America, consulta: 25 de septiembre de 2013.
- [4] *Ampliación de plazos por modificación de características técnicas o para cumplimiento de obligaciones (COFETEL-11-022).* http://207.248.177.30/rfts/formulario/tramite.asp?coNodes=1189941&num_modalidad=0&epe=0&nv=0. Registro Federal de Trámites y Servicios, Comisión Federal de Mejora Regulatoria COFEMER, consulta: 30 de septiembre de 2013.
- [5] *Autorización de equipo transmisor auxiliar (COFETEL-11-008).* http://207.248.177.30/rfts/formulario/tramite.asp?coNodes=1186248&num_modalidad=0&epe=0&nv=0. Registro Federal de Trámites y Servicios, Comisión Federal de Mejora Regulatoria COFEMER, consulta: 30 de septiembre de 2013.

- [6] *Autorización de modificación a las características técnicas de operación de estaciones y equipos de radio y televisión: Frecuencia o potencia en estaciones de AM (COFETEL-11-017-F)*. http://207.248.177.30/rfts/formulario/tramite.asp?coNodes=1183624&num_modalidad=6&epe=0&nv=0. Registro Federal de Trámites y Servicios, Comisión Federal de Mejora Regulatoria COFEMER, consulta: 30 de septiembre de 2013.
- [7] *Autorización de modificación a las características técnicas de operación de estaciones y equipos de radio y televisión: Ubicación de estaciones de radio AM (COFETEL-11-017-C)*. http://207.248.177.30/rfts/formulario/tramite.asp?coNodes=1183624&num_modalidad=3&epe=0&nv=0. Registro Federal de Trámites y Servicios, Comisión Federal de Mejora Regulatoria COFEMER, consulta: 30 de septiembre de 2013.
- [8] *Cambio de equipo transmisor (COFETEL-11-015)*. http://207.248.177.30/rfts/formulario/tramite.asp?coNodes=1186249&num_modalidad=0&epe=0&nv=0. Registro Federal de Trámites y Servicios, Comisión Federal de Mejora Regulatoria COFEMER, consulta: 30 de septiembre de 2013.
- [9] *DECRETO por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de los artículos 6o., 7o., 27, 28, 73, 78, 94 y 105 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en materia de telecomunicaciones*. Creación del IFETEL, Diario Oficial de la Federación, 11 de junio de 2013.
- [10] *Densidad de Población de la República Mexicana*. <http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/densidad.aspx?tema=P>. Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI, consulta: 28 de octubre de 2013.
- [11] *In-band/on-channel Digital Radio Broadcasting Standar*. National Radio Systems Committee NRSC-5-C, United States of America, septiembre de 2011.
- [12] *Infraestructura de estaciones de radiodifusión en AM*. <http://www.cft.gob.mx:8080/portal/industria-intermedia/unidad-de-sistemas-de-radio-y-television/tramites-y-servicios/infraestructura-de-estaciones/>. Comisión Federal de Telecomunicaciones COFETEL, consulta: 26 de septiembre de 2013.

- [13] *Infraestructura de estaciones de radiodifusión en FM.* <http://www.ift.org.mx/iftweb/industria-intermedia/unidad-de-sistemas-de-radio-y-television/tramites-y-servicios/infraestructura-de-estaciones/>. Instituto Federal de Telecomunicaciones IFETEL, consulta: 28 de octubre de 2013.
- [14] *Instalación y operación de un sistema de enlace estudio - planta y control remoto, así como por la modificación al circuito del mismo: Instalación y operación de un sistema de enlace estudio - planta o control remoto (COFETEL-11-018-A).* http://207.248.177.30/rfts/formulario/tramite.asp?coNodes=1183625&num_modalidad=1&epe=0&nv=0. Registro Federal de Trámites y Servicios, Comisión Federal de Mejora Regulatoria COFEMER, consulta: 30 de septiembre de 2013.
- [15] *Instalación y operación de un sistema de enlace estudio - planta y control remoto, así como por la modificación al circuito del mismo: Modificación de un sistema de enlace estudio - planta o control remoto (COFETEL-11-018-B).* http://207.248.177.30/rfts/formulario/tramite.asp?coNodes=1183625&num_modalidad=2&epe=0&nv=0. Registro Federal de Trámites y Servicios, Comisión Federal de Mejora Regulatoria COFEMER, consulta: 30 de septiembre de 2013.
- [16] *Modificación a la Norma Oficial Mexicana, NOM-01-SCT1-93, Especificaciones y requerimientos para la instalación y operación de estaciones de radiodifusión sonora moduladas en amplitud.* Norma Oficial Mexicana NOM-01-SCT1-93. Diario Oficial de la Federación, 31 de enero de 2000.
- [17] *Procedimientos para el otorgamiento de autorización de emplazamiento de elementos radiadores en el territorio nacional.* Secretaría de Comunicaciones y Transporte, Dirección General de Aeronáutica Civil, Circular Obligatoria, 27 de abril de 2010.
- [18] *Registro Federal de Trámites y Servicios.* <http://207.248.177.30/BuscadorTramites/BuscadorGeneralHomoclave.asp>. Comisión Federal de Mejora Regulatoria COFEMER, consulta: 30 de septiembre de 2013.

-
- [19] T. ANDERSON, *HD Radio TM Data Network Requirements*, iBiquity Digital Corporation, Octubre 26, 2006.
- [20] D. R. JEFF, *Conversion Requirements for AM and FM IBOC Transmission*, iBiquity Digital Corporation.
- [21] S. A. JOHNSON, *The Structure and Generation of Robust Waveforms for AM In Band On Channel Digital Broadcasting*, iBiquity Digital Corporation.