

01170



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

“ CÁLCULOS DE ATENUACIÓN POR
LLUVIA PARA COMUNICACIONES VÍA
SATÉLITE EN LAS BANDAS Ku Y Ka PARA
LA REPÚBLICA MEXICANA ”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

P R E S E N T A

Ing. Pablo Jacobo Romero



DIRECTOR DE TESIS: DR. SALVADOR LANDEROS AYALA

Ciudad Universitaria.

Mayo 2005.

m. 344655



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Esta tesis está especialmente dedicada al **Pbro. Pedro Romero** , que por azares del destino tuvo que partir antes de tiempo, pero cada día de nuestras vidas estará presente por el gran legado de fe que nos ha dejado , Siempre te recordaremos "CHAVO" , gracias por *todo*.

A mis Padres:

Por ser siempre un ejemplo a seguir, por su apoyo incondicional , por su paciencia y por darme la mejor herencia que se le puede dar a un hijo " la educación " , solo puedo decirles gracias y espero que me alcance la vida para poder retribuirles un poco de lo mucho que me han dado .

A mis Hermanos :

Gracias por toda su ayuda, no solo en la escuela si no en la vida, en especial quisiera agradecer a Mauricio por ser un gran apoyo y darme esos invaluable consejos que trataré de aplicar en mi vida, siempre estaré en deuda contigo.

A mis Abuelos:

Su recuerdo me acompañará siempre.

Al Dr. Salvador Landeros

Gracias por compartir con nosotros todos sus conocimientos y experiencia, le agradezco infinitamente el tiempo dedicado y el interés por este trabajo, a pesar de sus múltiples actividades , sin su ayuda y consejos no hubiera sido posible la realización de este trabajo .

Al Dr. Carlos Rivera Rivera

Por su gran apoyo y consejos que en este tiempo me ha brindado.

Al comité de Sinodales

Agradezco a los profesores que formaron parte del jurado: Dr. Miguel Moctezuma, Dr. Víctor García , Dr. Augusto García y el Dr. Carlos Rivera quienes sugirieron las correcciones pertinentes para la realización de esta tesis.

A la UNAM

Gracias por otorgarme la mejor herramienta de vida.

Pablo Jacobo Romero.

Índice

Introducción

Capítulo I . Antecedentes

Tipos de satélites
Clasificación de órbitas y espaciamiento
Modelos de enlace de sistemas satelitales
Sistemas Satelitales Mexicanos
Características de la banda Ku
Características de la banda Ka
Satélite ACTS de la NASA

Capítulo II . Propagación a través de la atmósfera

Propagación de la ondas electromagnéticas en la atmósfera
Refracción de la trayectoria radioeléctrica
Refracción en la Troposfera
Refracción en la Ionosfera
Atenuación en el espacio libre
Influencia de los hidrometeoros sobre la polarización
Modificación del plano de polarización
Rotación del plano de polarización
Centelleo en la Ionosfera
Centelleo en Troposfera
Atenuación por la capa de descongelamiento
Efectos de la niebla y la nubes
Efectos de la nieve y el granizo
Retardo y distorsión del tiempo de propagación
Ruido externo
Ruido proveniente del cielo
Ruido debido a la radiación de la tierra
Atenuación por absorción de gases

Capítulo III . Características de la Precipitación Pluvial.

Características y sistemas de lluvia
Tipos de lluvia
Estimación de la razón de lluvia
Macroestructura de la lluvia
Altura isotérmica de 0°C y la altura de la lluvia
Microestructura de la lluvia
Atenuación específica

Capítulo IV . Atenuación y modelos de atenuación por lluvia

Atenuación por lluvia

Modelos de precipitación Pluvial

Modelos matemáticos de predicción de atenuación por lluvia

Modelo ITU-R

Modelo DAH

Modelo Global de Crane

Modelo de España

Modelo de Korea

Modelo Zhao

Capítulo V . Cálculo de los márgenes de atenuación por lluvia para México

Recopilación de datos

Márgenes de precipitación pluvial para México

Resultados de los cálculos de atenuación por lluvia con los distintos modelos matemáticos

Análisis de resultados

Error de predicción de los modelos matemáticos para la banda Ka

Márgenes de atenuación por lluvia para la banda Ka

Actualización de los márgenes de atenuación por lluvia para la banda Ku

Conclusiones

Bibliografía

Anexo A

Anexo B

Resumen

El objetivo de este trabajo, es mostrar un estudio que describa de forma detallada la utilización de recientes modelos matemáticos para el cálculo de atenuación por lluvia, de manera que podamos actualizar los márgenes de atenuación que utilizan los satélites mexicanos en la banda Ku actualmente y calcular los márgenes de atenuación por lluvia para futuros enlaces en la banda Ka.

Para esto se analizaron las diferentes zonas hidrometeorológicas del país (divisiones realizadas de acuerdo a la precipitación pluvial en cada una de ellas), utilizando los modelos de intensidad de lluvia excedida de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU), Global de Crane y el modelo López-Shunía, este último realizado por el Ing. Jorge López Shunía hace 20 años, basado en datos específicos de lluvia en México, estos valores estadísticos de lluvia excedida se combinaron con los modelos matemáticos para el cálculo de la atenuación de la ITU-R, España, Korea, DAH, Global de Crane y Zhao, aplicándolo a 61 de las principales ciudades del país dada su importancia económica o por su similitud con las ciudades seleccionadas en los experimentos realizados por el ACTS (Advanced Communications Technology Satellite) de la NASA.

Una vez obtenidos los resultados de estas combinaciones se compararon con los datos experimentales recabados por el satélite ACTS para la banda Ka y se seleccionó la combinación de modelos que se aproximó más a estos valores, de tal manera se pudo establecer cuál es el método más apropiado para ser utilizado en los cálculos de enlaces para los satélites mexicanos.

Con la combinación que obtuvo el menor error de predicción se calcularon los márgenes de atenuación por lluvia para un enlace tierra-espacio en la banda Ka y se recalculan los márgenes de atenuación para la banda Ku.

Con este estudio se pretende garantizar la certidumbre en cálculos de enlaces de transmisión de microondas satelitales con lo que respecta a la atenuación por lluvia para las bandas de frecuencias Ku y Ka.

Introducción

Desde que en 1957 el lanzamiento del Sputnik-1 supuso el comienzo de la era de los satélites artificiales y su posterior uso en aplicaciones para el interés de la comunidad mundial, la tecnología ha avanzado en este aspecto de manera espectacular, y uno de los campos en los cuales se ha manifestado especialmente dicho avance, es en las aplicaciones que conciernen a las comunicaciones .

La comunicación a través de satélites ha contribuido a la transformación de dos de las dimensiones humanas: espacio y tiempo. Por tal razón ya no se experimenta asombro ante la difusión de un evento o acontecimiento que puede llegar a cualquier parte del mundo en el momento que sucede. La distancia y el tiempo ya no son límites para la comunicación.

La función de los satélites de comunicación en la actualidad es de gran importancia principalmente en áreas como: Internet, Educación a distancia, Radiodifusión (Televisión comercial, Televisión corporativa, Televisión directa al hogar, etc.), Telefonía (internacional y rural), y Telemedicina. Un ejemplo de esto se encuentra en el sector educativo, ya que desde hace varios años Edusat desarrolla programas de alfabetización a distancia en todo el país.

Las bandas de transmisión más utilizadas en los satélites comerciales son las bandas C y la banda Ku .

Pero debido al gran avance de la informática y las telecomunicaciones , en la actualidad el flujo de comunicaciones , ha venido tomando tales dimensiones que el medio está formando nuevos tipos de usuarios, que exigen una mayor cobertura para los servicios de comunicación , provocando que todos aquellos elementos que uno asocia con un modelo de vida alto desde la educación y el cuidado de la salud hasta el desarrollo económico y los servicios públicos se conviertan cada vez más dependientes de un flujo de información que aumenta

constantemente. En áreas altamente urbanizadas, esta exigencia de información está siendo satisfecha a través de las conexiones de anchos de banda altos, de fibras ópticas de alta calidad y de nuevas tecnologías de telecomunicaciones.

Dada esta demanda de información, existe una problemática en los sistemas satelitales que utilizan las bandas C y Ku , ya que estos están integrados por satélites que no cuentan con reutilización de haces de frecuencia, lo que limita su capacidad. Por otro lado el acceso al satélite hace uso de técnicas TDMA, sin considerar el uso de transmisiones de datos por paquetes. Otro punto importante es que en la posición del arco orbital que se comparte con Canadá y Estados Unidos no se cuenta con posiciones adicionales en banda Ku y C , que permitan satisfacer las necesidades de comunicación anteriormente planteadas. Además, que no se cuenta con la tecnología de compartición de espectro de haces y no se tiene un costo accesible de terminales de usuario para dichas bandas.

Por estos motivos se ha tratado de buscar nuevas alternativas para satisfacer a estos nuevos usuarios. Los sistemas de banda Ka gozan de la ventaja de ser concebidos en el momento de madurez y crecimiento de diversas tecnologías y necesidades de comunicación : acceso de gran velocidad a internet, desarrollo de terminales de alta capacidad, aplicaciones de transmisión de datos de alta velocidad , desarrollo de satélites de gran potencia y complejidad tecnológica , desarrollo de información de alto volumen de contenidos y además ofrece una solución a la escasez de espectro que actualmente se ve en la bandas de frecuencias bajas.

Varios satélites experimentales han sido utilizados para recabar datos suficientes de propagación en la banda Ka, antes de que sea utilizada extensivamente y de manera comercial . Entre ellos están, el ACTS de la NASA de los Estados Unidos y el Olympus de la Agencia Espacial Europea.

Los estudios realizados con estos satélites muestran que uno de los principales factores a considerar en un enlace tierra-espacio en bandas de frecuencia alta, es la atenuación debida a la lluvia ya que este fenómeno ocurre cuando una señal electromagnética pasa a través de la atmósfera, esto es un debilitamiento del nivel de la señal y es causado por la absorción y dispersión de la onda electromagnética al contacto con las gotas de lluvia, la atenuación de las señales electromagnéticas aumenta como función del cuadrado de la frecuencia, en condiciones de cielo despejado. Si llueve, la situación empeora aún más y la calidad de las transmisiones puede ser muy pobre o, inclusive, bajo condiciones de fuerte lluvia, el servicio puede ser interrumpido. Estos niveles de atenuación por lluvia en la banda Ka son mayores que los que sufren las ondas en las bandas C y Ku. Por lo tanto es necesario conocerlos para diseñar correctamente los parámetros de operación de un satélite y sus estaciones terrenas.

La potencia de los transmisores, los diámetros de las antenas, la velocidad de transmisión y la calidad dependerán siempre de la confiabilidad requerida y de la intensidad de la lluvia, por zonas geográficas.

Para evitar la pérdida de la comunicación se le agrega a la señal un margen de atenuación por lluvia en el cálculo del enlace, estos márgenes son obtenidos en función del clima de cada lugar aplicados a un modelo matemático, esto es por zonas hidrometeorológicas. El problema es que estas últimas son propuestas de manera diferente por cada modelo así que se debe seleccionar el más óptimo en la obtención de los márgenes para cada localidad en particular.

En los últimos años han aparecido diversos modelos empíricos para el cálculo de atenuación por lluvia, que combinados con los modelos de precipitación pluvial mundiales, han arrojado cada vez resultados más exactos comparándolos con los datos obtenidos con los satélites experimentales.

Por esta razón es recomendable debido a los cambios climatológicos de las últimas décadas y a la reciente aparición de modelos matemáticos más exactos, el recalcular dichos márgenes de atenuación en lo que respecta a la banda Ku que son empleados hoy en día por SATMEX ya que fueron calculados hace 20 años y aunque México en la actualidad no cuenta con satélites operando en la banda Ka, las tendencias de utilización de esta, hacen muy probable que uno de los próximos satélites mexicanos de nueva generación utilice también dicha banda Ka, por tal motivo, es importante conocer que combinación de los modelos matemáticos actuales para el cálculo de atenuación por lluvia y de precipitación pluvial es la más apropiada para obtener los márgenes de atenuación por lluvia para estas bandas de frecuencias.

En el Capítulo 1 se describen las características más importantes de los sistemas satelitales, su funcionamiento, la banda de frecuencias utilizada, así como también se mencionarán las características de los satélites mexicanos empleados en la actualidad, de igual forma se describirá el satélite ACTS de la NASA y algunos de sus experimentos realizados para la banda de frecuencias Ka.

En el capítulo 2 se presentarán los efectos que sufren las ondas electromagnéticas en la propagación a través de la atmósfera.

En el capítulo 3 se hablará de los sistemas de lluvia, la macroestructura y microestructura de esta, así como también se mencionará la atenuación específica.

En el capítulo 4 se presentarán los modelos de precipitación utilizados (Global de Crane y el de la ITU) y se describirán los modelos matemáticos empleados para el cálculo de la atenuación por lluvia.

En el capítulo 5 se calcularán los márgenes de precipitación pluvial y de atenuación por lluvia para las 61 ciudades seleccionadas , y se comparan los resultados obtenidos , para determinar cuál es el modelo de mayor exactitud.

En el anexo A, se presenta el programa realizado para los cálculos de atenuación por lluvia , el cual fue desarrollado en el lenguaje de programación Visual Basic de Microsoft .

En el anexo B , se muestran todos los cálculos de atenuación por lluvia realizados para las 61 ciudades seleccionadas con los las diferentes combinaciones de los modelos de precipitación pluvial y los modelos matemáticos de atenuación por lluvia.

Capítulo I

Antecedentes.

A principios de 1960 la American Telephone and Telegraph Company (AT&T) publicó unos estudios, indicando que unos cuantos satélites poderosos, podían soportar más tráfico que toda la red AT&T de larga distancia. Sin embargo por lo que AT&T era un proveedor de servicios, los reglamentos del gobierno le impedían desarrollar los sistemas de satélite.

A través de los años, los precios de los servicios de comunicación por satélite se han vuelto más accesibles; en la mayoría de los casos los sistemas de satélites ofrecen más flexibilidad que los cables submarinos, cables subterráneos, sistemas de microondas, líneas de vista o sistemas de fibra óptica.

Esencialmente, un satélite de comunicaciones es un repetidor de radio en el espacio (transpondedor). Un sistema de satélite consiste de un transpondedor, una estación terrena, para controlar su funcionamiento y una red de usuarios, de las estaciones terrenas, que proporcionan las facilidades para transmisión y recepción de tráfico de comunicaciones, a través del sistema de satélite. Las transmisiones de satélite se catalogan como *bus o carga útil*. La de Bus incluye mecanismos de control que apoyan la operación de carga útil. La de carga útil es la información del usuario que será transportada a través del sistema.

El tipo más sencillo de satélite es el *reflector pasivo*, un dispositivo que simplemente rebota una señal de un lugar a otro. La Luna se convirtió en el primer satélite pasivo a finales de los años 40. En 1956 se estableció un servicio de transmisión, entre Washington y Hawai y, hasta 1962 ofreció comunicaciones de larga distancia confiables. El servicio estaba limitado sólo por la disponibilidad de la Luna.[1]

En 1957, Rusia lanzó el *sputnik I* , el primer satélite terrestre activo. Un satélite activo es capaz de recibir, amplificar y retransmitir información de y a las estaciones terrestres. *Sputnik I*, transmitió información telemétrica por 21 días. Más adelante en el mismo año, Estados Unidos lanzó el *explorer I* el cual transmitió información telemétrica por casi 5 meses.

En 1958, la NASA lanzó el *Score*, un satélite con forma cónica , con una grabación a bordo, *Score* emitió el mensaje navideño del presidente Eisenhower. Fue el primer satélite artificial usado para retransmitir las comunicaciones terrestres. *Score* recibía transmisiones de las estaciones terrenas, las almacenaba en cinta magnética y las emitía a las estaciones terrenas más adelante en su órbita.

Tipos de Satélites

Por su órbita:

En forma muy general las órbitas de los satélites de comunicación se puede clasificar por su altura de la siguiente manera :

- *Satélites Geoestacionarios (GEO)*

En una órbita circular ecuatorial de altitud 35.786 Km. Centenares de satélites de comunicaciones están situados a 36.000 Km de altura y describen órbitas circulares sobre la línea ecuatorial. A esta distancia el satélite da una vuelta a la Tierra cada 24 horas permaneciendo estático para un observador situado sobre la superficie terrestre. Por tal razón son llamados geoestacionarios. Son necesarios solo 3 satélites en esta órbita para abarca toda la tierra.[2]

- *Satélites de Orbita Media (MEO)*

Estos Satélites se encuentran ubicados a una altitud de 9,000 a 14,500 Km. De 10 a 15 satélites son necesarios para abarcar toda la Tierra.

- *Satélites de Órbita Baja (LEO)*

Satélites ubicados de 725 a 1,450 Km de altitud . Son necesarios más de unos 40 satélites para una cobertura total de la tierra.

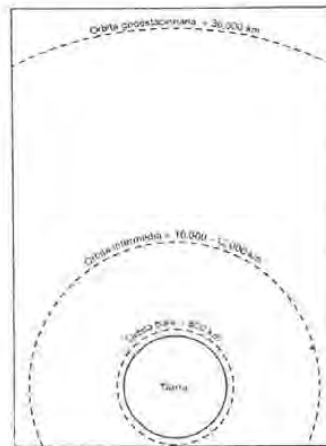


Figura 1.1 Altitudes típicas de las órbitas bajas e intermedias en comparación con la órbita geostacionaria

Por su finalidad:

- Satélites de Telecomunicaciones (Radio y Televisión)
- Satélites Meteorológicos.
- Satélites de Navegación.
- Satélites Militares y espías.
- Satélites de Observación de la tierra.
- Satélites Científicos y de propósitos experimentales.

Patrones Orbitales

Una vez proyectado, un satélite permanece en órbita debido a que la fuerza centrífuga, causada por su rotación alrededor de la Tierra, es contrabalanceada por la atracción gravitacional de esta. Tres satélites igualmente espaciados podrían cubrir toda la zona del planeta, menos las áreas no pobladas de los polos Norte y Sur. Cuando un satélite gira en una órbita por encima del ecuador se llama órbita ecuatorial. Cuando un satélite gira en una órbita que lo lleva

arriba de los polos norte y sur, se llama órbita polar. Cualquier otro trayecto, se llama órbita inclinada.

Para orientar una antena desde una estación terrena hacia un satélite, es necesario conocer el ángulo de elevación y el azimut. Estos se llaman ángulos de vista.

Angulo de elevación

Es el ángulo formado entre la dirección de viaje de una onda radiada desde una antena de la estación terrena y la horizontal, o el ángulo de la antena de la estación terrena entre el satélite y la horizontal. Como con cualquier onda propagada a través de la atmósfera de la Tierra sufre absorción y, también, puede contaminarse severamente por el ruido.[3]

Azimut

Es el ángulo de apuntamiento horizontal de una antena. Normalmente se mide en una dirección, según las manecillas del reloj, en grados del norte verdadero. El ángulo de elevación y el azimut dependen ambos, de la latitud y longitud de la estación terrena , así como el satélite en órbita.

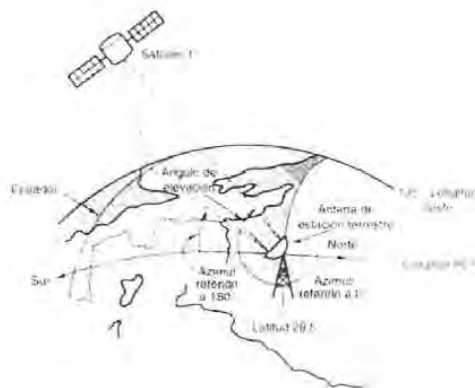


Figura 1.2 Ángulos de Visión : Azimut y ángulo de Elevación

Clasificaciones orbitales y espaciamiento

Hay dos clasificaciones principales para los satélites de comunicaciones: hiladores (spinners) y satélites estabilizadores de tres ejes. Los satélites spinner, utilizan el movimiento angular de su cuerpo giratorio para proporcionar una estabilidad de giro. Con un estabilizador de tres ejes, el cuerpo permanece fijo en relación a la superficie de la Tierra, mientras que el subsistema interno proporciona una estabilización de giro.[4]

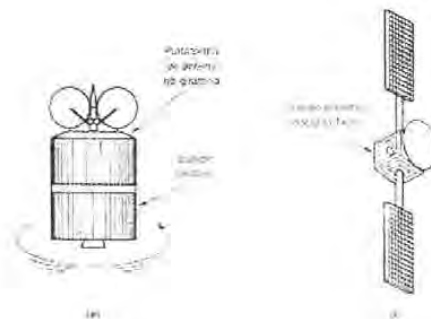


Figura 1.3 Clase de satélites : a) giratorios ; b) estabilizador

Los satélites geoestacionarios deben compartir un espacio y espectro de frecuencia limitados, dentro de un arco específico, en una órbita geoestacionaria. Cada satélite de comunicación se asigna una longitud en el arco geoestacionario, aproximadamente a 22.300 millas, arriba del ecuador. Los satélites trabajando, en o casi en la misma frecuencia, deben estar lo suficientemente separados en el espacio para evitar interferir uno con otro. Hay un límite realista del número de estructuras satelitales que pueden estar estacionadas, en un área específica en el espacio. La separación espacial requerida depende de las siguientes variables:

- ancho del haz y radiación del lóbulo lateral de la estación terrena y antenas del satélite
- frecuencia de la portadora de RF

- técnica de codificación o de modulación usada
- límites aceptables de interferencia
- potencia de la portadora de transmisión

Las frecuencias de la portadora más comunes, usadas para las comunicaciones por satélite, son las bandas 6/4 y 14/12 GHz. El primer número es la frecuencia de subida (ascendente) (estación terrena a transpondedor) y el segundo número es la frecuencia de bajada (descendente) (transpondedor a estación terrena). Diferentes frecuencias de subida y de bajada se usan para prevenir que ocurra repetición. Entre más alta sea la frecuencia de portadora, más pequeño es el diámetro requerido de la antena para una ganancia específica. La mayoría de los satélites domésticos utilizan la banda de 6/4 GHz. Desafortunadamente esta banda se utiliza para los sistemas de microondas terrestres. Se debe tener cuidado cuando se diseña una red satelital para evitar interferencia con enlaces de microondas.

Por razones prácticas, a las bandas de frecuencias más comunes para el servicio por satélite se les designa por fabricantes de equipos, operadores de satélites y usuarios por medio de letras empleadas originalmente para radar, aunque no son utilizadas oficialmente por la UIT. Las principales bandas para los servicios por satélite son:

BANDA	EJEMPLOS DE ATRIBUCIÓN (GHZ)	DESIGNACIÓN ALTERNATIVA
L	1.525 – 1.71	Banda de 1.5 GHZ
S	1.99 – 2.20 2.5 – 2.69	Banda de 2 GHz Banda de 2.5 GHz
C	3.4 – 4.2, 4.5 – 4.8, 5.15 – 5.25, 5.85 – 7.075	Banda de 4/6 GHz Banda de 5/7 GHz
X	7.2 – 8.4	Banda de 7/8 GHz
Ku	10.7 – 13.25, 13.75 – 14.8	Banda de 11/14 GHz
Ka	27.0 – 31.0	Banda de 30 GHz
V	50 – 51	Banda de 50 GHz

Tabla 1.1 Bandas de Frecuencias

Patrones de radiación

Los satélites proyectan haces sobre la superficie terrestre que pueden llegar a tener diámetros desde 600 hasta 58.000 Km. , los haces satelitales son divididos en celdas, cuyas frecuencias pueden ser reutilizadas en diferentes celdas no adyacentes.

El área de la Tierra cubierta por un satélite depende de la ubicación del satélite en su órbita geosíncrona, su frecuencia de portadora y la ganancia de sus antenas. Los ingenieros satelitales seleccionan la frecuencia de portadora y la antena para un satélite, en particular, para concentrar la potencia transmitida limitada en un área específica de la superficie de la tierra. La representación geográfica del patrón de radiación de la antena de un satélite se llama *huella*. Las líneas de contorno representan los límites de la densidad de potencia de igual recepción.[5]

El patrón de radiación de una antena de satélite se puede catalogar como de punto, zonal o tierra. Los patrones de radiación de las antenas de cobertura de la tierra tienen un ancho de haz de casi 17° e incluyen la cobertura de aproximadamente un tercio de la superficie de la tierra. La cobertura zonal incluye un área menor a un tercio de la superficie de esta. Los haces de puntos concentran la potencia radiada en un área geográfica muy pequeña.

Reutilizar frecuencias

Cuando se llena una banda de frecuencia asignada, se puede lograr la capacidad adicional para reutilizar el espectro de la frecuencia. Incrementando la ganancia de una antena, el ancho del haz de la antena también se reduce. Por lo tanto, diferentes rayos de la misma frecuencia pueden ser dirigidos a diferentes áreas geográficas de la Tierra. Esto se llama reutilizar la frecuencia. Otro método para reutilizar la frecuencia es usar la polarización dual. Diferentes señales de información se pueden transmitir a diferentes receptores de estaciones terrestres utilizando la misma banda de frecuencias, simplemente

orientando sus polarizaciones electromagnéticas de una manera ortogonal (90° fuera de fase).

Modelos de enlaces de los sistemas satelitales

Esencialmente, un sistema satelital consiste de tres secciones básicas: una subida, un transpondedor satelital y una bajada.[6]

Modelo de subida

El principal elemento dentro de esta sección es el transmisor de la estación terrena. Un típico transmisor de la estación terrena consiste de un modulador de IF, un convertidor de microondas de IF a RF, un amplificador de alta potencia (HPA) y algún medio para limitar la banda del último espectro de salida (por ejemplo, un filtro pasa-bandas de salida).

El modulador de IF convierte las señales de banda base de entrada a una frecuencia intermedia modulada en FM, en PSK o en QAM. El convertidor (mezclador y filtro pasa-bandas) convierte la IF a una frecuencia de portadora de RF apropiada. El HPA proporciona una sensibilidad de entrada adecuada y potencia de salida para propagar la señal al transponder del satélite. Los HPA comúnmente usados son klistrones y tubos de ondas progresiva.

Transpondedor

Consta de un dispositivo para limitar la banda de entrada (BFP), un amplificador de bajo ruido de entrada (LNA), un desplazador de frecuencia, un amplificador de potencia de bajo nivel y un filtro pasa-bandas de salida. En la figura 1.4 se muestra el diagrama de un repetidor de RF a RF. Otras configuraciones de transpondedor son los repetidores de IF, y de banda base, semejantes a los que se usan en los repetidores de microondas. El BFP de entrada limita el ruido total aplicado a la entrada del LNA (diodo tunel). La salida del LNA alimenta a un desplazador de frecuencia (un oscilador de

desplazamiento y un BFP), que convierte la frecuencia de subida de banda alta a una frecuencia de bajada de banda baja. El amplificador de potencia de bajo nivel, que es comúnmente un tubo de ondas progresivas, amplifica la señal de RF para su transmisión por medio de la bajada a los receptores de la estación terrena. Cada canal de RF del satélite requiere de un transpondedor por separado.

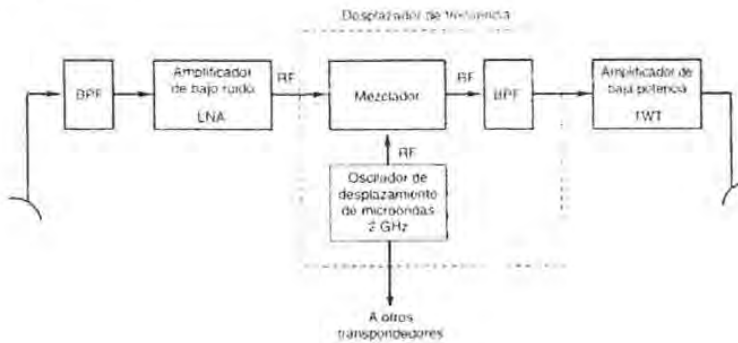


Figura 1.4 Transpondedor de satélite

Modelo de bajada

Un receptor de estación terrena incluye un BPF de entrada, un LNA y un convertidor de RF a IF. Nuevamente, el BPF limita la potencia del ruido de entrada al LNA. El LNA es un dispositivo altamente sensible con poco ruido. El convertidor de RF a IF es una combinación de filtro mezclador/pasa-bandas que convierte la señal de RF recibida a una frecuencia de IF.

Enlaces cruzados

Ocasionalmente, hay una aplicación en donde es necesario comunicarse entre satélites. Esto se realiza usando enlaces cruzados entre satélite o enlaces intersatelitales (ISL). Una desventaja de usar un ISL es que el transmisor y receptor son enviados ambos al espacio. Consecuentemente, la potencia de salida del transmisor y la sensibilidad de entrada del receptor se limitan.

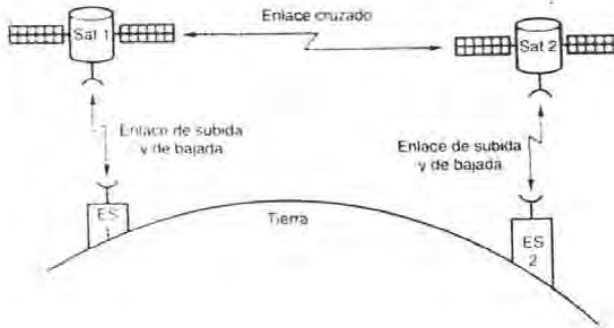


Figura 1.5 Enlace entre satélites

Funcionamiento Básico de un satélite

Un satélite puede dividirse en dos partes fundamentales para su operación: el conjunto de equipos y antenas que procesan las señales de comunicación de los usuarios como función substancial, denominado carga útil o de comunicaciones, y la estructura de soporte con los elementos de apoyo a dicha función, denominada plataforma. [7]

La carga útil tiene el amplio campo de acción de la cobertura de la huella del satélite y del empleo de las ondas de radio en una extensa gama de frecuencias que constituyen la capacidad de comunicación al servicio de los usuarios, en tanto que la acción de los elementos de la plataforma no se extiende fuera de los límites del propio satélite, salvo en la comunicación con el centro de control.

La estructura de la plataforma sirve de soporte tanto para sus demás elementos como para la carga útil. Debe tener la suficiente resistencia para soportar las fuerzas y vibraciones del lanzamiento y a la vez un peso mínimo conveniente. Está construida con aleaciones metálicas ligeras y con compuestos químicos de alta rigidez y bajo coeficiente de dilatación térmica.

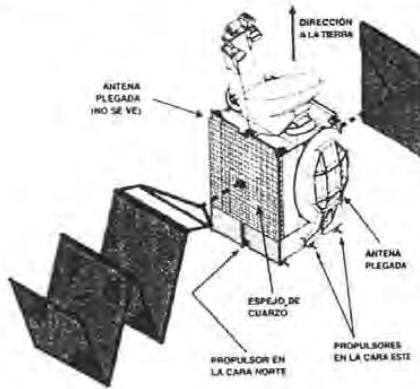


Figura 1.6 Estructura de un satélite estabilizador

Los sistemas de propulsión pueden incluir un motor de apogeo que permite al satélite llegar a su órbita de destino después de ser liberado por el vehículo de lanzamiento si este no lo hace directamente. Los satélites pueden emplear propulsores líquidos, gas o iones. En los satélites geoestacionarios típicos los propulsores químicos requeridos para conservar su posición durante su vida útil representa el 20 o 40% de masa adicional a la de nave sin combustible.

El subsistema de control de orientación está constituido por las partes y componentes que permiten conservar la precisión del apuntamiento de la emisión y recepción de las antenas del satélite dentro de los límites de diseño, corrigiendo no sólo las desviaciones de estas por dilatación térmica e imprecisión de montaje, sino de toda la nave en su conjunto.

El subsistema de energía está constituido generalmente por células solares que alimentan los circuitos eléctricos de la nave, las baterías que aseguran el suministro durante los eclipses y los dispositivos de regulación.

El subsistema de telemetría permite conocer el estado de todos los demás subsistemas. Utiliza un gran número de sensores que detectan o miden estados de circuitos y variaciones de temperatura, presión, voltaje, corriente eléctrica, etc., convierte esa información en datos codificados y los envía en

secuencia al centro de control a través de un canal especial de comunicación, se repite esto en intervalos de tiempo iguales.

El sistema de telemando permite enviar órdenes al satélite desde el centro de control a través de un canal de comunicación dedicado que se activa cuando éstas se transmiten. Los comandos pueden tener efecto tanto sobre la carga útil como sobre la plataforma y solo son admitidos por el satélite mediante códigos de seguridad que evitan su acceso ilegítimo.

Para evitar variaciones de temperatura extremas en los componentes del satélite, fuera de las toleradas por el sistema, el **subsistema de control térmico** emplea conductores de calor y radiadores que lo disipan fuera de la plataforma. También protege contra el frío intenso por medio de calefactores eléctricos y emplea materiales aislantes para lograr el equilibrio térmico requerido dentro de la nave.

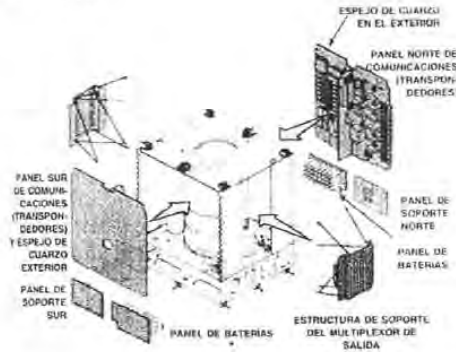


Figura 1.7 Integración del cuerpo principal de un satélite Triaxial.

Sistemas Satelitales Mexicanos

En 1995 se reformó el régimen de la participación exclusiva del Estado en la prestación del servicio de comunicación vía satélite por otro que permite el involucramiento de particulares. Desde entonces, tal apertura y el uso de nuevas tecnologías han ampliado la competencia en ese terreno.

Con base en este nuevo marco jurídico, se planteó la desincorporación del sistema satelital mexicano, a fin de integrar nuevos socios que invirtieran en

sus etapas posteriores de desarrollo. El proceso consideró la enajenación a particulares del 75% del capital social del sistema, conservando el gobierno federal el 25% restante. Además, el Estado se reservó el 7% de la capacidad total del sistema, para prestar servicios sociales y de seguridad nacional, el subsistema de banda L para comunicaciones móviles y rurales satelitales, y la operación y explotación de los telepuertos. Como resultado de esta desincorporación, se constituyó la empresa de participación estatal minoritaria Satélites Mexicanos (SATMEX), a la cual Telecomunicaciones de México (Telecomm) transfirió los activos, el personal y los contratos de servicio.[L1]

Asimismo, se otorgaron a Satmex tres concesiones para ocupar y explotar igual número de posiciones orbitales geoestacionarias asignadas al país, bandas de frecuencias asociadas y derechos de emisión y recepción de señales. Lo anterior ha permitido tener disponible más capacidad satelital a concesionarios o permisionarios de redes públicas de telecomunicaciones.

Actualmente , Satmex cuenta con la siguiente flota de satélites :

Satélites Morelos

Los satélites Morelos I y II fueron parte de la primera generación de satélites mexicanos cuya construcción se inició en 1983. Fabricado por Hughes , El Morelos I fue lanzado el 17 de junio de 1985 en el transbordador Discovery mientras que unos meses después , el Morelos II se lanzaría al espacio el 27 de noviembre de 1985 en el transbordador espacial Atlantis .

Los satélites Morelos I y II de la serie HS376 , contaba con cohetes de propulsión fabricados por la compañía McDonel Douglas, para su lanzamiento se contrataron los servicios de transbordadores de la National Aeronautic and Space Administration (NASA) y la supervisión y el control de calidad de los equipos estuvo a cargo de la compañía COMSAT General . Los Morelos quedaron colocados en órbita geoestacionaria a 36 mil kilómetros sobre el Ecuador . Cada uno de los aparatos media 2.17m de diámetro y 2.85 de altura (plegado) y 6.62 m (desplegado) , teniendo un peso inicial en órbita de 1232 kg de los cuales 145 son combustible. La fuente primaria de energía eléctrica

requerida para su operación constaba de un dispositivo de celdas solares montado sobre su cuerpo cilíndrico y de un conjunto de baterías para casos de eclipses. Tenían capacidad para 32 canales de televisión o su equivalente de 32 mil canales telefónicos. Operaba en dos bandas distintas simultáneamente , la banda C (4 GHz - 6 GHz) y la Ku (12 GHz – 14 GHz).

Las características de ambos satélites eran : sistemas giratorios , tipo SPINNER , potencia de 800 Watts y vida útil de 7 años, situación que para el Morelo II se logró alargar debido a que por 3 años su órbita fue modificada y ahora se encuentra en una órbita inclinada.[L2]



Figura 1.8 Satélite Morelos II

Satélites Solidaridad

El sistema de satélites Solidaridad representa la segunda generación de comunicaciones espaciales para México. Son de la Serie HS601. Hughes Aircraft, subsidiaria de General motor , inició la construcción de los satélites bajo un modelo financiero a 10 años, mediante el cual el gobierno Mexicano pretendía generar un superávit de 800 millones de dólares. Ariane Space fué la encargada de ponerlos en órbita.[L3]

Como se mencionó anteriormente , en forma similar a los Morelos , cada uno de los Solidaridad , cuenta con 18 transpondedores en la banda C , pero con mucho mayor potencia que los primeros, y cobertura en más áreas geográficas, gracias a la tecnología de amplificadores de estado sólido empleados en su construcción.

Asimismo , dentro de la carga útil se cuenta con 16 transpondedores de banda Ku equivalente a 4 veces la capacidad que se tenía en los Morelos . Adicionalmente existe un sistema de transmisión en banda L , que permite dar servicios de comunicación móvil a todo el país , incluyendo sus costas y mar territorial. Las posiciones de los satélites geoestacionarios Solidaridad I y II son 109.2 ° W y 113 ° W respectivamente.

Todas las bandas cubren al territorio Nacional , además de las extensiones en banda Ku para coberturas en la frontera sur de los Estados Unidos, la costa este y las ciudades de San Francisco y los Ángeles. La cobertura en banda C se extiende hacia el caribe, Centro y Sudamérica.

Las características de los satélites Solidaridad I y II son: Sistemas triaxial , peso de 2791 kg. , sus dimensiones son 3.57 m x 3.14 m x 2.67 m (plegado) y 7m x 3.14 m x 21 m (desplegado), potencia de 2.5 Kwats y vida útil de 14 años .

El Satélite Solidaridad II fue lanzado el 7 de octubre de 1994 desde la Guyana Francesa.



Figura 1. 8 Satélite Solidaridad II

En las figuras 1.9 y 1.10 se pueden observar la huellas identificadas por la región que cubre el Satélite Solidaridad II.

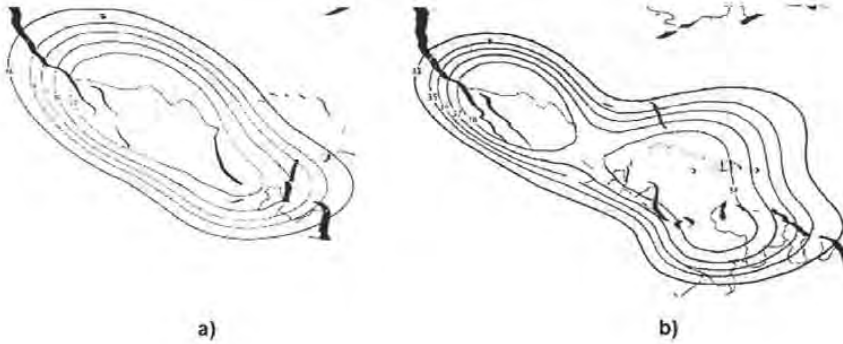


Figura 1.9 a) Huella banda C1 , b) Huella banda C2

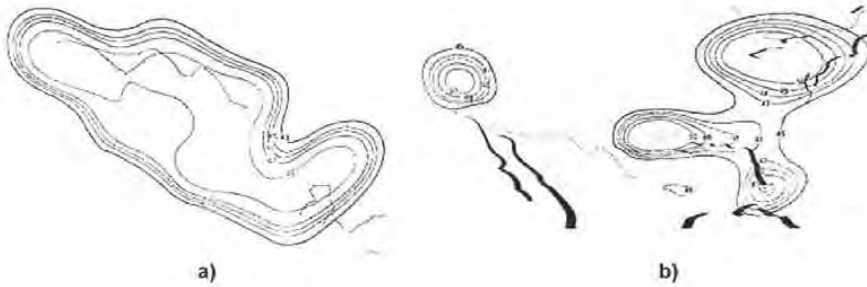


Figura 1.9 a) Huella banda K4 , b) Huella banda K5

Satélites Satmex

El Satmex 5 es el primer satélite puesto en órbita bajo contrato de una empresa privada, y es el único satélite Latinoamericano con cobertura en todo el continente en una sola huella satelital. Este satélite ha apoyado a la empresa Satmex para que proporcione servicios a nivel regional y continental.[L4]

Satmex 5 pertenece a la familia B-601HP de alta potencia y de estabilización triaxial. Su diseño lo dota con más de 7000 watts de potencia para la operación de la carga útil.

El Satmex 5 cuenta con celdas solares de arseniuro de galio y nuevas tecnologías en baterías y sistemas de propulsión , para lograr operar 24 transpondedores de banda C y 24 transpondedores de banda Ku de alto poder . Esta gran capacidad en la banda Ku permite la transmisión de señales de televisión directa al hogar con antenas menores de 1m de diámetro.

Fue fabricado por Hughes Space & Communications , en California EUA , lugar en donde se construyeron la primera y la segunda generación de satélites Mexicanos . La vida útil esperada del Satmex 5 es de 15 años y fue puesto en órbita por un cohete de Arian Space.



Figura 1.11 Satélite Satmex 5

Entre los beneficios que ofrece el satélite Satmex 5 se encuentra el llevar a México a una auténtica globalización de los servicios satelitales, ya que cuenta con cobertura continental en todos sus canales, una potencia 10 veces mayor a los anteriores satélites Morelos y tres veces superior a los Solidaridad y la tecnología satelital más avanzada, que le permitirá tener una vida útil superior a los 15 años. Además puede atender aplicaciones satelitales que requirieron gran demanda de potencia , dado que se puede hacer un mejor aprovechamiento del segmento espacial.

Para tener una visión de cada una de las zonas geográficas que cubre el Satmex 5 , se muestran en las figuras de la 1.12 a la 1.6 las huellas de acuerdo a las bandas de frecuencias que se emplean en cada región .

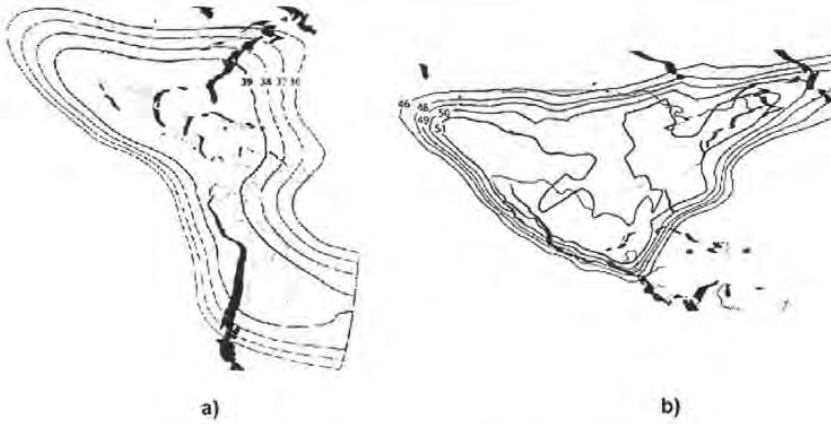


Figura 1.9 a)Huella banda Ku1 , b) Huella banda Ku2



Figura 1.9 Huella banda C

Satmex 6

El Satmex 6 ocupa la posición del desaparecido Solidaridad I y es más poderoso que el Satmex 5 ya que cuenta con 50 % más de potencia, tiene mayor capacidad en banda C y cuenta con 5 antenas para cubrir diferentes zonas tanto en banda C , como en banda Ku.



Figura 1.9 Huella banda C

Satmex 6 es un satélite modelo FS-1300X construido por Space Systems/Loral, capaz de generar 14.1 Kw (BOL) con un total de 60 transpondedores; 36 en banda C para tres coberturas: Estados Unidos, Sudamérica y Continental; y 24 en banda Ku con dos coberturas: Estados Unidos, México y Continental, con un haz de alta potencia sobre las principales ciudades en Sudamérica.

Ofrece beneficios adicionales como la reducción del tamaño de antenas, linealizador en cada canal, coberturas configurables, alta potencia en Sudamérica y el Caribe, y un solo satélite con servicio para las Américas en bandas C y Ku.

En las figuras 1.20 a la 1.25 , se muestra la cobertura que maneja el satélite Satmex 6.

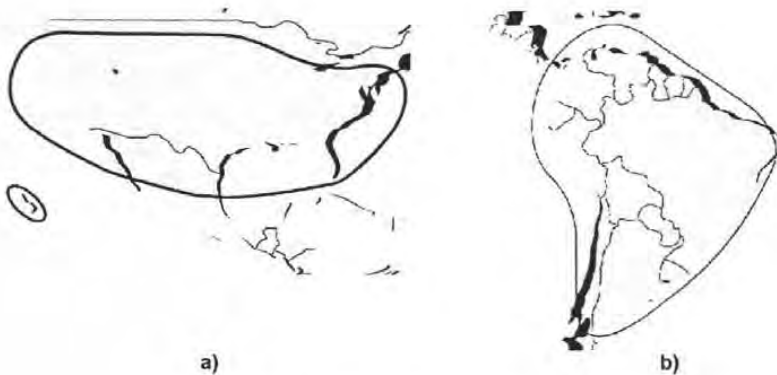


Figura 1.9 Huella banda C1 b) Huella banda C2

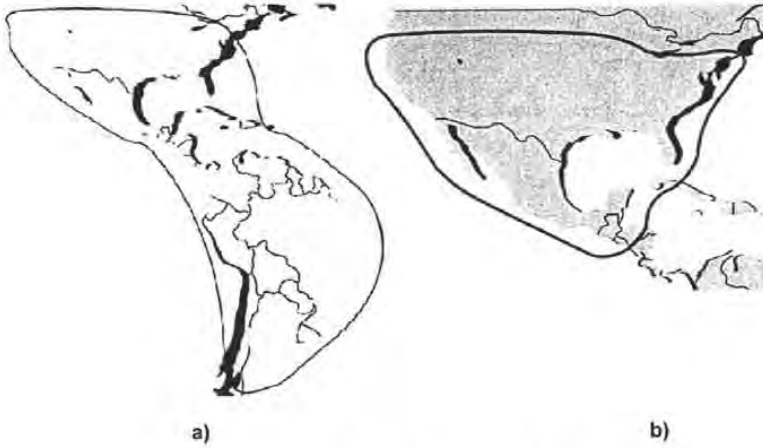


Figura 1.9 Huella banda C3 b) Huella banda Ku1



Figura 1.9 Huella banda K2

Características de la Banda Ku

Las comunicaciones satelitales están actualmente en el proceso de una evolución, moviéndose de las bandas de frecuencia que han estado en uso por décadas, (banda C, banda X, SHF, etc.) a bandas más altas localizadas arriba de 10 GHz. Estas bandas, designadas como banda Ku (11.2-14.5 GHz), banda Ka (17-30 GHz) y banda EHF (30 a 300 GHz), ofrecen anchos de banda amplios, y tasas de transmisión de datos altas.

Como se mencionó anteriormente, el rango de frecuencias de la banda Ku es de 11.2 a 14.5 GHz. , algunas de sus ventajas son : hacen mejor uso de la

capacidad del satélite (técnicas más eficientes FDMA y TDMA frente a CDMA) , estaciones más pequeñas (0.6 a 1.8m) , pero por ser un recurso limitado, el ancho de banda debe ser regulado de manera internacional .[8]

Con el fin de planificar, atribuir y asignar las bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico, de manera tal que todos los países puedan compartir este recurso limitado en forma adecuada, la UIT ha dividido al mundo en tres regiones. Dichas regiones se refieren a distintas zonas geográficas, como se indica a continuación :

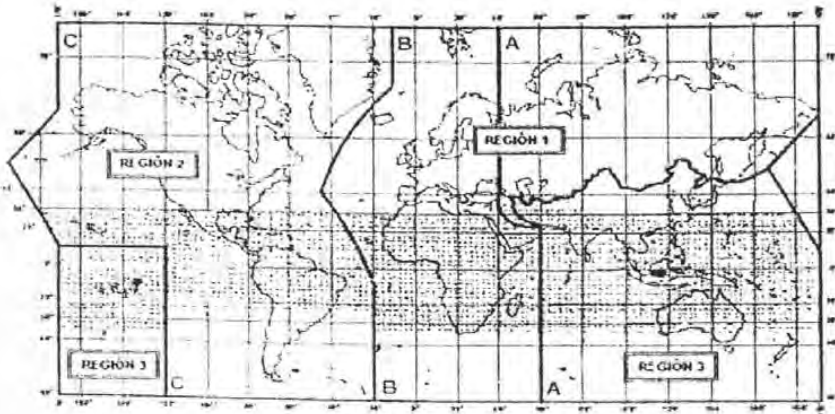


Figura 1.23 Regiones de la UIT

Región 1:

La Región 1 comprende la zona limitada al este por la línea A (más adelante se definen las líneas A, B y C), y al oeste por la línea B, excepto, el territorio de la República Islámica de Irán situado dentro de estos límites. Comprende también la totalidad de los territorios de Armenia, Azerbaiyán, Georgia, Kazakstán, Mongolia, Uzbekistán, Kirguistán, Rusia, Tayikistán, Turkmenistán, Turquía y Ucrania, y la zona al norte de Rusia que se encuentra entre las líneas A y C.

Región 2:

La Región 2 comprende la zona limitada al este por la línea B y al oeste por la línea C.

Región 3:

La Región 3 comprende la zona limitada al este por la línea C y al oeste por la línea A, excepto el territorio de Armenia, Azerbaiyán, Georgia, Kazakstán, Mongolia, Uzbekistán, Kirguistán, Rusia, Tayikistán, Turkmenistán, Turquía y Ucrania, y la zona al norte de Rusia. Comprende, asimismo, la parte del territorio de la República Islámica del Irán situada fuera de estos límites.

Las líneas A, B y C se definen en la forma siguiente:

Línea A:

La línea A parte del Polo Norte; sigue el meridiano 40° Este de Greenwich hasta el paralelo 40° Norte; continúa después por un arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del meridiano 60° Este con el Trópico de Cáncer y, finalmente, por el meridiano 60° Este hasta el Polo Sur.

Línea B:

La línea B parte del Polo Norte; sigue el meridiano 10° Oeste de Greenwich hasta su intersección con el paralelo 72° Norte; continúa después por un arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del meridiano 50° Oeste con el paralelo 40° Norte; sigue de nuevo un arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del meridiano 20° Oeste con el paralelo 10° Sur y, finalmente, por el meridiano 20° Oeste hasta el Polo Sur.

Línea C:

La línea C parte del Polo Norte; sigue el arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del paralelo 65° 30' Norte con el límite internacional en el

estrecho de Bering; continúa por un arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del meridiano 165° Este de Greenwich con el paralelo 50° Norte; sigue de nuevo un arco de círculo máximo hasta el punto de intersección del meridiano 170° Oeste con el paralelo 10° Norte; continúa por el paralelo 10° Norte hasta su intersección con el meridiano 120° Oeste y, finalmente, por el meridiano 120° Oeste hasta el Polo Sur.

La UIT tienen el poder para atribuir bandas de frecuencia a los servicios de radiocomunicaciones en las tres regiones. Posteriormente, estas atribuciones son inscritas en el Cuadro de Atribución de Frecuencias del Reglamento de Radiocomunicaciones, donde también se incluyen los Planes de Adjudicación y de Asignación de Frecuencias .

Debido a la escasez del espectro, cada banda de frecuencia puede ser atribuida de dos maneras: atribuciones exclusivas (para un solo servicio de radiocomunicación) o atribuciones con compartición de frecuencias (dos o más servicios de radiocomunicaciones). En éste último hay dos categorías para los servicios, pueden ser servicios primarios, que tienen prioridad, o servicios secundarios, que no deben causar interferencia con los servicios primarios.

Deben tomarse las siguientes consideraciones para las frecuencias en la Banda Ku :

En la Región 2, en la banda 11.7 - 12.2 GHz, los transpondedores de estaciones espaciales del servicio fijo por satélite pueden ser utilizados adicionalmente para transmisiones del servicio de radiodifusión por satélite, a condición de que dichas transmisiones no tengan un PIRE máximo superior a 53 dBW por canal de televisión y no causen interferencia. Esta banda está limitada a servicios nacionales y regionales con previo acuerdo entre las administraciones interesadas.

Como atribución adicional en la región 2, la banda 12.2 - 12.7 GHz está también atribuida al servicio fijo por satélite (Espacio-Tierra) a título primario, su utilización está limitada a los sistemas de satélites no geoestacionarios y está también limitada a servicios nacionales y regionales. Los servicios de radiocomunicación terrenal existentes y futuros no causarán interferencia perjudicial a los servicios de radiocomunicación espacial .

La banda 14 - 14.5 GHz puede ser utilizada, en el servicio fijo por satélite (Tierra-espacio), para enlaces de conexión destinados al servicio de radiodifusión por satélite .

En resumen, la banda Ku está atribuida para servicio fijo, móvil y radiodifusión por satélite, exploración de la tierra , investigación espacial y frecuencias patrón y señales horarias por satélite. Esto es, la banda Ku, está destinada casi exclusivamente a servicios por satélite.

Los servicios comerciales que se proveen por satélites mexicanos en banda Ku son de voz, datos, Internet, radio, video digital y videoconferencia entre otros.

Características de la Banda Ka

Como es sabido existe una creciente demanda por el espectro de radio frecuencia en las naciones industrializadas del mundo . Esto debido al auge que ha tenido el intercambio de información en nuestra sociedad , teniendo como resultado un incremento exponencial en la conectividad de las telecomunicaciones.

Las tecnologías satelitales siguen avanzando en la búsqueda de plataformas que permitan la entrega de servicios eficientes y económicos y que ofrezcan ventajas similares o superiores a las que hasta ahora han logrado otras formas de transmisión .

La banda Ka esta revolucionando la posibilidad de ofrecer servicios de comunicaciones de doble vida , además de velocidades de transmisión 50 veces más rápidas que las ofrecidas por las redes estándares , con un incremento en el ancho de banda que permite ofrecer nuevas aplicaciones .

La Banda Ka es una banda de frecuencias altas que opera entre los 17 y 30 GHz aproximadamente, siendo la primera en permitir un ancho de banda suficiente para llevar varios servicios simultáneamente como múltiples comunicaciones de voz, conexiones entre computadoras y teleconferencia, permite el uso de aplicaciones que requieran ancho de banda en demanda, de antenas y equipos satelitales pequeños. Una forma de incrementar la cantidad de información o datos que se llevan por unidad de tiempo transmitido en un satélite es el uso de frecuencias altas de radio.[9]

La Banda Ka posee una señal con longitud de onda milimétrica que permite aumentar considerablemente la cantidad de datos transportados. El gran problema de las longitudes cortas es la sensibilidad ante fenómenos atmosféricos, principalmente la lluvia, que degrada la calidad de la señal. La lluvia es un fenómeno meteorológico que afecta las frecuencias que se utilizan en las comunicaciones vía satélite. Debido a su longitud de onda las bandas Ku y Ka son las más afectadas , por tal motivo , es de gran importancia contar con los márgenes de atenuación causados por estos fenómenos naturales , siendo este el objetivo principal del presente trabajo.

Entre las principales ventajas de la Banda Ka esta el incremento en el ancho de banda, conectividad de doble vía, bajos costos, acceso a Internet de gran velocidad y otras aplicaciones de negocios. Esta banda compatible con los estándares MPEG-2 (Moving-Picture Expert Group) y DVB-RCS (*Digital Video Broadcast-Return Channel* de alta calidad además del uso de pequeñas antenas receptoras que pueden tener un diámetro de 60 cm o incluso menor.

Con el uso de Banda Ka, la utilización de antenas guías receptoras se hace mas atractiva. Este tipo de antenas o unidades guía están orientadas al cubrimiento de áreas determinadas, esta característica hace posible que los

satélites tengan diferentes patrones de cobertura, esto quiere decir que la misma frecuencia de banda puede ser utilizada por múltiples antenas guías receptoras sin importa que estas áreas de cubrimiento estén aisladas unas de otras. Utilizando antenas guías separadas, la misma frecuencia de la Banda Ka puede ser utilizada cuatro veces, cuadruplicando la capacidad de los satélites, esta reutilización de frecuencias reduce el costo unitario del ancho de banda, haciendo la opción económicamente viable para usos comerciales, igualmente, el ancho de banda proporcionado puede ser compartido por varios usuarios. Gracias a la longitud de onda corta proporcionada por las frecuencias de la Banda Ka, todas estas opciones se hacen reales.

Características de los Satélites en Banda Ka

Los Satélites en Banda Ka, son considerados como una nueva generación de comunicaciones satelitales que utilizan procesamiento y conmutación a bordo, con la finalidad de dar servicios en doble vía. Esto se puede lograr a través de haces de cobertura múltiple en zonas determinadas. Una variedad de órbitas son consideradas, además de la convencional órbita geoestacionaria, las órbitas bajas y las medias son planeadas dependiendo el tipo de servicio que se pretende ofrecer.

Los sistemas satelitales en Banda Ka han sido descritos e identificados de diversas maneras, se les nombra también como satélites multimedia , satélites ATM , Satélites conmutados de banda ancha ó Satélites interactivos de banda ancha .

Las tecnologías de conmutación a bordo y de procesamiento se han empleado para dar servicios de comunicaciones móviles. La empresa Iridium fue una de las primeras en innovar con esta nueva tecnología, ella empleó enlaces entre satélites y estaciones terrenas que se interconectaban con las redes telefónicas públicas, pero debido a una mala planeación y un mal estudio de mercado, dejó de funcionar teniendo grandes pérdidas económicas. La telefonía celular le alcanzó y le robó el mercado.

Entender la relación entre los enlaces Intersatelitales y las tecnologías a bordo como lo son los "Haces de Cobertura Múltiple" y "procesamiento y

conmutación a bordo" es de manera esencial para la comprensión de la línea comercial que los satélites aspiran a desempeñar.

La capacidad de conmutación hace que los satélites operen como una red telefónica pública, con la característica de ofrecer servicios digitales con una amplia variedad de tasas de transmisión de bits. A los usuarios se les ofrecen tasas de bits en demanda, esto quiere decir que solamente pagarán por la cantidad de información que se transmita durante el enlace. Esto contrasta con los satélites convencionales donde los usuarios tienen que pagar por enlaces permanentes. Por lo tanto es económico usar satélites donde existe una gran cantidad de información en movimiento, tales como canales de Televisión y enlaces de troncales telefónicas.

Los satélites en banda Ka ofrecen el equivalente de un "Circuito telefónico de derivación local", donde los usuarios pagan por un contrato de tiempo. El sistema satelital en esta banda permite también una alternativa, cobrar por cada bit de información transmitido.

Estos servicios requieren de un amplio ancho de banda ya que cada enlace debe operar de manera punto a punto. El primer método para usar eficientemente el espectro disponible es el de "los haces de cobertura múltiple, en el cual se cubre solamente una pequeña área de la tierra.

Esto permite el re-uso de frecuencia de manera importante, de manera parecida a como la red celular telefónica hace re-uso del espectro.

El uso de haces de cobertura múltiple exige por si mismo la consideración de procesamiento y conmutación a bordo, esto para direccionar cada ruta de transmisión entre los diferentes haces radiados utilizados para enlaces de subida y de bajada. De igual manera, los enlaces entre satélites de banda Ka, demandan el uso de tecnologías de conmutación.

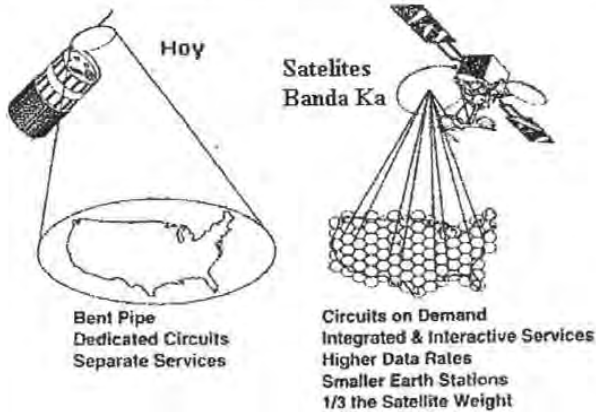


Figura 1.23 Comparación entre sistemas satelitales

Ventajas de la Banda Ka.

El operar en la banda Ka nos presenta diversas ventajas las cuales hacen muy atractivo la innovación de un sistema satelital de telecomunicaciones óptimo. Las más ventajas más importantes son:

- Disponibilidad de un amplio ancho de banda (3.5 GHz comparado con los 500MHz de la banda C), que permite grandes tasas de transmisión.
- La generación de haces múltiples y haces de cobertura específica, permite el re-uso de frecuencias como se muestra en la figura 1.23.
- Reducción del potencial de interferencia con los satélites vecinos y con los enlaces terrestres.
- El tamaño pequeño de los equipos y lo portátil que pueden ser.

Estas ventajas son muy atrayentes, pero es necesario hacer la observación que esto trae consigo grandes costos en la operación, y estos radican en que los enlaces en la banda Ka son más susceptibles a sufrir deterioros durante su propagación a través de la troposfera esto es debido a que al pasar la señal a través de las gotas de lluvia existentes en esta capa, estas causan una absorción y dispersión de las ondas electromagnéticas debido a que la longitud

de onda de estas frecuencias son similares al tamaño de dichas gotas , lo cual no sucede en bandas de frecuencias inferiores, se verá a mas detalle este fenómeno en los capítulos siguientes .

Por lo tanto prevenir o disminuir estos daños, resulta ser más difícil en altas frecuencias y requiere de un análisis y entendimiento preciso del fenómeno, así como de su correspondiente impacto sobre el desempeño y la disponibilidad de los sistemas.

Por tal motivo el objetivo principal de este trabajo es el entendimiento preciso de este fenómeno (atenuación por lluvia) , ya que en un futuro se espera que México cuente con un sistema Satelital que operé en esta banda de frecuencias.

Se tomaron en cuenta los datos Experimentales recabados por Satélite ACTS de la NASA , ya que este es un sistema pionero que fue construido específicamente para realizar experimentos en dicha banda Ka , las característica de este sistema se explicaran en el siguiente punto.

Satélite ACTS

El 12 de septiembre de 1993 se abrió una nueva autopista de la información de banda ancha.

El día que la NASA puso en órbita el mas revolucionario sistema en la historia de las telecomunicaciones: Satélite de Tecnología de comunicaciones avanzadas ACTS. Concebido como un proyecto conjunto entre NASA y la industria, demuestra que se puede alcanzar el éxito conjunto entre ambos ámbitos compartiendo tecnología, proyectos y financiamiento.

El satélites de comunicaciones de tecnología avanzada (ACTS "Advanced Communications Tecnology Satellite"), tienen la misión de suministrar la tecnología necesaria para establecer redes digitales para terminales de muy pequeña apertura (VSAT "Very Small Aperture Terminal"), que proveen bajo

demanda, conectividad "full mesh" con tasa de transferencia de hasta 1.544 Mbps . [L5]

ACTS posee dos antenas en la banda Ka, cada una con subreflectores de polarización horizontal y vertical, para transmitir y recibir señales. Las transmisiones ascendente y descendente están situadas entre dos bandas de 900 MHz centradas en 19.7 GHz y 29.42 GHz respectivamente. El sistema de compensación de antena Casagrain nos permite dos familias de haces spot hopping (este y oeste) mas tres haces de puntos fijados con el alcance mostrado en la figura 1.24.



Figura 1.24 Haces de puntos fijados del ACTS

Los multi haces ofrecen ciertas ventajas en relación con los haces fijos. En un período igual a una trama TDMA, 1 mseg en el caso de ACTS, un haz puede saltar a muchas localizaciones, permaneciendo el suficiente tiempo en cada una de ellas para recoger el tráfico ofrecido. Por una variación adaptativa de cada tiempo de permanencia, la capacidad del sistema es igualado eficientemente a una demanda no uniforme de tráfico. Sin embargo, aunque existe un tráfico truncado uniforme, un sistema fijo puede dar una solución menos compleja.

El ACTS posee dos modos de operación: procesado en banda base y matriz 3 a 3 de conmutación en microondas. El procesado en banda base usando

conmutación en banda base TDMA realiza tres funciones. Después de que la ráfaga de tráfico de TDMA llega de los terminales de tierra ha sido muestreada durante el período de morada en el haz durante la recepción de trama, enruta el contenido de los canales individuales de subida desde los demoduladores apropiados a la memoria de entrada. Durante la siguiente formatea estas señales en una nueva configuración de la ráfaga de tráfico descendente y las guarda en las memorias de salida. En la tercera trama, transmite las ráfagas de tráfico reformado, en cualquier de los formatos codificados o no codificados, a las estaciones de destino en el canal apropiado. La conmutación en banda base interconecta los dos haces de salto y opera basándose en conmutación TDMA en banda base con almacenamiento a bordo.

ACTS es el primer satélite con capacidad de Gigabit totalmente digital. Opera en la banda K y Ka, en los 20 y 30 Ghz respectivamente, también es pionera con su sistema de apuntamiento de haz dinámico con procesado y conmutación de tráfico a bordo de forma avanzada.

Localizados en órbita geoestacionaria a 100° W, ACTS es el primer satélite con la capacidad de realizar comunicaciones digitales a tasas similares a la fibra óptica con la misma calidad de transmisión, ofreciendo además ventajas de coste y en la realización. La tecnología ACTS integra de forma conjunta satélites y sistemas de fibras ópticas en tierra para la transmisión de datos a altas tasas de velocidad sobre grandes distancias y las zonas mas remotas.

Experimentos

El programa de experimentos provee el acceso a las nuevas herramientas de telecomunicación que serán usadas de forma masiva durante el siglo XXI. Los investigadores de ACTS lo fundaron, diseñaron y condujeron el programa de experimentos. NASA distribuyo el tiempo de satélite, operaciones de mantenimiento, y asistió a los investigadores de principio a fin. Los colaboradores aportaron capacidades de sus recursos nacionales para usuarios de telecomunicaciones de regiones concretas.



Figura 1.28 Porcentaje de Participación en el Proyecto ACTS

Los experimentos de verificación de la tecnología (TVE , Technology Verification Experiments) evalúan y analizan estadísticamente la actuación del ACTS, los subsistemas de carga, redes de conmutación y propagación .

Durante los años, se han usado diferentes tipos de experimentos :

- Disponibilidad de sistemas VSAT
- Cumplimiento estadístico del VSAT en órbita inclinada
El objetivo era el análisis de los efectos de la propagación en la banda Ka
- Energía renovable SCADA usando ACTS
- Compensación por el desvanecimiento de lluvia VSAT
- Efectos de propagación en el enlace.
- Investigación de despolarización en Propagación
- Investigación de Diversidad en Distancias Cortas
- Investigación de dispersión en banda ancha.
- Análisis del Satélite en órbita
- Análisis de la antena multihaz en órbita inclinada.

Terminales Experimentales

La NASA desarrollo una serie de terminales terrestres que fueron construidas para diversas aplicaciones experimentales. En el proyecto participaron cerca de 53 estaciones de tierra.[L6]

Los terminales desarrollados por NASA fueron

- **HDR (high data rate)**

Terminal de tasa de datos elevada, Este equipo esta provisto de una antena de 3.4 metros desarrollada para ser utilizado por el transpondedor de 900Mhz. los HDR operaban con sistemas basados en fibra óptica con supercomputadoras usando ATM a tasas que alcanzaban los 622 Mbps, llegando a transmitir vídeo en alta definición y trafico punto a punto a 520Mbps.

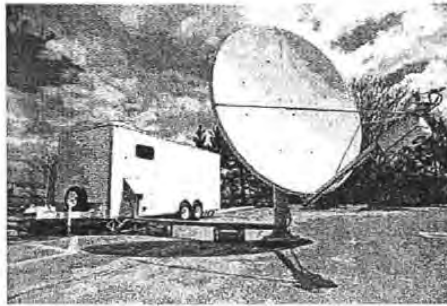


Figura 1.23 terminal HDR

- **T1VSAT (T1 Very Small Aperture Terminals)**

Estas Terminales de apertura muy pequeña, se desarrollaron para funcionar con el procesado a bordo y probar que las pequeñas terminales podían ser utilizadas con haces tipo *spot* . Usando una antena de diámetro 1.2 metros, estas terminales pueden proporcionar 1.8 Mbps en servicios bajo demanda simples a tasas de transmisión de datos desde los 64 Kbps hasta los 1.8 Mbps para voz, vídeo y datos.

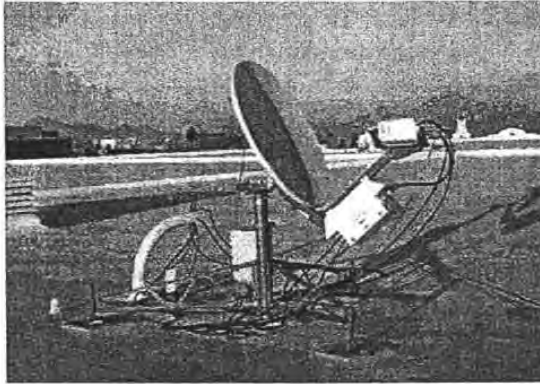


Figura 1.23 terminal T1VSAT

- **USAT(Ultra Small Aperture Terminals)**

Las terminales de apertura ultra pequeña , tienen un tamaño similar a las antenas empleadas para televisión directa. Estas terminales de un diámetro aproximado de 60 cm, pueden proporcionar enlaces ascendentes con una velocidad de hasta 1.5 Mbps y enlaces descendentes de 45 Mbps. Las aplicaciones típicas de los USAT están en el acceso a Internet a alta velocidad, banca electrónica y videoconferencia en tiempo real. Las terminales móviles tienen uso en las comunicaciones a bordo de barcos, aviones y vehículos terrestres habituales.



Figura 1.24 terminal USAT

- **LET (Link Evaluation Terminal)**

La terminal de evaluación de enlace (LET) está ubicada en el Glenn Research Center's NASA Ground Station (NGS) para controlar el ACTS. Se trata de una terminal básica de RF en la banda Ka que puede ser adaptado para operar con varios modos de modulación y formatos digitales para comunicarse con el ACTS, tanto en el *bent-pipe* como en el modo de operación MSM. El LET ha sido utilizado en varios estudios donde el investigador ha equipado la terminal LET con electrónica adicional compatible para transmitir o recibir información, y de modo que esta opere como una segunda terminal para dirigir el estudio. Además se ha añadido al NASA Ground Station para actuar como una terminal de *back-up* para el NGS en el control del satélite.



Figura 1.24 terminal LET

- **Maletín ACTS** , Es una terminal del tamaño de un maletín, se ha experimentado para las comunicaciones multimedia. Durante el verano y otoño de 1998 se realizaron pruebas a tasa de transmisión de 1 Mbps que proporcionaba videoconferencia y acceso Internet , el objetivo era construir terminales portátiles multimedia a bajo costo.

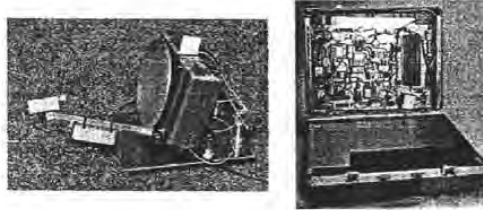


Figura 1.24 Maletín ACTS

El proyecto ACTS sienta las bases en la evolución de la era de la información mostrando las necesidades de expandir las posibilidades de nuevas fuentes de comunicación.

La tecnología ACTS muestra al mundo nuevas y mas eficientes formas de localizar órbitas y aprovechar los recursos espectrales, ofreciendo alternativas en voz, datos y vídeo a costo razonable, ofreciendo estos beneficios a los mercados marginados por su localización geográfica.

Capítulo II

Propagación a través de la atmósfera

La propagación de las ondas de radio arriba de 10 GHz a través de la atmósfera envuelve no solo a las pérdidas en el espacio libre, si no a muchos otros factores importantes, estos factores son los siguientes:

- La contribución de gases de la atmósfera homogénea debido a mecanismos de polarización resonante y no resonante.
- La contribución de las no homogeneidades en la atmósfera.
- La particular contribución debida a la lluvia, las nubes, la niebla, y partículas sólidas suspendidas en el aire (arena, polvo y humo)
- La Radiación de la tierra

En general, la atenuación de las ondas de radio de longitudes de onda milimétricas en una atmósfera despejada cerca del nivel de tierra es despreciable para la mayoría de los propósitos, exceptuando alrededor de las frecuencias donde la línea de absorción del vapor agua y oxígeno estas situados. De esta manera, en la banda de frecuencia de las ondas milimétricas, la atenuación será mayor alrededor de los 60, 119 y 183 GHz, los cuales corresponden a la absorción de la primera y segunda resonante de la molécula de oxígeno y a la absorción debido al vapor de agua respectivamente.

Otros gases despliegan líneas resonantes también, como son óxido nitroso (N_2O) , dióxido de azufre (SO_2), ozono (O_3), dióxido de nitrógeno (NO_2) y amoniaco (NH_3) , pero debido a su baja intensidad en la atmósfera han sido despreciados sus efectos sobre la propagación.

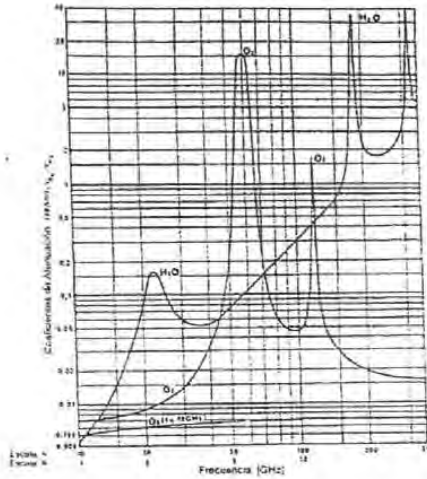


Figura 2.1 Atenuación atmosférica por oxígeno y vapor de agua

Además de la absorción, molecular debido a gases en la atmósfera y el vapor de agua, la atenuación debida a otros factores ambientales como son lluvia, nieve o granizo resultan ser más severos. La atenuación, sin embargo, no es el único efecto, la influencia de los hidrometeoros sobre la polarización y los efectos de la variación del índice refractivo deben ser tomadas en cuenta, al igual que se deben considerar los efectos que se generan cuando se esta trabajando con ángulos de elevación menores a 5° .[10]

El éxito en el diseño y desarrollo de cualquier sistema de ondas milimétricas requiere de un buen conocimiento de las características de propagación de estas en el espacio libre bajo varias condiciones ambientales.

Propagación de la ondas electromagnéticas en la atmósfera

Durante la propagación de las ondas electromagnéticas en un enlace tierra-espacio, estas cruzan por distintas regiones básicas: la troposfera, dentro del espacio libre, la ionosfera y fuera del espacio libre.

El espacio libre tiene menos perdidas y un índice refractivo igual a uno, mientras que la troposfera y la ionosfera poseen índices de refracción respectivamente

más grande y más pequeño que la unidad, como se muestra en la figura 2.2. Aquí, los fenómenos de la refracción y la absorción se elevan.

De acuerdo con la meteorología, la troposfera se extiende prácticamente desde el nivel del suelo hasta una altura de 30 Km, aproximadamente, y la ionosfera se encuentra entre los 70 y 1,000 Km, aproximadamente. Las zonas de máxima influencia sobre las ondas se encuentra en las cercanías de la parte baja de la troposfera y a una altitud del orden de 400 Km, para la ionosfera.

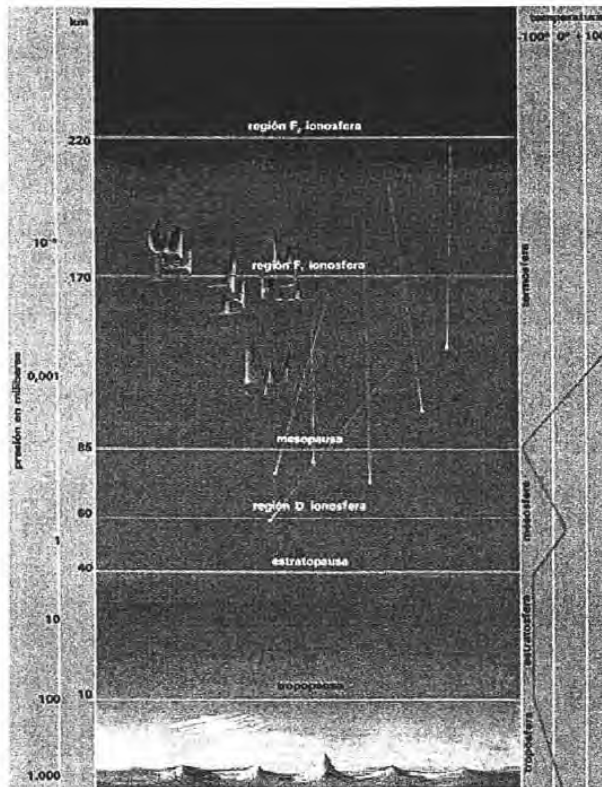


Figura 2.1 Capas de la atmósfera

Desde el punto de vista de la transmisión de las ondas electromagnéticas, la atmósfera terrestre (troposfera e ionosfera) se comporta como un filtro con

dos bandas pasantes principales: una en el rango radioeléctrico (de 20 MHz a 20 GHz, aproximadamente) y la otra en las regiones óptica e infrarroja. Los límites de la banda radioeléctrica son relativamente variables, ya que el límite inferior determinado por la ionosfera, puede situarse desde algunos hasta varias decenas de MHz, mientras que el límite superior, depende de la troposfera, esto se encuentra en función del clima, de la altitud y de otras perturbaciones, es decir que las fronteras de este filtro no son frecuencias específicas y en el interior de la banda pasante pueden existir ciertas anomalías de propagación cuya importancia dependerá del tipo de transmisión considerada.

La ionosfera es la parte de la atmósfera terrestre que absorbe más energía solar radiante, ionizando las moléculas de aire y formando electrones libres. Cuando una onda de radio atraviesa la ionosfera, el campo eléctrico de la onda ejerce una fuerza sobre los electrones libres y los pone a vibrar. Los electrones al someterse a esta vibración hacen que disminuya la corriente, lo que equivale a reducir la constante dieléctrica. Al reducir la constante dieléctrica aumenta la velocidad de propagación y las ondas electromagnéticas se desvían y se alejan de las regiones de alta densidad de electrones hacia regiones de baja densidad de electrones; es decir, aumenta la refracción. Al alejarse la onda de la Tierra aumenta la ionización sin embargo, hay menos moléculas de aire que se ionizan.

Por consiguiente, la atmósfera superior tiene mayor porcentaje de moléculas ionizadas que la atmósfera inferior. Mientras mayor sea la densidad de iones, la refracción es mayor. También, debido a la composición no uniforme de la ionosfera y a sus variaciones de temperatura y de densidad, esta está estratificada.

En esencia son tres las capas que forman la ionosfera: las capas D, E y F. Las tres capas de ionosfera varían en localización y en densidad de ionización según la hora del día. También fluctúan en una forma cíclica durante el año.

La ionosfera es mas densa durante las horas de mas luz solar, esto es durante el día y en el verano.

La capa D es la parte inferior de la ionosfera , se encuentra localizada de 50 a 100 km sobre la superficie de la Tierra. Como es la capa mas alejada del sol tiene poca ionización, por tal motivo esta capa tiene muy poco efecto sobre la dirección de propagación de las ondas de radio. Sin embargo, los iones de la capa D pueden absorber cantidades apreciables de energía electromagnética. La cantidad de ionización en la capa D depende de la altura del sol sobre el horizonte. En consecuencia , desaparece durante la noche. La capa D refleja las ondas VLF y LF, y absorbe las ondas MF y HF.

La capa E se ubica entre los 100 y 140 Km de altura , a veces es llamada capa *Kennelly-Heaviside* en honor de los científicos que la descubrieron, tiene una densidad máxima a unos 110 km a mediodía cuando el sol está en su máxima altura, al igual que en la capa D , esta capa desaparece casi totalmente por la noche. La capa E favorece la propagación de ondas MF y refleja de manera mínima las ondas HF durante el día.

Refracción de la trayectoria radioeléctrica

Las propiedades de la atmósfera son descritas por las modificaciones del índice de refracción. Para una atmósfera seca, el índice de refracción es casi constante sobre el espectro radioeléctrico completo. Sin embargo, con vapor de agua, el momento del dipolo de las moléculas tienden a seguir los cambios del campo eléctrico, causando un incremento en el índice de refracción.

Fluctuaciones irregulares de escala pequeña en el índices de refracción pueden producir grandes cambios en la fase y la amplitud de las señales, resultando en efectos de centelleo, los cuales reducen significativamente el ancho de banda disponible. El centelleo también puede ser causado debido a nubes y al vapor

de agua pasando a través del haz principal. Esos efectos tienden a incrementarse con el aumento de la frecuencia.

Si se considera que las superficies de las capas que rodean la tierra son concéntricas a ella, es posible calcular las trayectorias radioeléctricas (el equivalente de los rayos luminosos) como si éstas se encontraran en un medio en el cual el índice de refracción depende únicamente de la distancia hacia un punto determinado. En este caso la ley de refracción de Descartes puede representarse por la siguiente expresión:

$$n(r) \cdot R \cdot \cos \phi = \text{constante} \quad (1)$$

En donde R es la distancia al punto considerado , ϕ el ángulo de refracción, complementario del ángulo de incidencia y $n(r)$ el índice de refracción en función de la altitud como se muestra en la figura 2.2.

Esta ecuación que define las trayectorias no puede integrarse si no se conoce la función $n(r)$ y salvo que esta función sea muy simple, la integración sólo podrá realizarse en forma numérica. Sin embargo, sin efectuar la integración, es posible conocer algunas características de las trayectorias. Particularmente, el radio de curvatura de las trayectorias está dado por la siguiente relación:

$$\frac{1}{p} = \frac{-\cos\phi}{n} \frac{dn}{dr} \quad (2)$$

De la ecuación anterior es posible deducir que en la troposfera el término dn/dr será negativo y la curvatura de las trayectorias será siempre en el mismo sentido. Por el contrario , en la ionosfera dn/dr cambiará su signo cuando la onda atraviese la región de máxima ionización y la curvatura de las trayectorias cambiará de sentido en ese punto, tal y como puede observarse en la figura 2.2 .

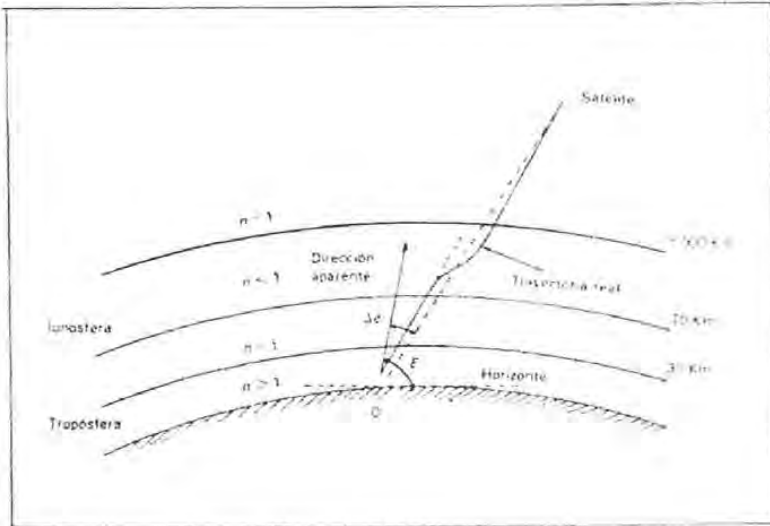


Figura 2.2 Trayectoria típica de una onda radioeléctrica

Generalmente, se desea conocer la corrección angular de refracción, es decir, desplazamiento $\Delta\phi$ que existe entre los ángulos de elevación real y aparente hacia el satélite.

Refracción en la Tropósfera

Considerando que la atmósfera es relativamente pequeña en comparación con el radio terrestre y que los valores del índice de refracción (n) y del índice de refracción inicial (n_0) permanecen cercanos a 1, podemos conocer el valor de $\Delta\phi$ a partir de la siguiente expresión:

$$\Delta\phi \leq \frac{n_0 - 1}{1g} \phi_0 \quad (3)$$

En donde ϕ_0 es el ángulo de refracción en el punto de partida. Sin embargo, no es posible aplicar esta fórmula clásica para el caso de ángulos de elevación inferiores a 15 grados. La utilidad de esta expresión se demuestra en los

enlaces con satélites que se encuentran lo suficientemente altos por encima del horizonte , por lo general, es aplicable para ángulos de elevación superiores a 20° , aproximadamente. Para los casos de ángulos de elevación inferiores, es necesario efectuar operaciones de radiolocalización precisas, es necesario conocer el comportamiento estadístico del índice de la atmósfera con una precisión que irá en aumento conforme disminuya el ángulo de elevación considerado. [11]

El comportamiento medio mensual es suficiente para ángulos comprendidos entre los 5 y 20 grados, si se admiten errores en el valor de $\Delta\phi$, del orden de miliradianes. En el caso de ángulos de elevación inferiores a 5° no existe corrección alguna que pueda emplearse.

Refracción en la Ionosfera

Es factible demostrar que la corrección del ángulo de refracción es proporcional a la relación :

$$\frac{(f_c)^2}{f} \quad (4)$$

En donde f es la frecuencia de la onda radioeléctrica y f_c es la frecuencia crítica que corresponde a un máximo de ionización en el momento que se efectúa el enlace. El valor de esta expresión decrece rápidamente conforme aumenta la frecuencia, y prácticamente no interviene en el caso de las telecomunicaciones por satélite.

En la figura 2.3 pueden observarse las características típicas de la troposfera y la ionosfera durante el día , en relación con las correcciones medias de refracción. En estas curvas se observa que las correcciones debidas a la troposfera son importantes para ángulos de elevación pequeños teniendo en cuenta la directividad de las antenas de las estaciones terrenas.

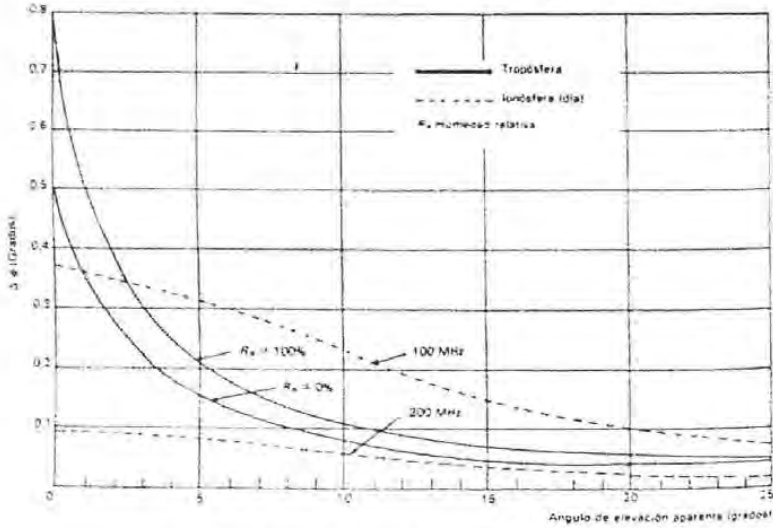


Figura 2.3 Error $\Delta\phi$ en el ángulo de elevación

Atenuación en el espacio libre

Se conoce como atenuación en el espacio libre el debilitamiento sufrido de las señales transmitidas. Su valor puede conocerse a partir de la siguiente expresión:

$$A = \frac{(4\pi D)^2}{\lambda} \quad (5)$$

En donde D es la distancia recorrida por la señal y λ la longitud de onda de la frecuencia considerada. La atenuación expresada en decibeles será:

$$A_{db} = 22 + 20 \log_{10} \frac{D}{\lambda} \quad (6)$$

Le figura 2.4 muestra los valores de atenuación en función de le frecuencia, considerando una distancia D igual a 36,000 Km, correspondiente a la altitud de los satélites geostacionarios.[12]

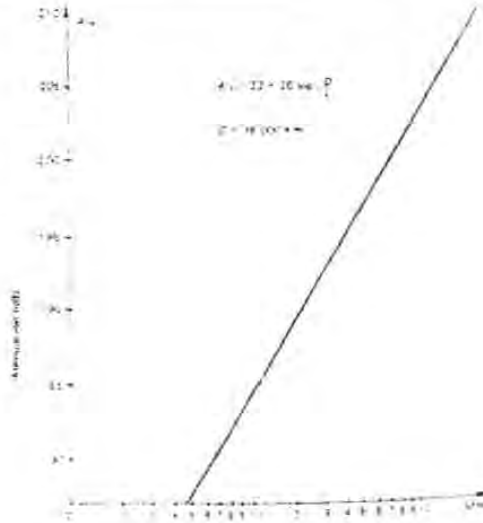


Figura 2.4 Atenuación en el espacio libre

Como puede observarse, la atenuación es importante y crece rápidamente conforme aumenta la frecuencia: sin embargo, esto no debería limitar la utilización de frecuencias más elevadas, ya que, por otra parte, se cuenta con la ventaja de que para una antena con un área determinada su ganancia aumenta en relación directa con la frecuencia de las señales enviadas y recibidas.

Influencia de los hidrometeoros sobre la Polarización

Los efectos de polarización resultan de la naturaleza no esférica de los hidrometeoros y de la conducta de propagación en diferentes polarizaciones. El efecto de polarización cruzada puede ser significativo en aplicaciones de comunicaciones donde ambas líneas de polarización son usadas, cada una con una modulación diferente, resultando en una modulación cruzada. Esos efectos son de gran importancia en los sistemas de radar.

Para los hidrometeoros, el grado de cambio sobre la polarización es dependiente del tipo de polarización incidente como también del tamaño, la forma y la orientación de las gotas de agua.

A una altitud elevada las partículas de hielo también pueden causar despolarización de las ondas electromagnéticas, la característica importante aquí es que la despolarización ocurre sin una relación de señal de atenuación como normalmente es experimentada durante la lluvia. Las nubes también causan despolarización, ya que estas contienen gotas de agua o partículas de hielo.

Significativamente anómalos eventos de despolarización han sido vistos a través de las nubes durante una tormenta, así como en cualquier otro tipo de nube que tenga una gran concentración de partículas de hielo. Igualmente el granizo también genera efectos de despolarización.

Modificación del plano de polarización

Sabemos que una onda emitida con polarización determinada (lineal o circular) no la conserva exactamente durante su trayecto de propagación a través de la atmósfera. Lo anterior se debe, principalmente, a dos fenómenos cuyas características se describen a continuación:

Rotación del plano de polarización

Debido a que la ionosfera puede considerarse como un cierto tipo de plasma sometido a un campo magnético, una onda con polarización rectilínea se descompone en sus dos componentes derecha e izquierda las cuales no se propagan a una misma velocidad. Al salir de la ionosfera, las dos componentes vuelven a integrarse en una onda con polarización rectilínea. pero su plano de polarización ha girado con respecto a la onda incidente . Esta rotación puede alcanzar un gran número de vueltas en el caso de las frecuencias relativamente bajas.[13]

Se ha encontrado que la rotación del plano de polarización alcanza su valor máximo bajo las siguientes condiciones:

- Cuando la dirección de propagación es paralela al campo magnético terrestre.
- Durante el día, cuando ocurre la máxima ionización
- Cuando se opera con pequeños ángulos de elevación

Además, la rotación es inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia. En la figura 2.5 se observa el ángulo de rotación en función de la frecuencia, para los casos de propagación longitudinal (paralela al campo magnético) y transversal. En el caso de que la trayectoria sea sensiblemente vertical, las rotaciones, en promedio, serán 3.5 veces menores.[14]

Si consideramos que para frecuencias inferiores a 1 GHz se tienen valores elevados del ángulo de rotación, es posible explicar por qué en esa gama de frecuencia se utilizan, principalmente, antenas con polarización circular. A partir de los 2 y 3 GHz es posible emplear antenas con polarización rectilínea, ya que el ángulo de rotación en este caso es muy pequeño.

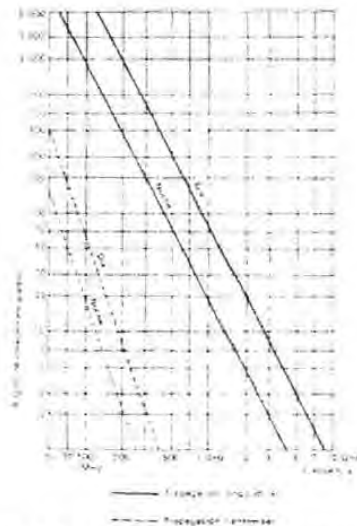


Figura 2.5 Rotación del plano de polarización

Despolarización de las ondas

En la atmósfera neutra se produce una despolarización de las ondas debido a varios factores: Por una parte, las gotas de lluvia crean una onda con polarización ortogonal, debido a que no son completamente esféricas, y este efecto existe tanto en los enlaces oblicuos entre un satélite y una estación terrena como en los enlaces horizontales (enlaces terrestres). Además, una segunda causa de despolarización, que sólo se presenta en los enlaces oblicuos, es debida a la difracción de las ondas por los cristales de nieve que se encuentran a ciertas altitudes.

La despolarización por lluvia siempre está asociada con una atenuación importante y puede demostrarse que para las trayectorias oblicuas el nivel relativo de polarización cruzada es más o menos proporcional al logaritmo de la atenuación, ambas magnitudes expresadas en decibeles. Por ejemplo, si durante un enlace entre un satélite y una estación terrena el valor de la intensidad de lluvia aumentara al doble, se presentaría igualmente el doble de atenuación en decibeles y el nivel relativo de polarización cruzada aumentaría en 6 dB.

La despolarización debida a los cristales de nieve en alta altitud no está relacionada con una fuerte atenuación. Los cristales de nieve se sitúan por encima de la "banda brillante", que es posible localizar mediante el radar y que se ubica en las vecindades de la isoterma, a cero grados, en donde los cristales de nieve están cubiertos por una capa de agua líquida. La despolarización se presenta en virtud de que los cristales de nieve están alineados por el efecto de fuertes campos eléctricos que existen a estas altitudes.

Centelleo en la Ionosfera

Pronunciadas variaciones de corta duración (entre 1 y 15 segundos) de la amplitud, de la fase, del ángulo de polarización y del ángulo de llegada de las ondas electromagnéticas que alcanza la tierra desde el espacio en el rango de

frecuencias de microondas son conocidos bajo el nombre general de centelleo ionosférico. El centelleo es atribuible a fluctuaciones en la densidad de los electrones en la esporádica capa E y en la capa F de la Ionosfera , La localización de la estación terrena, la estación del año, el tiempo local y la cantidad de actividad solar influyen en la magnitud y la ocurrencia del centelleo ionosférico, la latitud geomagnética, la actividad solar y el tiempo local son los factores de mayor importancia.

Dentro de los límites $\pm 20^\circ$ del Ecuador geomagnético, un centelleo de gran intensidad puede ocurrir por unas cuantas horas justamente después de la puesta de sol en la ionosfera sobre un enlace tierra-satélite con una magnitud proporcional al número de manchas solares, teniendo su máximo durante el equinoccio. El centelleo llega a ser menos intenso en latitudes intermedias, pero se incrementa en latitudes elevadas que están más allá del límite de la región auroral .

Efectos adicionales de la ionosfera son variaciones en el ángulo de llegada y absorción. Ambos fenómenos siguen una ley f^{-2} , por lo que el impacto de estos sobre los sistemas de comunicación que operan en frecuencias de GHz es insignificante.

Centelleo en la Troposfera.

Desviación del haz, centelleo, atenuación y un incremento de la temperatura de ruido en el cielo son los mejores efectos que se tienen en esta capa. La desviación troposférica es opuesta a la desviación Ionosférica, estas son independientes de la frecuencia. Sin embargo todos esos fenómenos antes mencionados no son significantes en el diseño de sistemas de comunicación por satélite, excepto para aquellos que operan con un ángulo de elevación muy pequeño. En climas tropicales, en principal valor de desviación del haz oscila entre los 0.5° y 0.6° , el cual ha sido observado para ángulos de elevación entre 1° y 2° . El centelleo es inducido por turbulencias en la atmósfera con dependencia del tiempo, el cual resulta afectarle diez veces más que en el centelleo ionosférico, este fenómeno es fuertemente dependiente del ángulo de

elevación, incrementándose cuando el ángulo de elevación disminuye, y puede ser despreciado arriba de los 15°.

Cálculo del centelleo

El modelo de la ITU para el cálculo del centelleo ha sido recomendado para su uso en el rango de frecuencias de 4 GHz a 20 GHz, sin embargo, las mediciones que se realizaron recientemente con el ACTS y con el Olympus han demostrado que este procedimiento es preciso en la predicción de los efectos de centelleo hasta los 30 GHz.[15]. Los datos que se requieren para el cálculo del centelleo son:

- frecuencia
- ángulo de elevación
- diámetro de la antena
- temperatura promedio
- promedio de la humedad relativa

Este es un método semi empírico que se ha encontrado con muy buen comportamiento en ángulos de elevación mayores a 4°. [16]

La desviación estándar de la amplitud del centelleo está dada por:

$$\sigma_x = \sigma_{xref} f^{7/12} g(x) / (\text{seno}(\theta))^{1.2} \quad (7)$$

donde:

f = frecuencia (GHz), 4 GHz - 20 GHz

θ = ángulo de elevación

$$\sigma_{xref} = 3.6 \times 10^{-3} + 1.0 \times 10^{-4} N_{lluvia}$$

$$N_{lluvia} = 3720 U e_s / (T + 273)^2$$

U = humedad relativa promedio

e_s = Presión del vapor de agua en saturación (mbar)

T = Temperatura (°C)

$$g(x) = (3.86(x^2 + 1))^{11/12} \operatorname{sen}[11/6 \tan^{-1}(1/x)] - 7.08 x^{5/6} \quad 1/2$$

$$x = 1.22hD^2 (f/L)$$

D = Diámetro de la antena (m)

L = eficiencia de apertura de la antena

h = 1000 m altura de la capa turbulenta

El nivel de dispersión A_p (dB), excedido para p % del tiempo, esta dado por:

$$A_p = \sigma_x (-0.061(\log_{10} p)^3 + 0.072(\log_{10} p)^2 - 1.71\log_{10} p + 3) \quad (8)$$

para $0.01\% \geq p \leq 50\%$

Atenuación por la capa de descongelamiento

La capa de descongelamiento o fusión es la región que se encuentra alrededor de la isoterma de 0° donde las partículas de hielo y nieve se fusionan para formar gotas de lluvia. El espesor de la capa de fusión es del orden de 500 m.

La atenuación producida por las partículas de hielo fusionándose pueden alcanzar niveles significantes, sobre todo para los enlaces con un ángulo de elevación pequeño. La atenuación específica en la capa de fusión, sin embargo, no siempre es significativamente más grande que en la región de lluvia debajo ella. El modelado de atenuación por lluvia, siendo principalmente semi-empírico, normalmente cuenta los efectos de esta capa para tasas de lluvia moderadas y altas. Este efecto debe considerarse por separado solamente para tasas de lluvia bajas. Existen varios modelos para predecir estos efectos. Aquí se muestra uno que es sencillo en su aplicación y que fue seleccionado para el modelo varios modelos de atenuación como se verá en capítulo siguientes.

Usando este modelo, la relación siguiente entre la proporción de lluvia, R, y la atenuación específica en la capa de la fusión es:

$$\alpha_m = a R^b \text{ (dB)} \quad (9)$$

donde :

$$a = e^{1.58 \ln(f) - 6.23}$$

$$b = e^{0.029 \ln(f) - 0.031}$$

R = la tasa de lluvia en mm/h

f = frecuencia (GHz)

El grosor de la capa de descongelamiento se toma de 0.5 km y la longitud de la trayectoria a través de esta capa, L_m , es $L_m = 0.5/\text{seno}(\theta)$, donde θ el ángulo

de elevación. La longitud de la trayectoria a través de esta capa está limitada a 10 km. Así la atenuación debida a la capa de descongelamiento es:

$$A_m = \alpha_m L_m \text{ (dB) para } L_m \leq 10 \text{ Km} \quad (10)$$

Efectos de la niebla y de las nubes.

La niebla es la condensación de vapor de agua atmosférico en gotas de agua que se mantienen suspendidas en el aire. Cuando la nube resultante, gotas de agua o cristales de hielo, envuelven a un observador y su visibilidad horizontal es restringida a menos de 1 Km., entonces decimos que tenemos niebla. La niebla es producida de dos formas diferentes: formada sobre el agua por el resultado del movimiento horizontal de una masa de aire caliente por encima de una masa de aire frío y formada debido al aire que ha estado sobre la tierra durante las horas de luz solar, precediendo en la noche a la formación de esta.

La atenuación debida a la niebla es menos seria que la debida a la lluvia ya que el contenido de agua es menor, típicamente es del orden de 0.25 g/m o menos.

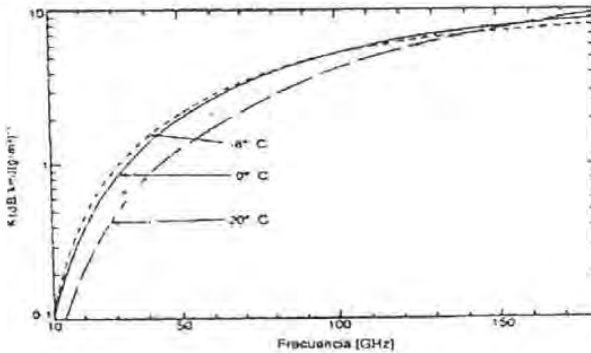


Figura 2.6 Coeficientes específicos de atenuación para niebla como una función de la frecuencia y contenido de agua, para diferentes temperaturas.

La figura 2.6 muestra el coeficiente de atenuación debido a la niebla para diferentes contenidos de agua en el rango de 0 a 40°C en el rango de frecuencias de 10 a 180 GHz.[17]

Las nubes también generan atenuación es por ello que también deben de ser consideradas por los sistemas de comunicación tierra - espacio, así como en los sistemas de radar.

Efectos de la nieve y el granizo

Aunque la atenuación por lluvia es el factor que más afecta la propagación de las ondas electromagnéticas, se deben considerar los efectos debidos a otros hidrometeoros como son la nieve, el granizo o la niebla. La atenuación debida a la nieve y al granizo es mucho menor que la producida por la lluvia ya que la constante dieléctrica del hielo es menor que la constante dieléctrica del agua.

El efecto de dispersión que se genera cuando la onda electromagnética cruza secciones de copos de nieve, agujas de hielo y piedras de granizo es considerablemente bajo en comparación con la dispersión generada por gotas de agua del mismo tamaño. Además, las partículas de hielo absorben mucho menos potencia que una gota del mismo tamaño, por ello la atenuación debido

a la nieve y al granizo es mucho menor que la atenuación debida a la lluvia. La atenuación debido a la nieve húmeda será mayor que para el hielo, particularmente en la capa de descongelamiento (fusión), donde los copos de nieve cubiertos de agua producen entre 10 y 15 dB más que la atenuación por lluvia.

En la parte baja de las ondas milimétricas del espectro radioeléctrico, la nieve seca tiene poco efecto en la atenuación. Por otro lado las mediciones han mostrado que esta puede ser importante para frecuencias altas.

La absorción y el esparcimiento debido al granizo en la lluvia son mayores que a la provocada por la lluvia sola y depende del tamaño y la forma del granizo y de la presencia y grosor de la capa de agua que las pudiese cubrir.

Se ha confirmado experimentalmente que la nieve y las partículas de nieve pueden causar despolarización debido a la naturaleza no esférica de las partículas de hielo.

Retardo y distorsión del tiempo de propagación

En los enlaces vía satélite, en donde estos se encuentran bastante alejados de la tierra, los tiempos de propagación de las señales alcanzan valores elevados, los cuales en ocasiones, son molestos en los enlaces bilaterales. Por ejemplo: el tiempo que tarda una señal en ir y regresar a un satélite geoestacionario es del orden de 0.25 segundos, por lo cual se necesitan dispositivos especiales para comunicaciones telefónicas mediante satélite.

Para algunos sistemas de transmisión, como por ejemplo, cuando se emplea el acceso múltiple por división en el tiempo, se necesita, además, conocer las variaciones en ese tiempo de propagación. Esas variaciones pueden generarse ya sea por la presencia de trayectos múltiples provocados

por las irregularidades del índice de refracción del aire o por efecto de la lluvia .

Las variaciones debidas a los trayectos múltiples son del orden de un nanosegundo sobre períodos bastante largos y disminuyen hasta alcanzar varios nanosegundo sobre períodos del orden de un minuto. Las variaciones del tiempo de propagación debidas a la lluvia no son fluctuaciones rápidas, pero provocan un retardo global ligado con la atenuación Así pues, para una frecuencia de 11 GHz y una intensidad de lluvia del orden de 10 a 100 mm/h. el retardo puede alcanzar valores de entre 0.005 a 0.01 nanosegundo por decibel de atenuación.[18]

Ruido externo

Todo cuerpo tiene la característica de radiar una cantidad de energía, la cual podrá ser captada por una antena y sobreponerse a las señales de comunicaciones bajo la forma de ruido de origen externo.

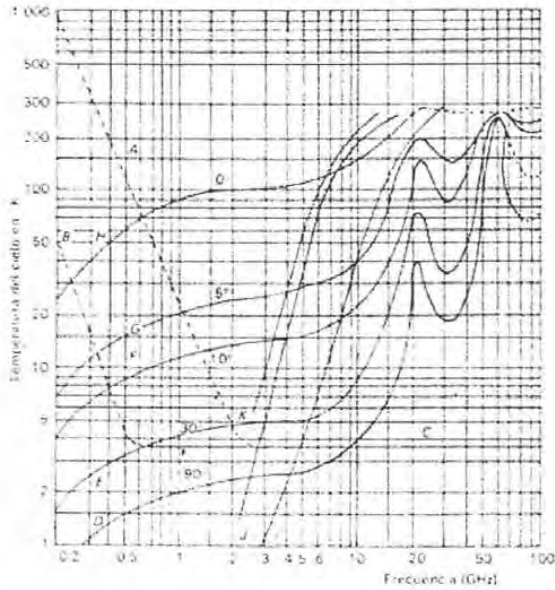
En el caso de las antenas receptoras que están a bordo de un satélite, el único objeto al cual se encuentran apuntadas, captando su energía radiada es la tierra y, por lo tanto, recibirán una temperatura de ruido equivalente a la de la tierra, que es del orden de 300° K.

Para una antena de recepción en una estación terrena la situación es distinta , ya que son varias las fuentes de ruido que deben tomarse en cuenta y que se mencionarán a continuación.

Ruido proveniente del cielo

Es posible identificar en el cielo diferentes tipos de ruido que pueden ser captados por una antena, los cuales pueden observarse en la figura 2.6. Si se

considera el rango de frecuencias comprendido entre 1 y 10 GHz. para ángulos de elevación superiores a cinco grados, la temperatura global de ruido del cielo es inferior a 20° K , siendo esto cierto en para frecuencias de 4 GHz, las cuales corresponden a las frecuencias más empleadas en las telecomunicaciones espaciales comerciales. El ruido cósmico se ubica entre las curvas A y B.



- | | |
|--|---|
| 1. Ruido cósmico | 2. Ruido debido a los gases de la atmósfera |
| A. Ruido galáctico máximo | D. Ángulo de elevación 90° |
| B. Ruido galáctico mínimo | E. Ángulo de elevación 30° |
| C. Ruido de fondo cósmico isotrópico (2.5°K) | F. Ángulo de elevación 10° |
| | G. Ángulo de elevación 5° |
| | H. Ángulo de elevación 0° |
3. Ruido debido a las precipitaciones
- J. 2.5 mm/h de lluvia sobre un espesor de 15 Km
 - K. 7.5 mm/h de lluvia sobre un espesor de 1.2 Km
 - L. 30 mm/h de lluvia sobre un espesor de 10 Km

Figura 2. 6 Temperatura aparente del cielo

La línea A representa las regiones en donde las fuentes de radiación son numerosas, como por ejemplo la Vía Láctea.

El sol también aporta una cantidad de ruido importante, sin embargo en las telecomunicaciones mediante satélites geoestacionarios es raro que se presente una conjunción entre el satélite y el sol.

Las principales fuentes generadoras de ruido atmosférico se deben a los gases del aire (oxígeno y vapor de agua, principalmente) y a las formaciones meteorológicas (nubes, bruma, niebla y lluvia).

Las curvas I, J, K de la figura 2.6 representan el ruido debido a los fenómenos meteorológicos, cuyo efecto bajo fuertes lluvias es bastante importante a las frecuencias superiores a 10 GHz.

Ruido debido a la radiación de la tierra

A pesar de que las antenas de estaciones terrenas se encuentran normalmente apuntadas hacia el cielo, el ruido que captan de la tierra debe ser considerado en las antenas que poseen pequeños valores de temperatura de ruido.

Tal y como se mencionó anteriormente, la temperatura de ruido proveniente de la radiación propia de la tierra es aproximadamente igual a su temperatura real (270° a 300° K), la temperatura de ruido captada por la antena depende de la distribución de sus lóbulos laterales alrededor de su lóbulo principal. La contribución de cada lóbulo está determinada por:

$$T = G \frac{d\Omega}{4\pi} T_0 \quad (11)$$

En donde G es la ganancia media del lóbulo de apertura total $d\Omega$ y T_0 la temperatura del suelo.

Atenuación por absorción de gases

La atenuación por absorción de gases en frecuencias menores a los 10 GHz se puede despreciar para el diseño de enlaces satelitales, pero para frecuencias mayores es importante considerar estas atenuaciones ya que ciertas bandas de frecuencias no están disponibles debido a la gran absorción efectuada por estos gases.

Las principales causas de atenuación por gases en la trayectoria de propagación de una onda electromagnética en la banda Ka son: la absorción por las moléculas de Oxígeno y por el vapor de agua que se encuentran en las diferentes capas de la atmósfera, así como en la lluvia y en las nubes. La parte baja de la atmósfera produce la absorción de las ondas de radio, la cual depende de parámetros que pueden ser fijos, como la frecuencia de la portadora, el ángulo de elevación de la antena y la altura de cada estación terrena sobre el nivel del mar, y variables como densidad del vapor contenido en el aire y la temperatura al nivel del suelo. El factor más inestable es la densidad del vapor, que puede tener fluctuaciones de efecto considerable.

El fenómeno de absorción en la atmósfera, aunque no tiene un valor constante, esta siempre presente y, como la pérdida en el espacio libre, es parte de las condiciones de propagación a cielo despejado que se encuentran en ausencia de fenómenos hidrometeorológicos como la lluvia o de tormentas con partículas sólidas como la nieve o la arena.

Cuando las frecuencias de transmisión son lo suficientemente altas, las ondas electromagnéticas interactúan con las moléculas de los gases en la atmósfera. Estas interacciones reducen la potencia de las señales conforme la atraviesan a esta, y se intensifican en las frecuencias de resonancia del vapor de agua (H_2O), oxígeno (O_2) y bióxido de carbono (CO_2). Si consideramos exclusivamente el rango de frecuencias empleado por los satélites de

comunicaciones, las únicas resonancias de interés son la del vapor de agua, que esta centrada en 22.2 GHz, y la del oxígeno, que esta en los 60 GHz.

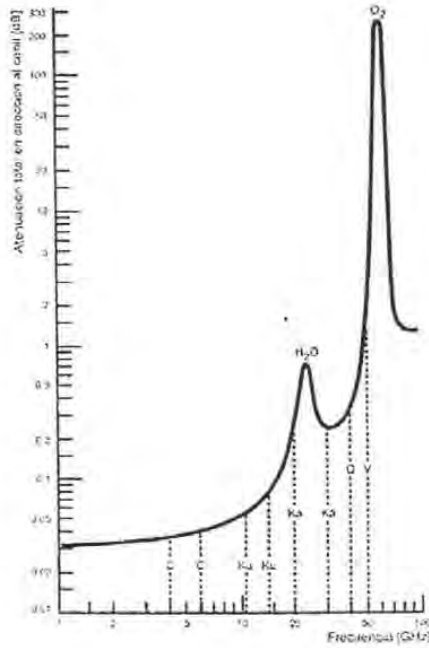


Figura. 2.7 Atenuación producida por la absorción atmosférica, en dirección al cenit a una temperatura de 20°C y densidad de vapor de agua de 7.5 g/m³.

Mas arriba en el espectro radioeléctrico existen otras frecuencias de resonancia para el vapor de agua, el oxígeno y el bióxido de carbono, Lo que si es importante señalar es que las bandas de frecuencia que la Unión Internacional de Telecomunicaciones ha asignado para los satélites de comunicaciones (1 a 30 GHz) fueron cuidadosamente elegidas para evitar las zonas de mayor atenuación. En la Figura 2.7 se observa, que las bandas C, Ku y Ka se hallan en las zonas de baja absorción atmosférica, denominadas "ventanas". Con esto, la atenuación acumulada durante el paso de las señales de microondas se reduce al mínimo y se abaratan los costos de transmisión, para una calidad determinada.

En dirección al cenit o para ángulos de elevación altos, y en las bandas C y Ku, estas pérdidas atmosféricas son muy pequeñas y pueden ser despreciadas, ya que no afectan la incertidumbre de cualquier balance de potencias en un enlace satelital.

En la banda Ka estas pérdidas alcanzan menos de 0.5 dB en los 15 GHz. Este es el caso de los sistemas de orbitas bajas (por la gama de frecuencias en que operan) y en la mayoría de los sistemas geoestacionarios en que los ángulos de elevación son mayores de 20°, salvo en los de países muy cercanos a los polos.

Estrictamente, la atenuación total acumulada depende de la longitud exacta del trayecto de la señal a través de las capas atmosféricas responsables de esta absorción. Es decir, depende del ángulo de elevación de la estación terrena, de la altitud a la que esta sobre el nivel de mar, la temperatura y la densidad del vapor de agua. La grafica de la Figura 2.7 corresponde a una trayectoria en dirección del cenit, esto es directamente hacia arriba y siguiendo el camino mas corto posible; de modo que si el ángulo de elevación de la estación terrena es otro, hay que corregir la estimación de dicha absorción atmosférica por medio de la siguiente fórmula, para θ entre 10° y 90°:

$$[L_{a.a.}]_{dB} = [L_{cenit}]_{dB} \operatorname{cosec} \theta \quad (12)$$

en donde:

θ es el ángulo de elevación de la antena terrestre

L_{cenit} es la lectura obtenida de la Figura 2.1

$L_{a.a.}$ es la atenuación por absorción atmosférica para el ángulo de elevación θ

Esta fórmula puede ser deducida con el triangulo rectángulo de la Figura 2.8, ya que la atenuación es acumulativa por cada kilómetro que la señal se adentra en las capas de absorción.

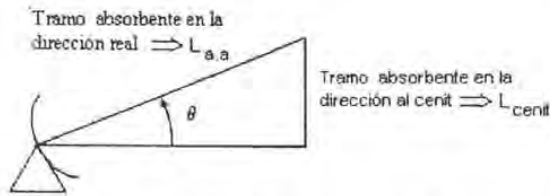


Figura 2.8 Geometría para deducir la ecuación de la atenuación por absorción atmosférica.

La absorción que sufren las ondas electromagnéticas a su paso por las moléculas de Oxígeno y de vapor de agua se debe a que el campo electromagnético incidente produce un momento magnético en las primeras y un momento eléctrico en las segundas. Esta absorción depende de la presión y de la temperatura y para una altitud dada puede variar en un factor de 2 de lugar a lugar o de un momento a otro. En la figura 2.9 se muestra la atenuación debida a gases para una atmósfera promedio en una trayectoria horizontal.

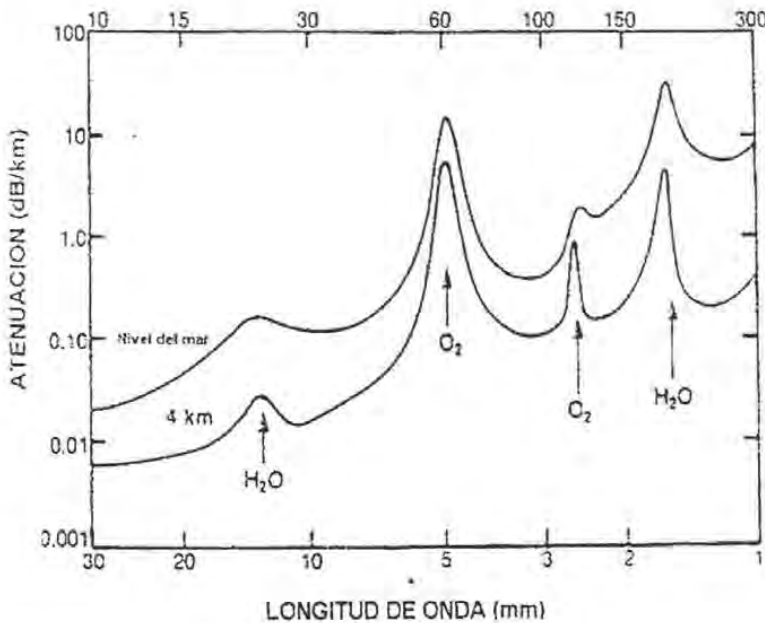


Figura 2.9 Absorción atmosférica promedio para ondas milimétricas en propagación horizontal

Para longitudes de onda mayores a 3cm, la absorción por gases es pequeña y puede ser despreciada, excepto en enlaces largos de mas de 60 Km. El valor de atenuación por gases es, en este caso, de 0.008 dB/km. Sin embargo, los hidrometeoros provocan mas atenuación debido a la absorción y esparcimiento que los gases atmosféricos. [19]

La absorción por Oxígeno puede ser considerada como un efecto constante y tiene variaciones muy pequeñas.

La atenuación debida a la absorción de los gases se incrementa a partir de los cambios en la cantidad de vapor de agua en la atmósfera. Esta variación de vapor de agua es diferente a distintas alturas sobre el nivel de mar y la contribución a la atenuación de la absorción por vapor de agua es dependiente de su concentración y de la temperatura. La concentración de vapor es el factor mas inestable y puede tener fluctuaciones de efecto considerable.[20]

En la troposfera la absorción debida a los gases es resultado de las resonancias moleculares del oxígeno y del vapor de agua (el nitrógeno no interviene en la gama de frecuencias radioeléctricas). El oxígeno tiene dos bandas principales de absorción en la gama de las ondas milimétricas, las cuales se sitúan cercanas a los 60 y 118.75 GHz .

El vapor de agua, igualmente, tiene dos bandas de absorción una, situada en los 22.2 GHz. y la segunda, en 183 GHz En la primera se produce una atenuación de 0.02 dB/Km, mientras que en la segunda será de 4 dB/Km. La figura 3 indica las atenuaciones provocadas por la absorción en un enlace satélite-tierra, considerando una atmósfera moderadamente húmeda (7.5 gramos de agua por m³).

Esencialmente. se trata de la lluvia, la niebla y las nubes. En el caso de las nubes y la niebla, las partículas de agua son extremadamente pequeñas en

comparación con la longitud de las ondas, hasta la frecuencia de 50 GHz. Por lo tanto, la atenuación es debida, principalmente, a la absorción de la energía por parte de las pequeñas partículas y puede demostrarse que la atenuación lineal resultante es proporcional al cuadrado de la frecuencia y al contenido de agua en la nube o en la niebla. En los rangos de frecuencia empleados actualmente para las comunicaciones espaciales esta atenuación es del orden de unas décimas de decibel .

La influencia de la lluvia es bastante más completa y en general es menos conocida, debido a que se desconoce a ciencia cierta la estructura propia de las precipitaciones. tanto en extensión como en intensidad Se sabe que por debajo de los 10 GHz la influencia de la lluvia es relativamente pequeña y que no es un elemento determinante en la calidad de los enlaces espaciales en 6 y 4 GHz. Por el contrario, para las frecuencias superiores a 10 GHz la atenuación sufrida por las señales es considerable y deberá ser tomada en cuenta en el análisis de los enlaces. La atenuación por lluvia en un enlace satélite tierra, considerando una frecuencia de 12 GHz, puede ser de varios decibels, dependiendo de ciertos factores, entre los cuales podemos mencionar las estadísticas de precipitación pluvial en la zona donde se ubica la estación terrena y el ángulo de elevación de su antena .

Para un enlace satelital, ya sea en el cenit o en una trayectoria inclinada, la atenuación debida a gases se ve influenciada por la longitud de la trayectoria y por su paso por diferentes capas atmosféricas en las cuales es diferente la densidad de vapor de agua como ya se mencionó anteriormente. Además, la atenuación por gases varía con respecto a la frecuencia. Es por eso que la atenuación total debida a gases, provocada por la absorción del Oxígeno y del vapor de agua, es función de la frecuencia, del ángulo de elevación del enlace , Figura 2.4 , la altura a la que se encuentre la estación terrena sobre el nivel del mar y la densidad de vapor de agua en ese lugar.

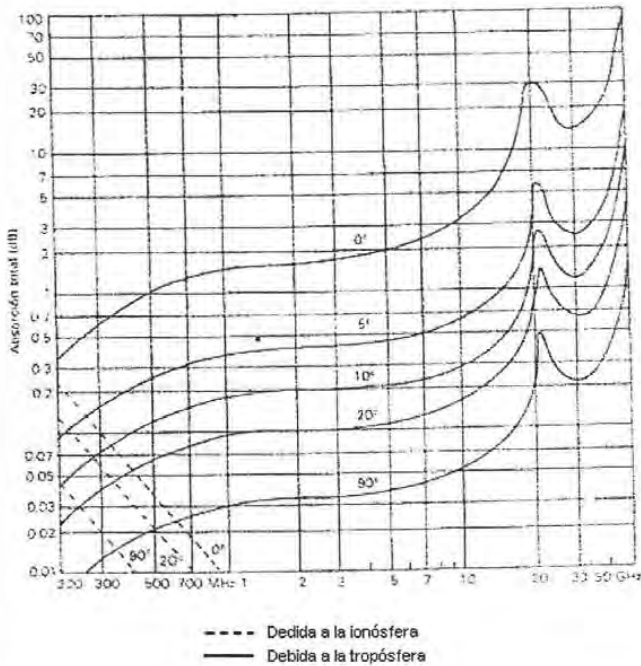


Figura 2.4. Atenuación total para diferentes trayectorias inclinadas desde la superficie de la tierra hacia el cenit

En la ionosfera existe una absorción que es debida a las colisiones entre los electrones y los átomos neutros. lo cual es motivado por el hecho de que la permitividad presenta una parte compleja. En el caso de las frecuencias relativamente altas. capaces de atravesar la ionosfera, encontramos que la atenuación es más o menos inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia. Dependerá del número de colisiones por segundo entre electrones y átomos y se producirá principalmente por debajo de los 120 Km de altitud. Además. aumentará a medida que el ángulo de elevación disminuya como consecuencia del aumento en la trayectoria recorrida por la onda en la ionosfera.

Para las frecuencias utilizadas en las telecomunicaciones por satélite, la atenuación debida a este fenómeno es muy baja y sólo será importante por debajo de varias centenas de MHz.

El cálculo para la absorción por gases es calculada como la suma de la absorción de vapor de agua y Oxígeno, esto es

$$A_g = A_o + A_w = (\gamma_o h_o + \gamma_w h_w) / \text{sen } \theta \text{ (dB)} \quad (13)$$

El procedimiento que se propone para su utilización en el modelo DAH es el que propone la ITU, y es aplicable a frecuencias de hasta 350 GHz.[21]

La atenuación específica del vapor de agua γ_w (dB/km) para una presión atmosférica de 1013 mPa y a una temperatura de 15°C esta dada por :

$$\gamma_w = (0.05 + 0.0021\mu + \frac{3.6}{(f-22.2)^2 + 8.5} + \frac{10.6}{(f-183.3)^2 + 9} + \frac{8.9}{(f-325.4)^2 + 26.3}) f^2 \mu \times 10^{-4} \quad (14)$$

donde:

f frecuencia (GHz)

μ densidad del vapor de agua (g/m)

La atenuación total para el vapor de agua esta dada por:

$$A_w = \frac{h_w \gamma_w}{\text{sen } \theta} \text{ (dB)} \quad \text{para } \theta > 10^\circ \quad (15)$$

$$A_w = \frac{\gamma_w \sqrt{R_e h_w}}{\cos \theta} F(\tan \theta \sqrt{R_e / h_w}) \text{ (dB)} \quad \text{para } \theta > 10^\circ \quad (16)$$

donde

R_e radio efectivo de la tierra incluyendo la refracción (8500 km)

θ ángulo de elevación

$$F(x) = 1 / (0.661x + 0.339 (x^2 + 5.51)^{1/2})$$

La altura equivalente h_w de la altura del vapor dada por :

$$h_w = h_{w0} \left(1 + \frac{3}{(f-22.2)^2 + 5} + \frac{5}{(f-183.3)^2 + 6} + \frac{2.5}{(f-325.4)^2 + 4} \right) \text{ (Km)} \quad (17)$$

$h_{w0} = 1.6$ km en condiciones de cielo despejado fuera de las regiones de absorción.

La atenuación específica del Oxígeno γ_o (dB/km) está dada por :

$$\gamma_o = (7.19 \times 10^{-3} + \frac{6.09}{f^2 + 0.22} + \frac{4.81}{(f-57)^2 + 1.5}) f^2 \times 10^{-3} \quad (18)$$

donde la frecuencia está dada en GHz ($f < 57$ GHz). La atenuación total está dada por :

$$A_o = \frac{h_w \gamma_o}{\text{sen } \theta} \quad \text{(dB)} \quad \text{para } \theta > 10^\circ \quad (19)$$

$$A_o = \frac{\gamma_o \sqrt{R_e h_o}}{\text{cos } \theta} F \left(\tan \theta \sqrt{R_e / h_o} \right) \quad \text{(dB)} \quad \text{para } \theta > 10^\circ \quad (20)$$

donde

R_e radio efectivo de la tierra incluyendo la refracción (8500 km)

h_o Altura equivalente de la capa de Oxígeno (6 km en aire seco)

θ ángulo de elevación

$$F(x) = 1 / (0.661x + 0.339 (x^2 + 5.51)^{1/2})$$

A frecuencias superiores a 10 GHz y ángulos de elevación muy bajos, como pueden ocurrir en algunos sistemas geoestacionarios internacionales cuando se diseñan enlaces para comunicar una estación terrena cerca del borde de una huella de cobertura geográfica global (toda la superficie que puede ser visible desde el satélite), la absorción tiene un valor significativo. Por ejemplo, a un ángulo de elevación de 5° y frecuencia de 14 GHz, estando la estación terrena al nivel del mar, la absorción en un solo tramo es aproximadamente

$$A_0 = 0.8 \text{ dB a } 5^\circ\text{C, } p_w = 5 \text{ gr/m}^3 \quad (21)$$

$$A_0 = 1.1 \text{ dB a } 25^\circ\text{C, } p_w = 15 \text{ gr/m}^3 \quad (22)$$

A una altura de la estación terrena sobre el nivel del mar de 1000 m, los valores correspondientes son: 0.7 y 1 dB, respectivamente.

Capítulo III

Características de la Precipitación Pluvial

Características y Sistemas de Lluvia

Los efectos de atenuación de la troposfera y la naturaleza estadística de estos efectos son determinados por las características macroscópicas y microscópicas de sistemas de lluvia .

Las características macroscópicas incluyen factores tales como el tamaño, distribución y movimiento de las células de lluvia, altura de la capa brillante ó altura isotérmica (esto es la curva para la representación cartográfica de los puntos de la Tierra con la misma temperatura) de 0° C y cristales de hielo. Las características microscópicas incluyen la distribución de tamaño densidad y forma de gotas de lluvia y cristales de hielo. Los efectos, combinando ambas características determinan la distribución acumulativa de atenuación contra el tiempo, la duración de desvanecimiento y los periodos de atenuación específica contra la frecuencia .

Tipos de lluvia

Lluvia estratiforme

En las regiones de latitud media, la precipitación estratiforme es el tipo de lluvia la cual tiene extensiones horizontales estratificadas de cientos de km. duraciones mayores a una hora y razones de lluvia menores que 25 mm/h. Este tipo de lluvia usualmente ocurre durante los meses de primavera y otoño, y es resultado de las temperaturas frías en alturas verticales de 4 a 6 km. Para aplicaciones de comunicaciones las lluvias estratiformes representan una razón de lluvia la cual ocurre en periodos suficientemente

grandes, que el margen de enlace debe definirse para que exceda la atenuación asociada con una razón de lluvia de 25 mm/h.

Lluvia convectiva

La lluvia convectiva se origina del movimiento atmosférico vertical. El flujo convectivo ocurre en una célula que tiene una extensión horizontal de varios kilómetros. La célula usualmente se extiende a alturas mayores que la altura promedio isotérmica de 0°C, en lugares con fuertes corrientes ascendentes y descendentes. Por el movimiento del frente y el movimiento deslizante, las duración de la razón de lluvia alta son usualmente de pocos minutos.

Precipitación mozónica

Esta precipitación se debe a la secuencia de bandas de precipitación convectiva intensa seguidas de intervalos de precipitación estratiforme. Las bandas tienen por lo general 50 km de ancho, centenares de km de largo y producen intensas lluvias que duran varias horas.

Tormenta ciclónica tropical

Las tormentas ciclónicas tropicales (huracanes) regularmente pasan sobre el sureste del bordo del mar durante el periodo de agosto a octubre. Estas tormentas circulares son típicamente de 50 a 200 km de diámetro moviéndose a 20 km por hora, se extiende a alturas de hasta 8 km y tiene razones de lluvia mas altas que 22.5 mm/h.

Las tormentas se caracterizan por varias bandas en espiral que terminan en regiones de precipitación intensa en torno a la región central u ojo del ciclón. Las bandas contienen también regiones de precipitación convectiva intensa.

Datos de precipitación

Los datos recolectados por los servicios climatológicos de los Estados Unidos y Canadá son una excelente base de datos para la estimación de la razón de lluvia. Sin embargo, las mediciones en el sitio son aun la técnica más exacta pero laboriosa para adquirir estadísticas de razón de lluvia.

En los Estados Unidos el Centro Nacional de Datos Climáticos prepara y mantiene grabaciones extensas de precipitación obtenidas de las Oficinas de Servicios Climáticos sobre 12,000 agencias de observación. Estos datos de lluvia están disponibles en diferentes clases de documentos, los cuales cuentan con datos de precipitaciones horarias, diarias, promedios mensuales y anuales. Si se desea más información respecto a razones de lluvia alta asociadas con tormentas, éstas pueden ser obtenida para la mayoría de los sitios en donde se ubican las Oficinas de Servicios Climáticos. Estos sitios generalmente cuentan con medidores *tipping bucket* y "cartas de medición normalizadas". Los medidores *tipping bucket* generalmente acumulan el numero de eventos de precipitación de 0.01 pulgadas en un día. Además, algunos medidores emplean una carta de lectura (cartas de registro triple de operaciones grabadas) , y por aproximación se puede obtener el tiempo entre extremos de razón de lluvia.

El medidor de "cartas de medición normalizadas" es también capaz de proveer información de razón de lluvia y es el instrumento principal utilizado para proveer latos de precipitación de 5 minutos a una hora. La medición se logra leyendo directamente de la carta de 24 horas del medidor. Con este tipo de cartas se puede obtener midiendo la pendiente de la línea, razones de lluvia de hasta 5 minutos de resolución y razones de lluvia de 1 minuto pueden ser inferidas de algunas de estas. Lo anterior hace que estas cartas sean la mejor fuente de información para razones de resolución pequeña.

Bodtman y Ruthroff han demostrado una técnica de estimación de distribuciones de razón de lluvia directamente de estas cartas de medición

con una resolución de 1 minuto , Como el cálculo derivado de las actas es notoriamente inexacto , se necesita de un procedimiento considerable para obtener resultados exactos , especialmente en razones de lluvia altas.

Muchos países preparan datos meteorológicos similares a los Estados Unidos . En México, el Servicio Meteorológico Nacional almacena cartas de datos con precipitaciones acumuladas promedios por mes y año para un gran numero de locaciones, además de datos de precipitaciones acumuladas por hora para un cierto número de observatorios ubicados en el territorio nacional. En algunos de estos se cuenta también con cartas de medición normalizadas.

Estimación de la razón de Lluvia

La medición de la razón de lluvia es un proceso inexacto por la naturaleza discreta de la precipitación. Obviamente, la razón de lluvia se calcula midiendo la acumulación de lluvia para un periodo de tiempo conocido en un punto. El periodo de tiempo mas corto reportado por los servicios climáticos de Estados Unidos y Canadá es 5 minutos y para México el periodo de tiempo reportado en el Servicio Meteorológico Nacional es de una hora. Asumiendo que la razón de lluvia es uniforme para el periodo de tiempo reportado, la razón de lluvia calculada en el punto y la razón de lluvia puntual instantánea son iguales. Sin embargo surge la pregunta de cómo varía la razón de lluvia conforme el tiempo de integración varía. La variación entre los tiempos de integración de 2 y 5 minutos se espera que sea significativa para razones de lluvia altas.

Este efecto es debido a que eventos de razón de lluvia baja tienden a ser espacial y Distribución uniformes, mientras razones de lluvia entre 50 y 120 mm/h son dominados por lluvias convectivas no uniformes espacial y Distribución.

Características principales de la lluvia

Macroestructura de la Lluvia

Estructura horizontal de la lluvia

La lluvia no es homogénea en el plano horizontal. Mediciones realizadas con sistemas de radar indican la existencia de zonas de precipitación, a menudo con regiones interiores mas pequeñas en que los índices de precipitaciones son mas elevados. Estas regiones localizadas de mayor índice de pluviosidad, denominadas nominalmente células de lluvia, pueden ocasionalmente hallarse aisladas.

Desafortunadamente no existe en la actualidad una morfología adecuada de la estructura de las precipitaciones. Se sabe que la estructura horizontal debe depender del tipo de lluvia, de la topografía y de la profundidad de la capa potencialmente inestable que producen las células convectivas y que dicha información debe obtenerse en diferentes latitudes de regiones marítimas y continentales. Por otra parte, para aplicaciones de la propagación radioeléctrica, las descripciones estadísticas necesarias para las células y para las variaciones espaciales de la intensidad de la lluvia en las grandes zonas de precipitación mas débil dependen de cada aplicación particular.

Estructura vertical de las precipitaciones

Se requiere información sobre la estructura vertical y extensión de las precipitaciones para predecir la atenuación en un trayecto oblicuo y para calcular la interferencia debida a la precipitación por la lluvia. Las observaciones realizadas con radar proporcionan las únicas mediciones directas de la estructura vertical de las precipitaciones. Sobre la base

de estas observaciones, se han definido dos tipos principales de precipitaciones:

Precipitaciones estratiformes, que se caracterizan por una delgada capa horizontal la cual tiene mayor reflectividad y se denomina banda brillante.

Precipitaciones convectivas, que se caracterizan por regiones en forma de columnas casi verticales de mayor reflectividad.

Pueden darse ambos tipos de precipitaciones en distintas regiones de la misma tormenta, y se ha observado que son las formas básicas que se producen en los sistemas principales de precipitación en todo el mundo.

Distribuciones verticales de términos cortos

Los radares calibrados son ideales también para la medición de los perfiles verticales de eventos de lluvia. Los perfiles de reflectividad media para un grupo de células de lluvia medidos desde la tierra como una función de la razón de lluvia, se presentan en la figura 3.1 . Los números en paréntesis son el numero de células medidas y la abcisa es el factor de reflectividad. Estos resultados experimentales demuestran claramente que la razón de lluvia es uniforme hasta cuatro km de altitud y después se decrementa dramáticamente para altitudes en el rango de 6 a 8 km, el decremento se asocia también con la altura isotérmica de 0° C.

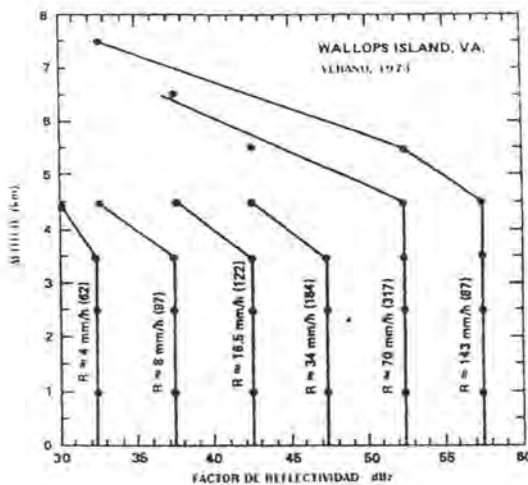


Figura 3.1 Factor de reflectividad medio obtenido en Wallops Island, VA

Sobre la isoterma existen hidrometeoros en forma de cristales de hielo y nieve. Estos hidrometeoros no contribuyen significativamente a la atenuación pero originan efectos de despolarización.

Variación vertical de la reflectividad

En general, los perfiles del factor de reflectividad del radar en función de la altura, muestran pocos cambios por debajo de una determinada altura de transición. Esto es cierto para los perfiles equiprobables y los perfiles medianos basados en un análisis de las distintas células de lluvia. La región que se halla por debajo de la altura de transición esta constituida preponderadamente por lluvia y contribuye tanto a la atenuación como a la dispersión.

Para la lluvia estratiforme, existe una capa estrecha de reflectividad aumentada en las proximidades de la altura de transición; la dimensión de esta capa es de unos 300 metros en promedio, aunque a veces puede alcanzar valores de hasta 1 km. Esta capa, conocida también como la banda brillante, se compone principalmente de nieve y de nieve en fusión.

La región por encima de la altura de transición es una mezcla de hielo y nieve que no produce atenuación importante en frecuencias inferiores a unos 60 GHz. Los cristales de hielo en los cirros y cirrostratos pueden producir valores de reflectividad muy grandes y tienen lugar para porcentajes al año del 1 al 10%, según la región climatológica.

Los perfiles por encima de la transición muestran un descenso con la altura que parece depender del clima. La pendiente justo por encima de la altura de transición varía entre alrededor de 3 y 9 dB/km. Es de esperar que la pendiente aumente para alturas mayores, así también que la altura de

transición se halle estrechamente relacionada con la altura isotérmica 0° C, que depende de la latitud, del clima, y de la estación. Para la precipitación estratiforme se ha observado que la variación estacional de esta altura guarda una correlación con la temperatura del suelo .

Variación vertical de la atenuación específica

La información sobre la variación vertical de la reflectividad puede utilizarse para determinar la variación vertical de la atenuación específica, una vez que este adecuadamente determinada la altura de la fase de agregación de las partículas de precipitación.

Para la precipitación estratiforme, lo anterior lo conduce al modelo de tres regiones distintas, cada una de las cuales contiene partículas de precipitación en fase de agregación homogénea. La primera región, que va desde el suelo hasta la altura inmediatamente inferior a la de transición, contiene únicamente partículas líquidas y en ella la atenuación específica es independiente de la altura. La segunda región es una capa estrecha, de unos 300 metros, alrededor de la altura de transición y contiene principalmente partículas de nieve en fusión, y su contribución a la atenuación puede no ser despreciable debido a la gran atenuación específica de la nieve húmeda. La tercera región se encuentra por encima de la altura de transición; contiene

únicamente hielo y nieve, y contribuye poco a la atenuación a frecuencias inferiores a 60 GHz.

El valor de la altura de transición de la precipitación estratiforme se acerca al valor de la altura isotérmica de 0° C de la atmósfera, pues en este tipo de precipitación los desplazamientos verticales del aire son pequeños.

Para la precipitación fuertemente convectiva, la situación es mucho más compleja. Se producen intensos movimientos verticales del aire que dan lugar a la mezcla en gran escala de distintos tipos de partículas; por ejemplo, se sabe que en algunas células convectivas pueden encontrarse gotas de

lluvia bastante frías muy por encima de la altura isotérmica de 0° C. No obstante, en una primera aproximación, puede tomarse la altura isotérmica de 0° C como la altura que separa la región que contiene únicamente partículas líquidas (en la que el valor de la atenuación específica es independiente de la altura), y la región por encima de esta, que contiene únicamente partículas de hielo y nieve cuya contribución a la atenuación es despreciable.

Altura isotérmica de 0° C y la altura de la lluvia

Como se mencionó anteriormente a menudo se supone que la altura de la transición entre la parte inferior de la atmósfera que contiene únicamente partículas líquidas y la parte superior que contiene únicamente partículas en congelación, es idéntica a la altura de la isoterma de 0° C. Generalmente, la altura isotérmica puede variar con el tiempo. Como primera indicación del valor de esta altura pueden utilizarse valores promedio, de los cuales se definen los siguientes:

h_{FS} : valor medio de la altura isotérmica de 0° C en los meses de verano.

h_{FR} : valor medio de la altura isotérmica de 0° C en condiciones de lluvia.

La selección adecuada de los eventos se realiza en función de los umbrales apropiados de intensidad de las precipitaciones, lo que puede

llevar en teoría a un valor dependiente de la intensidad de las precipitaciones o de su probabilidad. No obstante, para valores de la intensidad de las precipitaciones correspondientes a porcentajes de tiempo de 0.1 a 0.001 % esta dependencia es muy débil.

Otro parámetro de la altura referido a la lluvia es:

h_R : altura aparente de la lluvia para la previsión de la atenuación debida a la lluvia.

Este parámetro da el análisis de los datos de atenuación media equiprobable y de intensidad puntual de las precipitaciones en el marco de un modelo elegido. En el caso ideal, si el modelo simple de estructura vertical y horizontal de las precipitaciones utilizado para la predicción de atenuación es valido,

$$h_r = h_{FR} \quad (23)$$

Una estimación provisional de la dependencia de h_{FR} respecto de la latitud es:

$$h_{FR} = \begin{cases} 4.0 & \text{para } 0 < \varphi < 36^\circ \\ 4.0 + 0.075 (\varphi - 36) & \text{para } \varphi > 36^\circ \end{cases} \quad , \text{ (Km)} \quad (24)$$

El valor de h_{FR} para la región tropical se estima suponiendo una temperatura media de la superficie durante la lluvia de 25° C y un gradiente vertical adiabático saturado de unos 6°C/ km. Para las latitudes más elevadas, los valores de h_{FR} se estimaron a partir de datos obtenidos en emplazamientos del hemisferio Norte en donde las lluvias mas importantes se producen en verano. También puede preverse una desviación considerable del valor de h_{FR} si la estación de lluvias importante difiere mucho de la del verano. Uno de los modelos geofísicos de atenuación causada por la lluvia , indica que la isoterma de 0° C corresponde a la altura de la lluvia excedida durante el 1 % del tiempo y que la isoterma de -5° C corresponde a la altura de la lluvia excedida durante el 0.001 % del tiempo.

Microestructura de la lluvia

Las distribuciones de tamaño, forma y orientación de las gotas de lluvia pueden variar dentro de una tormenta. Algunas observaciones muestran que como medida, la distribución del tamaño de gotas es relativamente estable,

variando fundamentalmente con la intensidad de la precipitación.

Distribución del tamaño de las gotas

Muchos investigadores han estudiado la distribución del tamaño de las gotas como una función de la razón de lluvia y del tipo de la actividad de tormenta. Las tres distribuciones usadas mas comúnmente son:

- Laws - Parsons (LP)
- Marshall - Palmer (MP)
- Joss - thunderstorm (J-T) and drizzle (J-D)

La distribución de Laws-Parsons [22], se ha mostrado útil en la estimación de la atenuación y de las propiedades de dispersión de la lluvia hasta frecuencias de 40 GHz aproximadamente. Las concentraciones relativas de pequeñas gotas con diámetros inferiores a 0.5 mm no se ajustan al modelo de distribución de Laws-Parsons y algunas veces se hace uso de la distribución de Marshall-Palmer , para remediar el efecto. La concentración relativa de pequeñas gotas puede variar fuertemente y la utilización de un modelo único de distribución puede no ser adecuado para todos los lugares. En general la distribución Laws - Parsons se usa para propósitos de diseño porque ha sido ampliamente probada comparándola con mediciones de razones de lluvia alta y baja. En un régimen de razón de lluvia mayor a 25 mm/h y a una frecuencia arriba de 10 GHz, los valores LP dan atenuaciones de lluvia específica mas altas que los valores J-T de Joss. La distribución de Joss difiere de las demás en que esta especificada generalmente para dos tipos de lluvia :

- Lluvia de tormenta o convectiva
- Llovizna

Para las intensidades de lluvia elevadas de más importancia en el diseño de sistemas de comunicaciones, y a frecuencias superiores de 10

GHz, la distribución de Laws-Parsons da atenuaciones específicas superiores a los de la distribución de Joss para las lluvias de tormenta. Por otra parte, la distribución de Joss para la llovizna, da atenuaciones específicas mayores para Intensidades de lluvia baja y para estas frecuencias elevadas.

Forma y orientación de los hidrometeoros

Las gotas que caen asumen una forma realmente esferoidal cuando están sujetas solamente a los efectos de la gravedad y de la tensión de la superficie del agua. La fuerza de gravedad proporciona la fuerza principal de orientación para las gotas de lluvia. Las gotas pueden vibrar y oscilar mientras caen pero la forma real de estas es esferoidal aplastada con el eje de simetría casi vertical. Fuerzas horizontales debidas a gradientes verticales del viento pueden hacer que la orientación media se incline unos grados. Pruppacher y Pitter , establecieron un modelo de la forma de las gotas en función de su tamaño, las observaciones en la atmósfera tienden a demostrar relaciones axiales mas pequeñas que las calculadas por el modelo para las gotas del mismo volumen.

Velocidad terminal

Gunn y Kinzer , registraron las velocidades terminales de las gotas de lluvia en función del tamaño de estas. Las mediciones se efectuaron en condiciones de calma en el laboratorio, pero se han supuesto para aplicarse en la atmósfera. Las velocidades de las gotas dependen de la densidad del aire y, por lo tanto, son una función de la altura. Las observaciones con radares muestran que, por término medio, el valor de reflectividad varia poco con la altura por debajo de la altura de lluvia. Por consiguiente, el número y tamaño de las gotas y el contenido de agua liquida en un volumen de gotas varia poco con la altura. Como la velocidad terminal depende de la altura, el flujo de agua liquida o índice de pluviosidad depende consecuentemente de esta.

Temperatura de las gotas de lluvia

Las gotas de lluvia que caen tienen una temperatura que se aproxima a la temperatura del termómetro húmedo para la presión, temperatura y humedad del aire circundante. Pueden existir pequeñas gotas de lluvia a temperaturas por debajo de los 0°C, especialmente en regiones de corrientes ascendentes de tormentas convectivas y en nieblas muy frías. Las mezclas de hielo y agua pueden existir también en regiones de corrientes descendentes por debajo de la altura isotérmica de 0°C. Por término medio, el número significativo de gotas de gran tamaño de agua líquida que contribuyen a la atenuación debida a la lluvia se observan entre la altura isotérmica de 0°C y la superficie.

Características estadísticas de la intensidad de lluvia en un punto

Distribución acumulativa de la intensidad de lluvia

Las mediciones efectuadas con pluviómetros de respuesta rápida indican que las lluvias de gran intensidad tienden a concentrarse en periodos de tiempo breves, normalmente unos cuantos minutos. Por lo tanto, las distribuciones acumulativas experimentales de la intensidad de lluvia dependen del tiempo de integración empleado. Los valores acumulativos mensuales, diarios y en algunos casos, horarios de las precipitaciones en forma de lluvia, que se consiguen fácilmente en las publicaciones de los diversos servicios meteorológicos, no pueden utilizarse directamente para obtener distribuciones acumulativas de intensidad de lluvia durante pequeños porcentajes de tiempo.

Siempre que existan datos apropiados sobre intensidad de lluvia en una localidad determinada, convendrá utilizarlos para determinar la distribución acumulativa correspondiente.

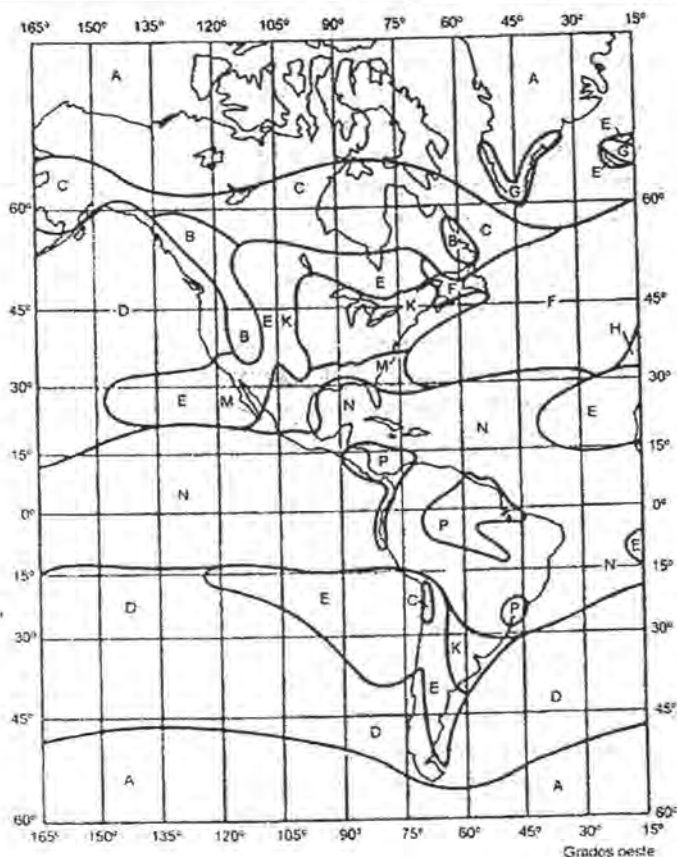


Figura 3.2 Regiones de América designadas con letras por la UIT, según la intensidad de lluvia que es excedida.

Es pertinente señalar que, de acuerdo con diversos estudios, se ha visto que una señal no es afectada por la lluvia de la misma forma en toda su trayectoria a través de ella, ni durante todo el tiempo que llueve, además, la distribución del agua no es uniforme, por ejemplo, durante una tempestad o un huracán. Asimismo, la intensidad y distribución de la lluvia puede variar dentro de una misma región hidrometeorológica de un año a otro; y como cada región es muy grande, la intensidad puede ser distinta de un sitio a otro. Por ello, para poder realizar los cálculos con menor margen de error, la UIT publica algunos mapas de contornos de intensidad de lluvia que es excedida por ciertos

porcentajes de tiempo; la Figura 3.2 corresponde a uno de estos mapas mas precisos, que solo aplica para diseñar un enlace con disponibilidad de 99.99%.

Para fines prácticos de ingeniería, existen métodos sencillos que permiten calcular con cierta precisión los niveles de atenuación en función de la frecuencia y del tipo de polarización de la señal.[23]

Los datos presentados en la tabla 3.1 identifican diversas los valores de las diferentes zonas hidrometeorológicas. Son de fácil empleo y su uso es sugerido en los casos que no se cuenta con datos propios en la localidad. Las distribuciones acumulativas medias que se presentan en la tabla se fundan en los mejores datos actualmente disponibles. En la práctica, la transición en el comportamiento de la lluvia entre una zona y la siguiente no será abrupta. Las distribuciones acumulativas de la intensidad de lluvia variaran entre una localidad y otra, dentro de una zona determinada, y pueden variar considerablemente de un año a otro.

Porcentaje de Tiempo

Porcentaje de Tiempo (%)	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P
1.0	<0.5	1	2	3	1	2	3	2	8	2	2	4	5	12
0.3	1	2	3	5	3	4	7	4	13	6	7	11	15	34
0.1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22	35	65
0.03	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40	65	105
0.01	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	154
0.003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	200
0.001	22	32	42	42	70	78	65	83	55	100	150	120	180	250

Tabla 3.1 Zonas de lluvia y precipitación pluvial según UIT-R Estadísticas de la duración de las lluvias

La distribución estadística de la duración de las lluvias que exceden umbrales preestablecidos es también de interés para prever la fiabilidad de las comunicaciones. Estudios realizados en Japón, Francia e Italia indican que

esta distribución es aproximadamente logarítmica. Mediciones realizadas en Italia y Grecia indican que las duraciones medianas de las lluvias son aproximadamente inversamente proporcionales a los valores de umbral de la intensidad de lluvia .

Atenuación Específica

La lluvia produce absorción y dispersión de las ondas radioeléctricas. Estos efectos se combinan para producir atenuación. Aunque todas las frecuencias están sometidas a estos efectos, la atenuación solo es importante en frecuencias superiores a varios gigahertz y para porcentajes de tiempo en los que la precipitación es intensa.

Suponiendo que las gotas son esféricas, puede relacionarse la atenuación específica producida por la lluvia γ_R (dB/km) a una frecuencia determinada y para la intensidad de lluvia R (mm/h), conociendo: el índice complejo de refracción del agua a la temperatura de las gotas de lluvia, la velocidad terminal y la distribución del tamaño de las gotas de lluvia. Los cálculos de la atenuación específica en una frecuencia dada en función de la intensidad de la lluvia dependen considerablemente de la microestructura supuesta de la lluvia (distribución del tamaño, temperatura, velocidad terminal forma de las gotas de lluvia).

La distribución del tamaño de las gotas de lluvia de Laws-Parsons es la más corrientemente utilizada para calcular la atenuación específica, y ha sido objeto de muchas pruebas. Se basa en mediciones para intensidades de lluvia de hasta 50 mm/h, pero puede extrapolarse para intensidades superiores. También se han empleado para los cálculos de la atenuación específica otras distribuciones del tamaño de las gotas representadas por una función exponencial negativa tales como las de Marshall - Palmer, y Joss. La distribución de Joss difiere de las demás en que esta especificada generalmente para dos tipos de lluvia: Lluvia de tormenta o convectiva y llovizna. Para las intensidades de lluvia elevadas de mas importancia en el

diseño de los sistemas de comunicaciones, y a frecuencias superiores de 10 GHz, la distribución de Laws-Parsons da atenuaciones específicas superiores a los de la distribución de Joss para las lluvias de tormenta. Esta diferencia es específicamente grande a frecuencias superiores a 100 GHz. Por otra parte, la distribución de Joss para la llovizna da atenuaciones específicas mayores para intensidades de lluvia baja y para estas frecuencias elevadas. Las variaciones de temperatura de las gotas con respecto al valor supuesto solo tienen importancia en frecuencias inferiores a 20 GHz y pueden ser causa de divergencias.

A causa de la forma no esférica de las gotas de lluvia, las ondas con polarización horizontal sufren una atenuación superior a las polarizadas verticalmente. Las atenuaciones específicas para polarizaciones vertical y horizontal y frecuencias de hasta 100 GHz pueden obtenerse mediante cálculos extensos que tienen en cuenta la forma no esférica de las gotas de lluvia .

Con tanta variación en el fenómeno de atenuación por lluvia, además de ser un evento aleatorio, no existe hasta el momento un modelo preciso con el que se pueda predecir la atenuación provocada por la lluvia en un enlace, solamente se ha logrado estimar niveles de atenuación que nos permitan realizar un diseño de un sistema de comunicaciones que cuente con un desempeño aceptable.

El futuro, otras bandas de frecuencias aún mayores que las de Ku o Ka serán empleadas para enlaces de superalta capacidad, específicamente las Q, V y W (75-110 GHz), pero casi no hay datos disponibles para formar un buen modelo que se adapte a ellas; con excepción de los datos recabados por Italsat a 50 GHz para la región europea central, habrá que obtener muchos más antes de poder predecir la atenuación por lluvia en estas futuras bandas. Precisamente, una carga experimental del satélite Anik F2 (2002) permitirá obtener más datos en la frecuencia de 40 GHz.

Capítulo IV

Atenuación y Modelos de Atenuación por Lluvia.

Las ondas electromagnéticas en la Banda Ka experimentan una atenuación significativa debido a la precipitación, y en particular por la lluvia ya que esta provoca la absorción y la dispersión a través de los hidrometeoros. El patrón de tiempo y espacio de la ocurrencia de lluvia es considerado como un proceso aleatorio. Por esta razón, la atenuación por lluvia en un enlace satelital tiene un comportamiento inherentemente probabilístico, el cual depende de la frecuencia, la posición geográfica de la estación terrena, el clima, el tipo de terreno, la estación, la intensidad de lluvia, etc.

Esta atenuación se debe a que la energía electromagnética es absorbida y convertida en calor por las gotas de lluvia. La forma y el tamaño de las gotas de lluvia que en ocasiones son comparables con la longitud de onda, están relacionadas directamente con la pérdida de energía electromagnética. Esta absorción, conocida como atenuación por lluvia, limita el rango efectivo durante eventos de precipitación y debe recibir consideración durante la fase del diseño del sistema.

Varios satélites de tipo experimental han sido utilizados para recopilar datos sobre atenuación en la Banda Ka. El más importante de ellos es el ACTS de la NASA. Con este satélite fue posible recopilar datos suficientes sobre atenuación en esta banda de frecuencias. Estos datos han sido comparados con los modelos teóricos empleados para predecir la atenuación producida por diferentes fenómenos como la lluvia. Se encontró que la atenuación por lluvia es el factor que más influye en un enlace en Banda Ka. La condición de lluvia no afecta al enlace en toda su trayectoria y lo hace en forma distinta a lo largo del área de precipitación. Con tanta variación en el fenómeno de atenuación por lluvia, además de su inherente

ocurrencia aleatoria, no existe hasta el momento un modelo preciso con el que se pueda predecir la atenuación provocada por la lluvia en un enlace. Sin embargo, es importante inferir los niveles de atenuación producidos por la lluvia en el diseño de un sistema de comunicaciones para que este no sea afectado en su desempeño en forma descontrolada.

La atenuación derivada de la presencia de la lluvia depende principalmente de la intensidad con que esta cae y de la probabilidad de que ocurra un evento de lluvia en una determinada zona geográfica. Además de la atenuación de la señal útil, la lluvia produce otros dos efectos de deterioro en los enlaces: aumenta la temperatura de ruido de las antenas receptoras y produce giros en la polarización de las señales.

Las células de lluvia presentan variaciones en cuanto a duración, extensión vertical y área de cobertura. Estas celdas no son homogéneas, tienen un tiempo de vida relativamente corto y una área de presencia pequeña.

La consideración de la atenuación por lluvia en el diseño y planeación de un sistema de comunicaciones es importante debido a que los sistemas de comunicaciones pueden experimentar una pérdida de la señal debido a esta atenuación y provocar que el sistema este indisponible para su uso temporalmente. La dispersión provocada por la lluvia produce, además, señales de ruido indeseables que interfieren en un sistema de recepción y que puede envolver u ocultar la señal recibida. La atenuación producida por la lluvia tiene un comportamiento casi cuadrático en función de la frecuencia en el rango de 3 a 100 GHz y es mayor a ángulos bajos de elevación de las antenas en las estaciones terrenas. La figura 4.1 muestra la atenuación específica en función de la frecuencia para razones de lluvia del, 10 y 100 mm/h.

A 100 mm/h el máximo de atenuación ocurre en 40 GHz. Afortunadamente, el hablar de 100 mm/h es hablar de condiciones que no se dan siempre. Para razones menores de lluvia, el máximo se encuentra localizado a frecuencias mayores de 100 GHz. Para frecuencias menores de 100 GHz la atenuación

específica provocada por la lluvia no es máxima. Sin embargo, en este rango, la atenuación debida a la lluvia crece de forma muy rápida con el valor de la frecuencia. Este comportamiento es igual para las distintas tasas de lluvia. Para frecuencias menores a 3 GHz, la atenuación causada no es significativa. En contraste, para frecuencias más altas, la atenuación por lluvia representa un factor importante ya que para frecuencias mayores a 10 GHz, esta representa más del 40% de la atenuación y en sistemas que trabajan en la Banda Ka (20GHz / 30GHz), esta representa una parte aún más grande.

La atenuación debida a la lluvia depende del tamaño de las gotas y de su deformación al caer, pero sobre todo de la intensidad con la que cae y de la cantidad global de agua en el aire. Debido a la dificultad de medir los anteriores parámetros se expresa la atenuación específica (γ) en función de la intensidad de lluvia (I) medida en mm/h. Esta atenuación tiene un comportamiento casi cuadrático en función de la frecuencia en el rango que va de aproximadamente 1.5 a 100 GHz como lo podemos ver en la figura 4.1 para razones de lluvia de 0.25, 1.25, 5, 25, 50, 100 y 150 mm/h.[24]

Como se puede observar, los valores máximos de atenuación se dan arriba de los 100 GHz en cada una de las razones de lluvia analizadas. Para frecuencias menores de 100 GHz la atenuación específica provocada por la lluvia no es máxima aunque se observa que dentro de estos valores la atenuación crece muy rápidamente al aumentar la frecuencia para cualquier razón de lluvia. También dicha atenuación depende en cierta manera de la polarización (H-V). La gráfica muestra un valor medio.

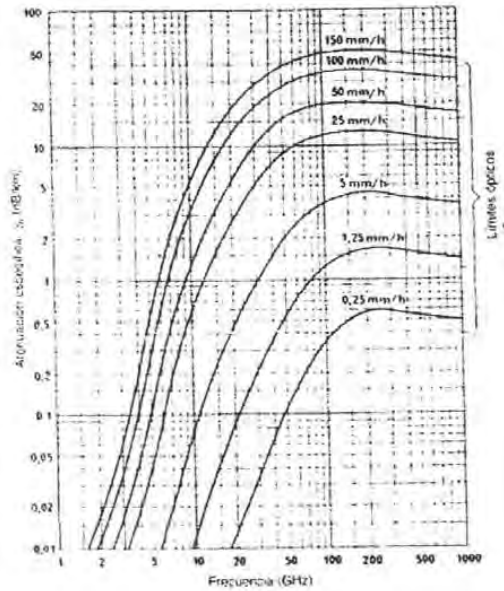


Figura 4.1 Atenuación específica ocasionada por la lluvia. Los cálculos son para gotas esféricas y una ley de distribución Laws and Parson para el tamaño de las Gotas

En general la atenuación por lluvia se produce por:

- La dispersión por efecto Joule debido al comportamiento del agua como dieléctrico imperfecto.
- La dispersión de la energía en direcciones diferentes a la de propagación.

La atenuación por lluvia se presenta de forma similar en un enlace satelital o en un enlace terrestre. Sin embargo, es necesario hacer consideraciones particulares para cada uno de estos enlaces cuando se realizan los cálculos para el diseño del sistema.

Los cambios de atenuación que ocurren en un enlace espacio-tierra pueden ser determinados por medio de la observación del cambio del nivel de la señal recibida en tierra cuando la potencia radiada desde el satélite no tiene

variaciones. Esto se hace con referencia a un nivel de cero atenuación, el cual se determina en condiciones de cielo despejado.

Cuando llega a llover en la zona donde está instalada una estación terrena, Ya sea transmisora o receptora, las señales portadoras son atenuadas conforme se propagan a través de la región del aire en donde este lloviendo; la distancia total d que las señales viajan a través del fenómeno meteorológico, depende de la altura h de las nubes con relación al piso y del ángulo de elevación θ de la antena de la estación , como se muestra en la figura 4.2. Los efectos de la lluvia sobre la propagación de las ondas electromagnéticas han sido estudiados durante cerca de cuarenta años, y ahora ya se sabe con bastante precisión que tanto se atenúa una señal, en función de su frecuencia y de la intensidad con la que este lloviendo, medida en milímetros por hora (mm/h). Durante estas décadas varios han sido los modelos propuestos para tipificar a las gotas de lluvia y sus efectos; entre ellos están el de Laws y Parsons, el de Crane y más recientemente el DAH , para la banda Ka. Las gotas de lluvia absorben energía al ser calentadas por las señales de microondas, y conforme la longitud de onda se hace comparable al tamaño de las gotas, el efecto es mas severo, causando mayor atenuación en la banda Ka ($\lambda = 1\text{cm}$ a 30 GHz) que en la banda Ku ($\lambda = 2\text{ cm}$ a 14 GHz) o en la C ($\lambda = 5\text{ cm}$ a 6 GHz). Asimismo, una parte de la energía de la señal se dispersa al chocar esta con las gotas de lluvia.[25]

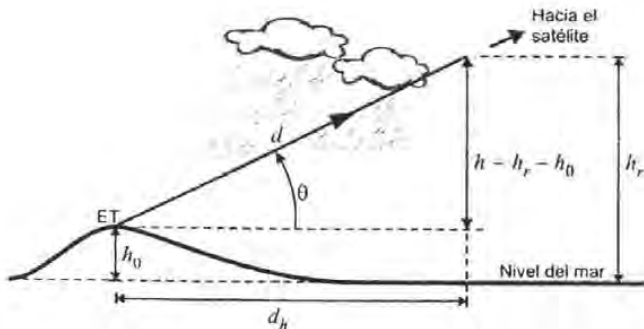


Figura 4.2 Cuando llueve, una señal portadora recorre una distancia d a través de la lluvia y se atenúa progresivamente.

Como no siempre llueve, para el diseño de un enlace satelital resulta de interés el porcentaje del tiempo total en el que cierto valor especificado de mm/h es excedido; el tiempo total de referencia que generalmente se usa es un año. Así, por ejemplo, el decir que un cálculo de enlace ha sido diseñado considerando una intensidad o tasa de lluvia de 0.01 %, significa que, cuando llueva, la intensidad será mayor que la tomada como referencia en esa zona durante 0.01% de un año, o sea, durante 53 minutos. Estos minutos son acumulados, por ejemplo, 2 minutos el día 80, otros 3 minutos el día 83, y así sucesivamente, hasta sumar 53 minutos en un año. El saber cuantos minutos es probable que se sobrepase cierta intensidad de lluvia permite estimar la calidad o garantía del servicio en esa zona y el margen con el que los equipos deben ser sobredimensionados para que dicho servicio se mantenga con buena calidad durante la mayor parte del tiempo; por ejemplo, en el caso de una tasa excedida durante 0.01 %, la diferencia (100% - 0.01 %) sería la disponibilidad del enlace, o sea, 99.99% de cada año. En la tabla 4.1 se muestran los grados de disponibilidad con sus respectivos valores en tiempo por año.

Disponibilidad (%)	Porcentaje Excedido (%)	Tiempo de interrupción (h / año)	Tiempo de interrupción (días / año)
99.00	1.0	87.60	3.65
99.25	0.75	65.70	2.74
99.50	0.50	43.80	1.83
99.80	0.20	17.52	0.73
99.90	0.10	8.76	0.36
99.93	0.08	6.57	0.27
99.95	0.05	4.38	0.18
99.98	0.02	1.75	0.07
99.99	0.01	0.88	0.04

Tabla 4.1 Grados de disponibilidad y sus valores en tiempo/año

Modelos de Precipitación Pluvial

Para poder resolver este problema de la atenuación por lluvia, hay que recurrir a datos estadísticos sobre la probabilidad acumulativa de las tasa de lluvia según la zona geográfica de interés, con este fin, se a realizado a lo largo del tiempo diferentes estudios para poder predecir esta probabilidad, dos de los modelos de precipitación pluvial más utilizados para el diseño de sistemas de

telecomunicaciones son el Global de Crane y el de la ITU-R, que a continuación se explican en que consisten .

Modelo de Precipitación Pluvial Global de Crane

En años recientes se ha hecho énfasis en el establecimiento de técnicas predictivas para la estimación estadística de la distribución de probabilidad de atenuación para una trayectoria particular.

Para la estimación del problema hay dos diferentes enfoques: uno basado únicamente en el uso de un gran número de observaciones de atenuación en diferentes frecuencias, localidades y trayectorias geométricas, y otro basado en la síntesis de valores de atenuación de datos meteorológicos. Actualmente la última es más prometedora, porque se dispone de una amplia base de datos para usarla en la estimación de funciones de distribución requeridas para modelar trayectorias de atenuación.

Para la predicción de atenuación sobre una trayectoria inclinada, se deben modelar las variaciones verticales en la intensidad de lluvia y en estado de hielo o agua . En frecuencias abajo de 60 GHz, la atenuación causada por partículas heladas tales como nieve o cristales de hielo es muy pequeña y puede ser despreciada.

El modelo Global - Crane presentado a continuación puede ser usado sobre trayectorias terrestres o inclinadas. Se basa en observaciones geofísicas de razón de lluvia, estructura de la lluvia, y la variación vertical de la temperatura atmosférica.

Predicción de razón de lluvia puntual superficial

Dado que no existe teoría para el cálculo de una distribución de razón de lluvia puntual superficial, las distribuciones estimadas son

empíricas y deben ser desarrolladas de los datos disponibles de las observaciones de acumulación de lluvia.

Modelo regional

Crane, en el procesamiento de datos de precipitación excesiva de 15 estaciones de Nueva Inglaterra y del este del estado de Nueva York, encontró que la media y la varianza de los datos obtenidos de 7 años y 15 estaciones fueron estadísticamente idénticos con la media y la varianza para una estación en Boston. La media de razón de lluvia fue 100 mm/h, y la desviación estándar de 35 por ciento para las 15 estaciones muestra y para Boston la media de razón de lluvia fue 91 mm/h y la desviación estándar el 48 %.

Este resultado implica que los mapeos regionales son útiles para la representación de distribuciones de razón de lluvia para su aplicación en localidades diferentes de la estación observadora.

Inicialmente Barry y Chorely , definieron 10 regiones climáticas para los EU, las cuales fueron definidas sobre bases de temperatura, altura del terreno, acumulación de lluvia promedio y tipo de vegetación, y no sobre bases de similitud en distribución de razón de lluvia.

Una comparación posterior de las funciones de distribución producidas para cada región climática dio como resultado una reducción del número de regiones climáticas de lluvia requeridas para describir las distribuciones de razón de lluvia, resultando 5 regiones climáticas. Estas regiones climáticas aunque forjadas para los EU, fueron subsecuentemente empleadas para describir regiones climática, de lluvia del mundo entero. En el desarrollo de un nuevo modelo global climático de lluvia para su uso en el diseño de sistemas de comunicación, el número de regiones escogidas para representar las variaciones en razones de lluvia fue extendido de 5 a 8 regiones para un mejor énfasis en la variación con la latitud.

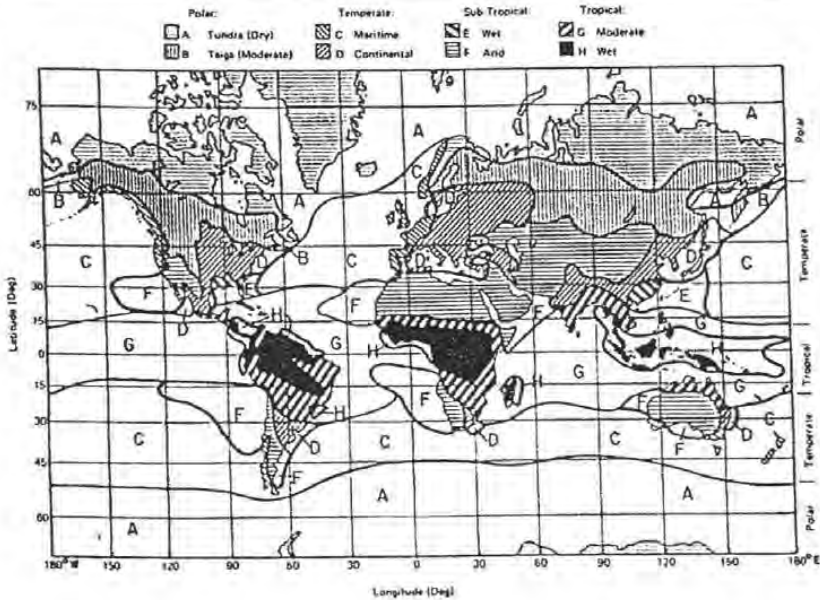


Figura 4.3 Regiones climáticas de razón de lluvia (Global-Crane)

El nuevo modelo desarrollado se presenta en las figuras 4.3 y 4.4, como se observa, los Estados Unidos están aun mapeados por 5 regiones, aunque la región D esta subdividida en tres subregiones para proveer una interpolación de las supuestas distribuciones de lluvia para describir mejor las variaciones climáticas dentro de la región para aplicaciones de diseño.

Tomando en consideración datos de nubes por satélite, observaciones de razón de lluvias en radiómetros de microondas, y datos de frecuencia de precipitaciones, se logró extender las regiones climáticas de lluvia sobre los océanos.



Figura 4.4 Regiones de razón de lluvia en los Estado Unidos y Norte de México

Las mediciones disponibles de distribuciones de razón de lluvia fueron obtenidas para cada una de las regiones climáticas, y se usaron para obtener la distribución de razón de lluvia media para la región. Las distribuciones resultantes para cada una de las 8 regiones climáticas se describen en la figura 4.5 y en la tabla 4.2

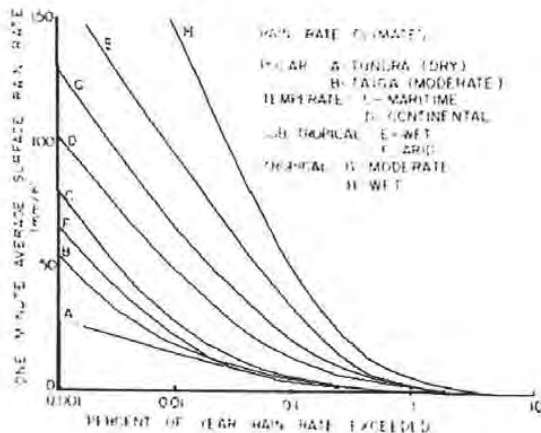


Figura 4.5 Funciones de distribución de precipitación

Porcentaje Anual	A	B	C	D ₁	D ₂	D ₃	E	F	G	H
0.001	28	54	80	90	102	127	164	66	120	251
0.002	24	40	62	72	86	107	144	51	109	220
0.005	19	26	41	50	64	81	117	14	85	178
0.01	15	19	28	37	49	63	98	23	67	147
0.02	12	14	18	27	35	48	77	14	51	115
0.05	8.0	9.5	11	16	22	31	52	8.0	33	77
0.1	5.5	6.8	7.2	1.1	15	22	3.5	5.5	22	51
0.2	4.0	4.8	4.8	7.5	9.5	14	21	3.2	14	31
0.5	2.5	2.7	2.8	4.0	5.2	7.0	8.5	1.2	7.0	13
1.0	1.7	1.8	1.9	2.2	3.8	4.0	4.0	0.8	3.7	6.4
2.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	2.5	2.0	0.4	1.6	2.8
Número de estaciones de datos	0	25	44	15	99	18	12	20	2	11

Tabla 4.2 Distribuciones de precipitación vs. porcentaje anual en que es excedida

La región D, como un resultado de los refinamientos usados para preparar las distribuciones finales, mapea un gran número de razones de lluvia en una excedencia de probabilidad dada. Para su aplicación dentro de México, la región D está limitada por la región G en el sureste y por las regiones E y F al norte y oeste, como se muestra en la figura 4.6.

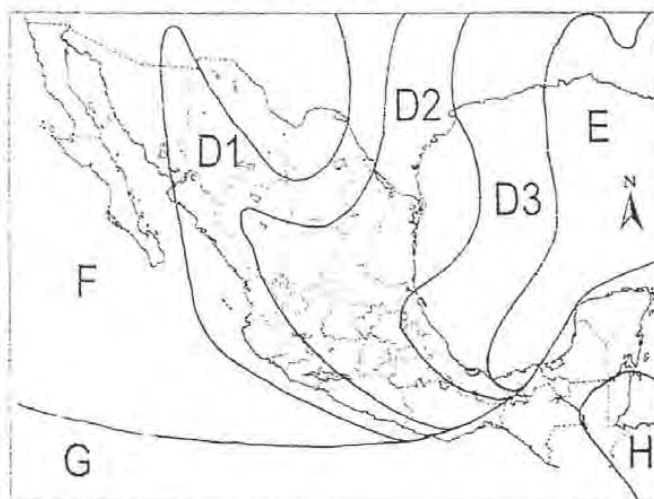


Figura 4.6 Zonas de lluvia del modelo Global de para México

Son posibles posteriores subdivisiones, pero dependen de la disponibilidad de datos de razón de lluvia adecuados y de un mejor entendimiento de los

efectos locales del terreno, y de los tipos de tormentas regionales y movimientos.

El modelo climático de lluvia resultante provee datos de distribución de razón de lluvia necesarios para la estimación de la atenuación. Las regiones fueron escogidas para mapear áreas con variaciones en los valores de distribución de razón de lluvia aproximadamente idénticos año a año y localidad a localidad.

Modelo de Precipitación Pluvial ITU-R

Este modelo al igual que el Global de Crane , lo primero que se realizó fue dividir al mundo en zonas climáticas , ya que como se pudo observar , en una zonas llueve más frecuentemente que en otras, y por lo tanto , cada región tiene su propia tasa de lluvia que es sobrepasada cierto porcentaje del tiempo en un año.

En la figura 4.7 se muestran las regiones designadas por la ITU , Los valores estadísticos publicados por esta para las regiones se proporcionan en la tabla 4.3.

Porcentaje De tiempo	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q
1.0	<0.1	0.5	0.7	2.1	0.6	1.7	3	2	8	1.5	2	4	5	12	24
0.3	0.8	2	2.8	4.5	2.4	4.5	7	4	13	4.2	7	11	15	34	49
0.1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22	35	65	72
0.03	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40	65	105	96
0.01	8	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145	115
0.003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	200	142
0.001	22	32	42	42	70	78	65	83	55	100	150	120	180	250	170

Tabla 4.3 Intensidad de lluvia excedida (mm/h) para las Zonas hidrometeorológicas del Modelo de la ITU-R

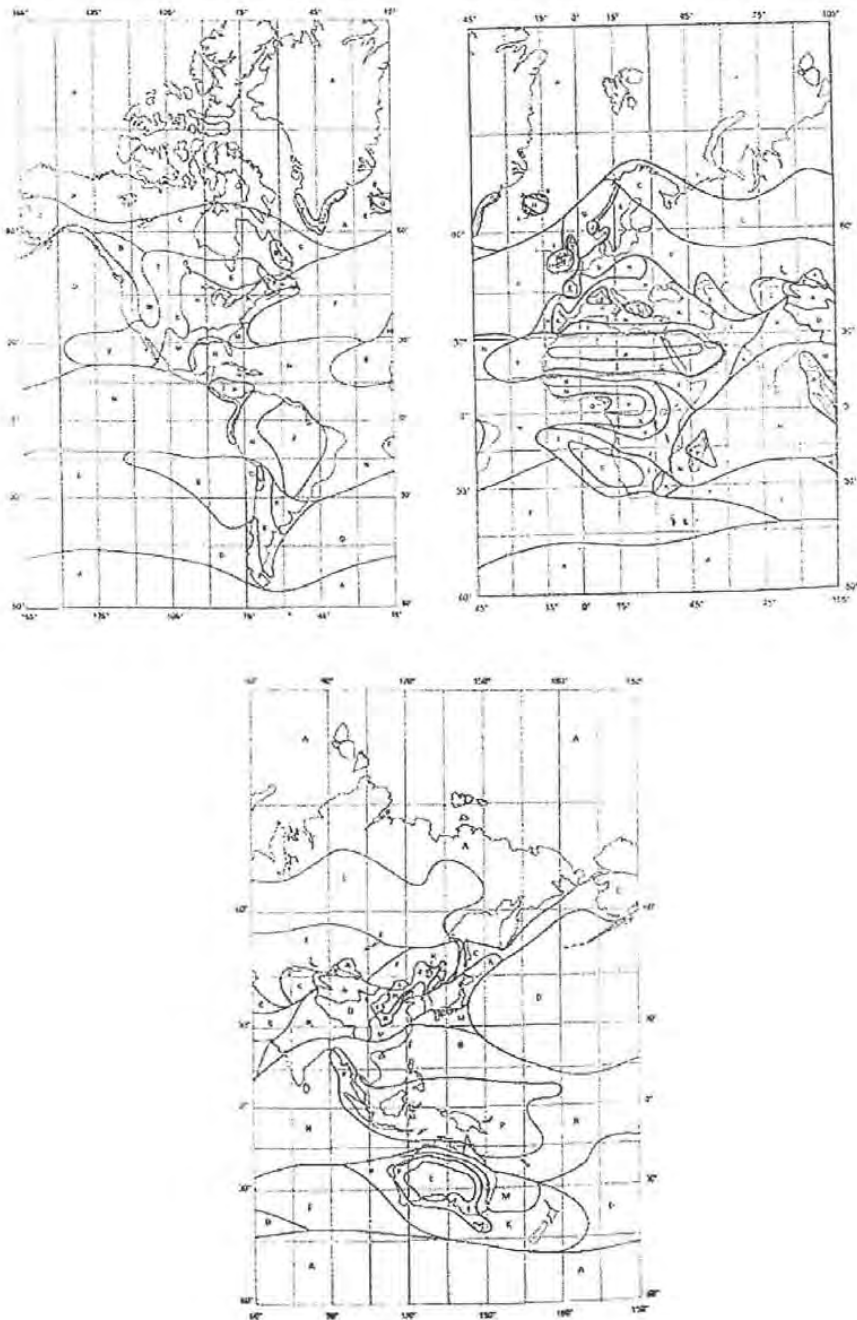


Figura 4.7 Regiones hidrometeorológicas designada por la ITU, según la intensidad de lluvia

De acuerdo con diversos estudios, se ha visto que una señal no es afectada por la lluvia de la misma forma en toda su trayectoria a través de ella, ni durante todo el tiempo que llueve, y, además, la distribución del agua no es uniforme, por ejemplo, durante una tempestad o un huracán. Asimismo, la intensidad y distribución de la lluvia puede variar dentro de una misma región hidrometeorológica de un año a otro, y como cada una de estas es demasiado grande, la intensidad puede ser distinta de un sitio a otro. Por tal motivo, para poder realizar los cálculos con menor grado de error, la ITU también ha publicado algunos mapas de contornos de intensidad de lluvia que es excedida por ciertos porcentajes de tiempo, la figura 4.7 corresponde a uno de estos mapas más precisos, que sólo aplica para diseñar un enlace con disponibilidad de 99.99%.

Modelos de atenuación por Lluvia.

Un modelo para la predicción de razón de lluvia puntual superficial es únicamente el primer paso en el desarrollo del modelo para la predicción de atenuación. La lluvia es característicamente inhomogénea en el plano horizontal y se requiere de un modelo estadístico para proveer una estimación del efecto de inhomogeneidad sobre la estimación de la atenuación.

Se han desarrollado modelos para determinar la atenuación que puede sufrir una onda electromagnética al propagarse en cuerpos de agua. Estos modelos toman como parámetros la frecuencia a utilizar, la intensidad de la lluvia en la localidad del enlace y la disponibilidad deseada del mismo. Existen dos grupos o tipos de modelos para predecir la atenuación por lluvia: empíricos y teóricos. Por ejemplo, los modelos DAH y los empleados por la UIT son empíricos, en el sentido de que se basan en obtener curvas que coincidan o se asemejen a las gráficas obtenidas con los datos previamente medidos; estos modelos pierden exactitud a las frecuencias en las que no se tienen datos estadísticos suficientes. Por su parte, los modelos teóricos, como los de Crane y Excell, están fundamentados en las distribuciones esperadas de

los tamaños de las gotas para cada intensidad de lluvia; son modelos físicos que tienen validez a cualquier frecuencia, siempre y cuando haya sido bien establecida la relación entre la atenuación y la frecuencia, pero también es deseable verificarlos con datos medidos. El modelo DAH es particularmente útil en la banda Ka. ya que esta basado en datos recolectados durante años con el satélite experimental ACTS de la NASA, en la década de los 90. De hecho, este modelo ha sido adoptado por la UIT a partir de fines de 1999. En la siguiente tabla se listan algunos de los modelos más representativos para el cálculo de atenuación por lluvia:

Modelo	Origen	Autores	Notas
ITU – R	Internacional	ITU	ITU-R Rec. P618-4,1991
CCIR	Internacional	CCIR (Hoy ITU)	CCIR Reporte 564-3
Brasil	Brasil	M.Pontes	ITU-R modelo modificado para regiones tropicales.
Japón	Japón	Yoshio Karasawa	ITU-R, modelo modificado para bajas disponibilidades
DAH	USA	Dissanayake, Allnut	Actualización del modelo de la ITU-R
Dos Componentes	USA	R.K Crane	Procedimientos matemáticos
Leitão-Watson	UK	M. J. Leitão y P. A. Watson	Modelo basado en radar
Misme – Waldteufel	Francia	P. misme y P. A. Waldteufel	Una extensión de su modelo terrestre de 1975
Excell	Italia	Capsoi, fredy y Paraboni	Estimación de atenuación por lluvia por celdas individuales
Global	USA	R. K. Crane	Ampliamente utilizado para planeación de sistemas
SAM	USA	W. Stutzman	Perfeccionado para simplicidad
España	España	J. A. Gracia – López	Un método simple optimizado para lluvia intensa
Korea	Korea	Joo-Hawan	Estimación de la Atenuación por Lluvia en tiempo Real
Zhao	China	Zhao Zhenwei	La más reciente Modificación del Modelo ITU

Tabla 4.4 Modelos de atenuación por Lluvia

Cada modelo mencionado fue elaborado para un fin específico. Los modelos CCIR e ITU fueron elaborados con la finalidad de ser usados en forma global y en un amplio rango de frecuencias. El modelo DAH fue elaborado con base al modelo de la ITU e introduce factores que hacen más precisa la predicción de atenuaciones por lluvia. De igual forma, los modelos Brasil y Japón fueron elaborados con base en el modelo de la ITU pero para hacerlo más preciso en zonas tropicales de alta precipitación y con bajas disponibilidades, respectivamente. Los modelos Leitao-Watson, Dos componentes, Misme-Waldteufel, Excell, España fueron elaborados con base en mediciones de radar. Estos modelos fueron evaluados y comparados con los datos arrojados por el ACTS en siete diferentes localidades. Las siete estaciones se encontraban ubicadas en diferentes zonas de los Estados Unidos.

A continuación se describen los modelos utilizados para la realización del presente trabajo, varios de ellos se escogieron por ser los más ampliamente utilizados en enlaces satelitales como es el caso de los modelos de la ITU-R y el Modelo Global de Crane, otros por su reciente aparición: DAH, Real-time y Zhao (ITU-R Modificado) y en el caso de el modelo de España por su simplicidad, marcados de color gris claro en la tabla 4.4.

MODELO ITU - R

Este modelo permite obtener, para un trayecto oblicuo determinado, el valor estimado de la atenuación A_p que es excedido durante lapsos acumulados con lluvia que en conjunto representen un %p especificado de un año medio.[26]

Para predecir las estadísticas a largo plazo de la atenuación debida a la lluvia se requiere la siguiente información :

- ϕ latitud de la estación terrena (grados)
- h_s altura sobre el nivel del mar de la estación terrena (Km)
- θ ángulo de elevación del trayecto (grados)

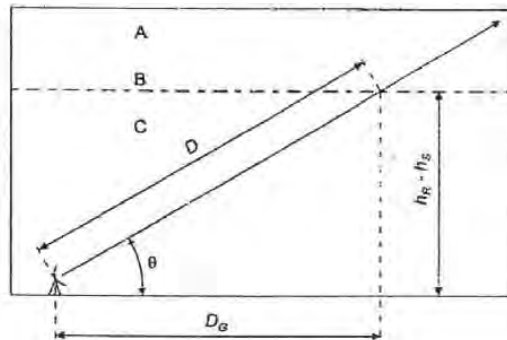
- τ ángulo de inclinación de la polarización respecto a la horizontal (grados)
- f frecuencia de la portadora (GHz)
- R intensidad de la lluvia en el punto que se trate para un año medio excedida durante el %p del año (mm/h) especificado con fines de diseño de una red, con un tiempo de integración de un minuto, obtenida de mediciones a largo plazo.

El método general empleado en este modelo, que es útil para frecuencias hasta 40 GHz y provisionalmente para frecuencias mas altas, consiste en multiplicar la atenuación específica (por kilómetro de trayecto de lluvia) o coeficiente de atenuación por lluvia γ en dB/km, en función de la intensidad de la lluvia y de la frecuencia, por una longitud efectiva D trayecto de lluvia y por un factor de ajuste de longitud del trayecto $r_{0.01}$ en función de los demás parámetros requeridos, es decir

$$A_{0.01} = L_R = \gamma D r_{0.01} \quad (\text{dB}) \quad (25)$$

El proceso para obtener la predicción se basa en los siguientes pasos:

1.- La altura efectiva de la lluvia, h_R (km), se calcula a partir de la latitud φ de la estación terrena como se muestra en la figura 4. 8



A: Precipitación en forma de hielo
 B: Altura de lluvia
 C: Precipitación en forma líquida

Figura 4.8 Representación parcial de un trayecto tierra-espacio con algunos de los parámetros empleados para la predicción de atenuación por lluvia

De donde :

$$h_R = 3 + 0.028 l \quad 0^\circ \leq l \leq 36^\circ \text{ (Km)} \quad (26)$$

$$h_R = 4 - 0.075(l - 36) \quad l \geq 36^\circ \text{ (Km)} \quad (27)$$

en donde l es la latitud de la estación terrena en grados , ya sea norte o sur, Se observa que h_R tiene valores entre 3 y 4 Km , con un punto máximo de 4 Km para $l = 36^\circ$.

2.- Una vez conocida h_R , la longitud del trayecto oblicuo D por debajo de la altura de lluvia esta dada por :

$$D = \frac{(h_R - h_s)}{\text{sen } \theta} \quad (\text{Km}) \quad (28)$$

Para $0 < 5^\circ$ $\text{sen } \theta$ debe sustituirse por:

$$D = \frac{2(h_R - h_s)}{\left[\text{sen}^2 \theta + \frac{2(h_R - h_s)}{R_e} + \text{sen } \theta \right]^{1/2}} \quad (\text{Km}) \quad (29)$$

donde R_e es el radio de la tierra (8,500 km)

3.- Después hay que calcular un factor reductor $r_{0.01}$, que es aplicable a una disponibilidad del 99.99% y que sirve para ajustar D y obtener la atenuación efectiva de la trayectoria oblicua. Este factor toma en cuenta la no uniformidad de la atenuaciones de la lluvia a diferentes alturas y se obtiene como :

$$r_{0.01} = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{35 e^{-0.015 R_{0.01}}} \right) \cos \theta} \quad (\text{Km}) \quad (30)$$

En donde $R_{0.01}$ es la intensidad de la lluvia en mm/h excedida 0.01% en un año, según la tabla 4.3

4.- Como paso siguiente hay que obtener el coeficiente de atenuación específica γ , dado en dB/Km. El valor de este coeficiente depende de la intensidad con la que llueve y de los coeficientes a y b , según la relación :

$$\gamma = a R_{0.01}^b \quad (31)$$

En el supuesto de que las gotas sean esféricas, Olsen[27] calculó los valores de a y b correspondientes a varias frecuencias entre 1 y 1000 GHz para diversas temperaturas de las gotas de lluvia y distribuciones del tamaño de estas, para polarizaciones verticales y horizontales y para distintas frecuencias; en la tabla 4.5 se muestran tales cálculos para una temperatura de lluvia de 0° C. Utilizando el modelo de distribución del tamaño de gotas establecido por Laws y Parsons, la cual ha resultado ser la mas aplicable en E.U. y Canadá.

Frecuencia (GHz)	a LP _L	a LP _H	b LP _L	b LP _H
1	6.41x 10 ⁻⁵	5.26x 10 ⁻⁵	0.891	0.974
4	1.16x 10 ⁻³	6.84x 10 ⁻³	1.049	1.202
5	1.94x 10 ⁻³	1.12x 10 ⁻³	1.113	1.274
6	3.05x 10 ⁻³	1.99x 10 ⁻³	1.158	1.285
7	4.55x 10 ⁻³	3.36x 10 ⁻³	1.180	1.270
10	1.17x 10 ⁻²	1.14x 10 ⁻²	1.178	1.189
12	1.86x 10 ⁻²	1.96x 10 ⁻²	1.162	1.150
15	3.21x 10 ⁻²	3.47x 10 ⁻²	1.142	1.119

20	6.26×10^{-2}	7.09×10^{-2}	1.119	1.083
25	0.105	0.132	1.094	1.029
30	0.162	0.226	1.061	0.964
35	0.232	0.345	1.022	0.907
40	0.313	0.467	0.981	0.864
50	0.489	0.669	0.907	0.815
60	0.658	0.796	0.850	0.794
70	0.801	0.869	0.809	0.784
80	0.924	0.913	0.778	0.780
90	1.02	0.945	0.756	0.776
100	1.08	0.966	0.742	0.774

Tabla 4.5 Coeficientes k y α para una temperatura de lluvia 0°C

LP_L y LP_H se refieren a las distribuciones Laws-Parsons asociadas a razones de lluvia de 1.27 a 50.8 mm/h y 25.4 a 152.4 mm/h respectivamente.

Si la polarización de la señal es circular, se hace un promedio usando los coeficientes de la tabla 4.5, con las siguientes fórmulas:

$$a_c = \frac{a_h + a_v}{2}$$

$$b_c = \frac{a_h b_h + a_v b_v}{2 a_c} \quad (32)$$

Los valores de los coeficientes a y b de la tabla 4.5 también puede ser aproximados por las siguientes expresiones empíricas realizadas por Olsen :

$$a = G_a f^{E_a} \quad (33)$$

Donde :

$$G_a = 4.21 \times 10^{-5}, \quad E_a = 2.42 \quad (34)$$

para frecuencias entre : $2.9 \leq \text{frecuencia} < 54 \text{ GHz}$

Y b es igual a :

$$b = G_b f^{E_b} \quad (35)$$

Donde :

$$G_b = 1.41 , \quad E_b = -0.0779 \quad (36)$$

para frecuencias entre : $8.5 \leq \text{frecuencia} < 25$ GHz

y :

$$G_b = 2.63 , \quad E_b = -0.272 \quad (37)$$

para frecuencias entre : $25 \leq \text{frecuencia} < 164$ GHz

En estas últimas aproximaciones se suponen que los coeficientes valen lo mismo para polarizaciones horizontal y vertical. El error es poco ya que son casi iguales, como se puede observar en la tabla 4.5.

5.- Por último , la atenuación buscada se calcula como :

$$A_{0.01} = \gamma D (r_{0.01}) \quad (dB) \quad (38)$$

Esta atenuación sería excedida durante 0.01% de un año, dando una disponibilidad de 99.99%. Para estimar la atenuación excedida durante otros porcentajes del año , se puede efectuar el siguiente paso:

6.- Para una disponibilidad de $(100\% - p)$, la atenuación obtenida en el paso 5 se multiplica por un factor, de acuerdo con la siguiente relación :

$$A_{\text{lluvia } p} = [0.12 p^{-(0.546 + 0.043 \log p)}] A_{0.01} \quad (39)$$

MODELO GLOBAL – CRANE

Este modelo esta basado en mediciones meteorológicas y en el clima específico de cada región, dado a conocer por R.K. Crane en 1971, este modelo al igual que el de la ITU-R , has sido ampliamente utilizado para el cálculo de la atenuación por lluvia desde hace años [28]. Los datos estadísticos requeridos para su aplicación son :

- intensidad de Lluvia
- altura de la estación terrena
- altura de la isoterma a 0° C
- presión atmosférica
- temperatura

Los pasos para obtener la atenuación por lluvia son los siguientes :

1.- Se determina la región climática donde se encuentra la estación terrena, de la figura 4.3.

2.- Acorde a la disponibilidad del enlace deseada, se determina la probabilidad (p) de ocurrencia de lluvia excedida.

Si la disponibilidad del enlace deseada es 99.0% , la probabilidad p será

$$100 - 99.0 = 1\% \quad (40)$$

3.- Después de saber la disponibilidad del enlace, se obtiene la densidad de la lluvia R_p para la región y la probabilidad especificas en los pasos 1 y 2 de acuerdo con la tabla 4.2.

4.- Obtener , para la región y probabilidad deseada, la altura de la isoterma a 0°C.

Un modelo útil para la estructura vertical de atenuación específica asume un valor constante desde la superficie hasta la altura isotérmica de 0° C.

La altura isotérmica de 0° C varía con las condiciones meteorológicas. El promedio zonal temporal (promediado en una latitud y longitud constante), de la altura isotérmica de 0° C varía de 4.7 km en los trópicos a 4.1 km en 40° latitud.

La altura isotérmica de 0° C tiene una marcada dependencia temporal. Cuando se adapta a la variación temporal de la ocurrencia de las razones de lluvia altas, la altura isotérmica de 0° C que se usa para la predicción de atenuación depende de la latitud de la probabilidad de ocurrencia como se muestra en la figura 4.9.

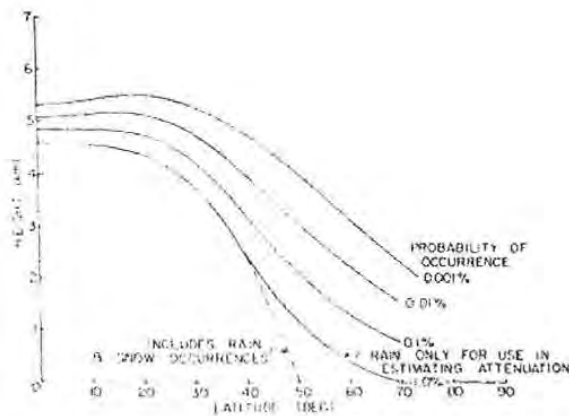


Figura 4.9 Altura isotérmica de 0° C

5.- Después se obtiene la proyección horizontal D del enlace, para ello es necesario conocer la altura de la estación terrena y el ángulo de elevación de la antena.

$$D = \frac{H_0 + H_g}{\tan \theta} \quad \theta \geq 10^\circ \quad (41)$$

donde:

H_0 altura de la isoterma 0° C

H altura de la estación terrena

θ ángulo de elevación de la estación terrena

6.- Si $D > 22.5$ km , es necesario ajustar la probabilidad p a la longitud del enlace, y usar $D_0 = 22.5$ para la probabilidad de ocurrencia modificada.

$$P' = p [D_0 / D_1] \quad (42)$$

para cálculos subsecuentes.

7.- Calcular la atenuación total usando la siguiente ecuación :

$$A = \frac{\alpha R_p^\beta}{\cos \theta} \left[\frac{e^{\frac{UZ\beta}{\beta}} - 1}{U\beta} + \frac{X^\beta e^{Y\beta Z}}{Y\beta} - \frac{X^\beta e^{Y\beta D}}{Y\beta} \right] \quad (\text{dB}) \quad \theta \geq 10^\circ \quad (43)$$

donde U, X, Y, Z son constantes empíricas que dependen de la intensidad de la lluvia puntual. El valor de las constantes es :

$$U = \frac{1}{Z} \ln (X e^{YZ}) \quad (44)$$

$$X = 2.3 R_p^{-0.17} \quad (45)$$

$$Y = 0.026 - 0.03 \ln R_p \quad (46)$$

$$Z = 3.8 - 0.6 \ln R_p \quad (47)$$

Los coeficientes de la ecuación αR_p^β se calcula las ecuaciones (32) a la (37) del punto 4 del modelo ITU-R , donde $\alpha = a$ y $b = \beta$.

MODELO DAH

El modelo DAH (*Dissanayake, Allnutt, Haidara model*) es, formalmente, un procedimiento para predecir los efectos combinados de atenuación por lluvia y varios factores que contribuyen de manera diferente a la atenuación en un enlace de comunicación satelital. La parte que se refiere a la atenuación por lluvia arroja resultados significativamente mejores que aquellos que se obtienen de otros modelos. Esto es de gran importancia ya que la contribución de la atenuación por lluvia es la más significativa en frecuencias mayores a los 10 GHz. Los otros factores de atenuación han sido estudiados por muchos años. La atenuación se incrementa conforme se incrementa la frecuencia. Este método puede ser empleado para el cálculo de la atenuación individual de cada componente o para todo el conjunto de factores que contribuyen a la atenuación de las ondas electromagnéticas en un enlace satelital. La importancia de predecir con la mayor exactitud posible la atenuación por lluvia así como la atenuación por otros fenómenos, radica en la calidad del desempeño de un sistema de comunicaciones así como en la posibilidad de disminuir costos en cuanto al diseño y a la implementación de estos.[29]

El método DAH esta basado en el método de la ITU que es uno de los métodos mas empleados para el diseño de sistemas de comunicación satelitales. Es aplicable al rango de frecuencias de 4 a 35 GHz y con un rango se porcentajes de probabilidad de indisponibilidad de 0.001% a 10%. Los datos necesarios para los cálculos, así como el procedimiento, Paso a Paso, se muestran a continuación. Los datos que se requieren para el modelo son:

- ϕ Latitud de la estación terrena (grados)
- h_s Altitud de la estación terrena sobre el nivel del mar (Km)
- Punto de la tasa de lluvia al 0.01% de un promedio anual $R_{0.01}$ (mm/h)

- Porcentaje de probabilidad de exceso para el cual se va a calcular la atenuación p
- θ Ángulo de elevación (*grados*)
- f Frecuencia (GHz)
- ξ Ángulo de polarización (*grados*)
- Radio efectivo de la Tierra $R_e = 8500 \text{ km}$

1.- El primer paso es calcular la altura de congelamiento durante la lluvia h_{fr} (km) a partir del valor absoluto de la latitud de la estación:

$$h_{fr} = 5 \quad \text{para } 0^\circ \leq \phi < 23^\circ \quad (48)$$

$$h_{fr} = 5 - 0.075(\phi - 23) \quad \text{para } \phi \geq 23^\circ \quad (49)$$

2.- Obtener la trayectoria inclinada L_s , que bajo la altura de congelamiento esto es :

$$L_s = \frac{h_{fr} - h_s}{\text{sen } \theta} \quad (\text{Km}) \quad (50)$$

3.- Encontrar la proyección horizontal de la trayectoria inclinada, que es calculada de la siguiente manera:

$$L_y = L_s \cos \theta \quad (\text{Km}) \quad (51)$$

4.- El siguiente paso es obtener la intensidad de lluvia $R_{0.01}$, (mm/h) excedida para 0.01% de un promedio anual y se calcula la atenuación específica γ (dB/km) usando los coeficientes utilizados en el punto 4 del modelo ITU-R (ecuaciones (32) a (37)), dependientes de la polarización y de la frecuencia.

$$\gamma = a R_{0.01}^b \quad (52)$$

5.- Después se calcula el factor de ajuste horizontal $rh_{0.01}$ para 0.01% del tiempo :

$$rh_{0.01} = \frac{1}{1 + 0.78 \sqrt{\frac{L_g \gamma}{f}} - 0.38 [1 - 10^{(-2L_g)}]} \quad (53)$$

donde f es la frecuencia en GHz.

6.- El paso siguiente es calcular la longitud ajustada del enlace L_r (km) a través de la lluvia :

$$L_r = \frac{L_g rh_{0.01}}{\cos \theta} \quad \text{para } \zeta > \theta \quad (54)$$

$$L_r = \frac{h_r - h_s}{\sin \theta} \quad \text{para } \zeta \leq \theta \quad (55)$$

donde :

$$\zeta = \tan^{-1} \left[\frac{h_r - h_s}{L_g rh_{0.01}} \right] \quad (56)$$

7.- Después se calcula el factor de ajuste vertical $rv_{0.01}$ para el 0.01 % del tiempo.

$$rv_{0.01} = \frac{1}{1 + \sqrt{\sin \theta} \left[31 \left(1 - e^{-\theta/(1-x)} \right) \sqrt{\frac{L_r \gamma}{f^2}} - 0.45 \right]} \quad (57)$$

donde:

$$x = 36 - \phi \quad \text{para } |\phi| < 36^\circ \quad (58)$$

$$X = 0 \quad \text{para } |\phi| \geq 36^\circ \quad (59)$$

8.- En el siguiente paso se calcula la longitud efectiva L_e (km) a través de la lluvia, esto es:

$$L_e = L_r + rV_{0.01} \quad (60)$$

9.- Después se obtiene la atenuación excedida en 0.01% del promedio anual :

$$A_{0.01} = \gamma L_e \text{ (dB)} \quad (61)$$

10.- La atenuación a ser excedida para otras indisponibilidades en el rango de 0.001 % a 10% es estimada de la atenuación con indisponibilidad de 0.01 con:

$$A_p = A_{0.01} \left(\frac{p}{0.01} \right)^{[0.655 + 0.033 \ln p - 0.045 \ln A_{0.01} - z \operatorname{sen}(1-p)]} \text{ (dB)}$$

(62)

Donde p es el porcentaje de indisponibilidad de interés y z esta dada por para $p \geq 1\%$:

$$z = 0 \quad (63)$$

para $p > 1\%$:

$$\begin{array}{ll} z = 0 & \text{para } |\phi| \geq 36^\circ \\ z = -0.005 (|\phi| - 36) & \text{para } \theta \geq 25^\circ \text{ y } |\phi| < 36^\circ \\ z = -0.005 (|\phi| - 36) + 1.8 - 4.25 \operatorname{sen} \theta & \text{para } \theta < 25^\circ \text{ y } |\phi| < 36^\circ \end{array}$$

(64)

Modelo Zhao

Con el avance del tiempo se han ido perfeccionado los modelos de atenuación por lluvia, este modelo es una modificación al modelo de la ITU-R anteriormente mencionado, se propone un método modificado para predecir la estadística a largo plazo de la atenuación de la lluvia, las mejoras con que cuenta este son: un nuevo modelo de la altura de la lluvia, un nuevo modelo de coeficiente de adaptación de la trayectoria y una nueva fórmula para estimar la atenuación de otros porcentajes de un año medio. Comparado con el modelo de ITU-R, este modelo mejora la exactitud de la predicción de la atenuación de la lluvia.[30]

Los datos que se requieren para este modelo son:

- La tasa de lluvia al 0.01 % de un promedio anual $R_{0,01}$
- La altitud de la estación terrena h_s
- El ángulo de elevación θ
- La longitud y latitud de la estación terrena
- La frecuencia f
- El radio efectivo de la tierra $R_e \approx 8,500$ Km

1.- Determinar la región climática en donde se encuentra la estación terrena obtener de la tabla 4.2 ó 4.3 la probabilidad de ocurrencia de lluvia excedida para una probabilidad del 0.01 %, $R_{0,01}$.

2.- Determina la altura de la isoterma a 0° C

$$\begin{aligned} h_R &= 3 + 0.028 l & 0^\circ \leq l < 36^\circ \text{ (Km)} \\ h_R &= 4 - 0.075(l - 36) & l \geq 36^\circ \text{ (Km)} \end{aligned}$$

(65)

donde l es la latitud de la estación terrena.

Una vez calculada la altura de la isoterma a 0°C , se calcula la altura de la lluvia de :

$$h_R = \begin{cases} h_o + 0.36 & R_{0.01} < 10 \text{ mm/h} \\ h_o + 0.36 + \log\left(\frac{R_{0.01}}{10}\right) & R_{0.01} \geq 10 \text{ mm/h} \end{cases} \quad (66)$$

3.- Se calcula la longitud de trayectoria inclinada a través de la lluvia :

Para $\theta \geq 5^\circ$

$$L_s = \frac{(h_R - h_s)}{\text{sen } \theta} \quad (\text{Km}) \quad (67)$$

Para $\theta < 5^\circ$

$$L_s = \frac{2(h_R - h_s)}{\left[\text{sen}^2 \theta + \frac{2(h_R - h_s)}{R_e} + \text{sen } \theta \right]^{1/2}} \quad (\text{Km}) \quad (68)$$

donde R_e es el radio de la tierra (8,500 km)

4.- La longitud de la trayectoria proyectada sobre la superficie se obtiene a partir de la siguiente ecuación :

$$L_G = L_s \cos \theta \quad (\text{Km}) \quad (69)$$

5.- Como paso siguiente hay que obtener el coeficiente de atenuación específica γ , dado en dB/Km.

$$\gamma = a R_{0.01}^b \quad (70)$$

Los coeficientes de la relación puede obtenerse de la tabla 4.5 o de la ecuaciones mencionadas en el punto 4 del modelo de la ITU-R.

6.- Se aplica un factor de reducción para tomar en cuenta la no-uniformidad horizontal de la lluvia para el 0.01 % de año . Este factor esta dado por :

$$r_{0.01} = \frac{1}{1 + 0.842 L_G^{0.329} \gamma^{0.4} - 1.35 (1 - e^{-2.97 L_G})} \quad \text{para } f \leq 15 \text{ Ghz} \quad (71)$$

$$r_{0.01} = \frac{1}{1 + 0.519 L_G^{0.702} \gamma^{-0.626} - 3.18 (1 - e^{-0.0572 L_G})} \quad \text{para } f > 15 \text{ Ghz} \quad (72)$$

7.- La atenuación excedida para 0.01% de un promedio anual es obtenida :

$$A_{0.01} = \gamma L_s r_{0.01} \quad (\text{dB}) \quad (73)$$

8.- La atenuación excedida para otros porcentajes, en un rango de 0.001% a 5% , esta determinada por :

$$\eta = 0.826 + 0.0468 \ln \frac{p}{f^{1.293} A_{0.01}^{1.417}} + 0.219 (1 - p) \sin \theta \quad (74)$$

$$A_p = A_{0.01} (p / 0.01)^{-\eta} \quad (\text{dB}) \quad (75)$$

Modelo de atenuación de España

Este método fue desarrollado por el español J. A García en 1987, este establece las características deseables de un método para la predicción de la atenuación de la lluvia para comunicaciones satélites. Este método se probó con muy buenos resultados en 77 enlaces con satélites Europeos, Estadounidenses, Japoneses y Australianos. [31]

Las 5 características en las cuales está basado este método son las siguientes :

- Simplicidad
- Exactitud similar en diversas regiones
- Uso, para cada probabilidad la intensidad de lluvia correspondiente
- Alta exactitud en las probabilidades bajas
- Comportamiento homogéneo en el error medio, para cada probabilidad.

El método propuesto para la atenuación por lluvia en un enlace tierra-espacio es:

$$A = k R^\alpha L_s / \{ a + [L_s (b R + c L_s + d) / e] \} \quad (dB) \quad (76)$$

Donde :

$$e = 10^4$$

R es la intensidad de lluvia excedida durante el porcentaje de indisponibilidad deseado de un año medio.

Los parámetros K y α son calculados con las fórmulas descritas en el punto 4 del modelo de la ITU (ecuaciones (32) a (37)) o los valores correspondientes para la frecuencia deseada pueden ser obtenidos de la tabla 4.5

L_s es la longitud de la trayectoria inclinada a través de la lluvia y se determina de la siguiente manera :

Para $\theta \geq 5^\circ$

$$L_s = \frac{(h_R - h_s)}{\text{sen } \theta} \quad (\text{Km}) \quad (77)$$

Para $\theta < 5^\circ$

$$L_s = \frac{2(h_R - h_s)}{\left[\text{sen}^2 \theta + \frac{2(h_R - h_s)}{R_e} + \text{sen } \theta \right]^{1/2}} \quad (\text{Km}) \quad (78)$$

donde :

θ es el ángulo de elevación y h_r esta dada por :

$$h_o = \begin{cases} 4.0 & (\text{km}) \quad \text{para } 0 < \phi < 36^\circ \\ 4.0 - 0.075(\phi - 36) & (\text{km}) \quad \text{para } \phi \geq 36^\circ \end{cases} \quad (79)$$

Por último los valores de los coeficientes a, b, c, d son constantes que dependen de la zona geográfica y pueden ser obtenidos de la siguiente tabla:

Región	a	b	c	d
Europa	0.53	29.7	-44.7	383.75
Estados unidos	0.4	23	-54.16	974
Japón	0.95	23.5	4.48	-317
Australia	0.72	7.6	-4.75	2408
Climas tropicales	0.72	7.6	-4.75	2408
Universal	0.7	18.35	-16.51	500

Tabla 4.66 Valor de los Coeficientes a, b, c y d .

Modelo de atenuación por lluvia de Korea

Este modelo fue diseñado en el 2003 por los Koreanos Joo Hwan Lee , Young Seok Choi ,Hyung Soo Lee y Jung Ki Pack , mediante datos obtenidos durante 3 años en los satélites de este país. [32]

Este modelo se suma a la creciente necesidad de experimentar con otras bandas de frecuencia como la banda Ka , para un futuro desarrollo comercial .

El modelo propuesto por los Koreanos , requiere de los siguientes datos :

- θ Angulo de elevación
- R Intensidad de lluvia excedida durante el periodo de un año R
- h_s Altura de la estación terrena
- h_r Altura de la isoterma a 0°C
- ϕ latitud de la estación terrena
- f frecuencia (GHz)

Los resultados de tres años de experimentación , llevaron a la conclusión del siguiente modelo :

$$A = \gamma L_{eff} \quad (80)$$

En donde γ es la atenuación específica y esta dada por :

$$\gamma = a R^{0.07} \quad (81)$$

al igual que en los modelos antes vistos los coeficientes a y b son obtenidos de igual manera que en el punto 4 del modelo ITU-R.

L_{eff} es la longitud efectiva de la lluvia y esta dada por :

$$L_{\text{eff}} = L_s \times F_s \quad (\text{Km}) \quad (82)$$

L_s es la longitud de trayectoria inclinada a través de la lluvia y se determina geográficamente del ángulo de elevación y la altura de la estación terrena.

Para $\theta \geq 5^\circ$

$$L_s = \frac{(h_R - h_s)}{\text{sen } \theta} \quad (\text{Km}) \quad (83)$$

Para $\theta < 5^\circ$

$$L_s = \frac{2(h_R - h_s)}{\left[\text{sen}^2 \theta + \frac{2(h_R - h_s)}{R_e} + \text{sen } \theta \right]^{1/2}} \quad (\text{Km}) \quad (84)$$

F_s es el factor de corrección para la trayectoria inclinada es cual se calcula de la siguiente manera :

$$F_s = \sqrt{(F_H \cos^2 \theta) + (F_V \sin^2 \theta)} \quad (85)$$

donde F_H es el factor de corrección efectivo para la trayectoria horizontal de la lluvia.

$$F_H = 0.158 + 0.837 \times e^{-(R/130.14)} \quad (86)$$

y por último F_V es el factor de corrección efectivo para la trayectoria vertical de la lluvia.

$$F_V = 4.175 \times R^{-0.409} \quad (87)$$

Capítulo V

Cálculo de los márgenes de atenuación por lluvia para México.

El último siglo se ha caracterizado por un impresionante desarrollo tecnológico. Viajar al espacio, erradicar enfermedades anteriormente consideradas mortales, comunicarse a grandes distancias, procesar y transferir grandes volúmenes de información en cuestión de segundos son hoy cosa de todos los días. Sin embargo, esta revolución tecnológica ha traído consigo elevados costos ambientales, como la deforestación, la extinción de especies, el aumento de la desertificación, la contaminación del aire y del agua y cambios climáticos a nivel global, provocando grandes cambios en la tasa de precipitación pluvial. En el siguiente mapa se observa como se distribuyen las precipitaciones anuales situándose los máximos en la zona del istmo de la República Mexicana.

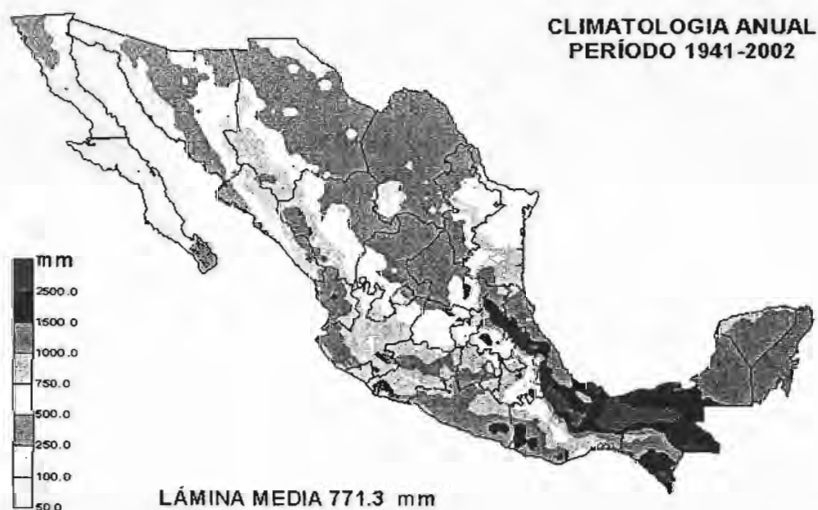


Figura 5.1 Mapa de distribución de precipitaciones

Las precipitaciones inferiores a 250 mm corresponden a desiertos, mientras que las precipitaciones superiores a 1000 mm corresponden a zonas bastante lluviosas.

Estos cambios climáticos provocan la necesidad de actualizar los márgenes de atenuación por lluvia que utilizan los satélites de comunicación, por tal motivo es importante la obtención de estos utilizando para ello modelos matemáticos recientes para el cálculo de dicha atenuación.

Recopilación de datos

Márgenes de Precipitación Pluvial.

Una vez explicados los fundamentos teóricos presentados en los capítulos anteriores sobre los modelos de predicción de precipitación pluvial y atenuación por lluvia se procedió al desarrollo de los márgenes buscados.

Para este estudio fueron seleccionadas 62 ciudades del País, unas de estas dada su importancia económica y otras por su similitud con las ciudades utilizadas para los experimentos de propagación realizados por el ACTS como se podrá observar mas adelante, además se trato, que estas distintas localidades se ubicaran en las diferentes regiones propuestas por los modelos de precipitación pluvial *Global de Crane* y el de la *ITU*; las ciudades seleccionadas fueron las siguientes:

Ciudad	Altura (Km)	Latitud N (°)	Longitud O (°)	Elevación (°)	Azimut (°)
Tijuana	0,02	32,5347	117,0436	52,137	180,452
Mexicali	0,003	32,663	115,467	51,964	182,468
Hermosillo	0,21	29,12	110,97	55,428	191,849
La Paz	0,03	24,15	110,32	60,816	195,515
Chihuahua	1,44	28,631	106,071	54,551	201,575
Cd. Juarez	1,12	31,735	106,478	51,378	199,098
Monterrey	0,54	25,67	100,32	54,797	214,33
Saltillo	1,6	25,42	101	55,425	213,393
Zacatecas	2,42	22,77	102,57	58,865	213,234
Guadalajara	1,54	20,68	103,35	61,33	214,106

Mazatlán	0,01	23,23	106,42	60,387	204,91
San Luis Pto.	1,86	22,15	100,97	58,471	216,943
Agascalientes	1,87	21,881	102,299	59,551	214,76
León	1,8	21,118	101,68	59,876	216,867
Pachuca	2	20,122	98,735	58,704	223,474
Tulancingo	2,14	20,08	98,37	58,466	224,145
Manzanillo	0,005	19,051	104,315	63,476	214,145
Tampico	0,01	22,22	97,87	56,311	222,205
Torreón	1,12	25,544	103,441	56,607	208,842
Culiacán	0,06	24,799	107,3844	59,128	201,571
Querétaro	1,82	20,587	100,392	59,494	219,944
Guanajuato	2	21,02	101,25	59,685	217,803
Durango	1,88	24,024	104,655	58,742	207,86
Pto. Vallarta	0,04	20,62	105,23	62,47	210,17
N. Laredo	150	27,484	99,517	52,627	213,987
Matamoros	0,01	25,87	97,5	52,89	218,75
Reynosa	0,04	26,092	98,277	53,18	217,299
Cd. Victoria	0,32	23,736	99,146	55,856	218,331
San José del Cabo	0,109	23,15	109,7	61,735	197,579
Mérida	0,01	20,97	89,62	50,664	235,125
Cancún	0,01	21,17	86,83	48,083	237,942
México D.F.	2,24	19,43	99,15	59,59	223,725
Chetumal	0,01	18,503	88,305	50,988	239,688
Oaxaca	1,55	17,07	96,72	59,468	231,235
Pto. Ángel	0,02	15,73	96,3	60,035	234,054
Pto. Escondido	0,088	15,6	97,0833	60,823	233,116
Acapulco	0,02	16,87	99,9	62,783	226,313
Iguala	0,71	18,343	99,539	60,783	224,634
Chilpancingo	1,25	17,551	99,5	61,395	225,926
Cuernavaca	1,51	18,92	99,23	60,073	224,32
Colima	0,5	19,243	103,73	62,93	215,161
Morelia	1,92	19,768	101,185	60,767	219,569
Uruapan	1,62	19,426	102,061	61,672	218,3434
Tepic	0,915	21,516	104,893	61,393	220,178
L. Cárdenas	0,01	17,955	102,209	63,091	220,178
Zamora	1,58	19,985	102,283	61,31	217,148
Villahermosa	0,01	17,98	92,93	55,524	235,101
Coatzacoalcos	0,012	18,9	99,8	60,519	223,345
Tapachula	0,16	14,9	92,27	56,787	240,601
Campeche	0,01	19,83	90,53	52,196	235,499
Tuxtla Gtz.	0,52	14,9	92,27	56,787	240,601
N. Laredo	0,15	27,48	99,52	52,633	213,986
Xalapa	1,46	19,53	96,92	57,786	227,246
Veracruz	0,01	19,2	96,13	57,403	228,921
Ensenada	0,02	31,87	116,62	52,893	180,34
Huixtla , Chiapas	0,05	15,15	99,466	63,225	230,059
Ciudad Mante Tamp.	0,08	22,75	98,97	56,616	219,751
Santa Ana B.C.	0,42	28,6897	113,8138	56,3616	186,2017

Cerros Salsipuedes	1,9	23,283	109,93	61,661	196,951
Jaltipan de Morelos	0,05	17,966	94,716	57,105	232,756
N.Casas Grandes, Chi.	1,46	30,416	107,9	53,233	197,187
Huehuetla	0,42	20,466	98,083	57,933	224,097

Tabla 5.1 Características geográficas de las ciudades seleccionadas

En la tabla 5.1 se muestran las características geográficas correspondientes de cada ciudad, así como los ángulos de elevación y azimut , para un enlace tierra-espacio empleando el satélite Mexicano Satmex 5 para la banda Ku .

Para un mejor estudio del efecto de la atenuación en nuestro país , se dividieron las ciudades en 7 zonas geográficas de acuerdo a los márgenes de precipitación pluvial de estas ciudades, quedando agrupadas como se muestra en la figura 5.2 , estas divisiones fueron realizadas en un estudio acerca de los efectos por hidrometeoros en los enlaces vía satélite en la banda Ku , por el Ing. Jorge López Shunía y que en la actualidad SATMEX siguen utilizando estas divisiones para los cálculos en sus enlaces .

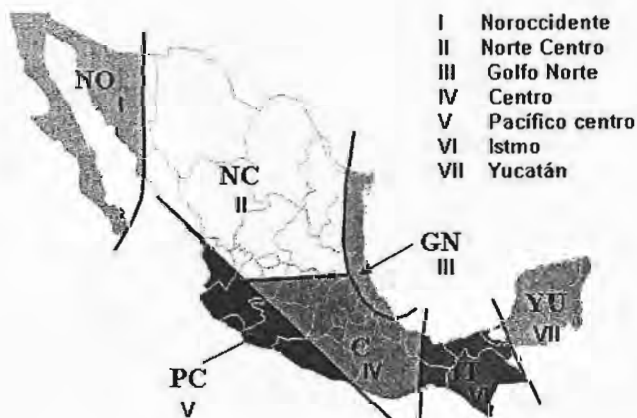


Figura 5.2 Zonas geográficas de la República Mexicana según su precipitación pluvial .

Una vez seleccionadas las ciudades y divididas de acuerdo a su zona de precipitación pluvial se obtiene la intensidad de lluvia en mm/h excedida en diferentes porcentajes de acuerdo a los dos modelos de precipitación pluvial que utilizaremos .

Los márgenes de intensidad de lluvia en mm/h excedida en 0.01% , 0.1%, 0.2%, 0.5%,0.75% y 1% , de acuerdo al modelo de precipitación pluvial **Global de Crane** son :

Ciudades de la Zona 1	Zona Crane	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	F	23	14	8	5.5	3.2	1.2	0.8
Mexicali	F	23	14	8	5.5	3.2	1.2	0.8
Hermosillo	F	23	14	8	5.5	3.2	1.2	0.8
La PazBCS	F	23	14	8	5.5	3.2	1.2	0.8
Pto. Escondido	F	23	14	8	5.5	3.2	1.2	0.8
Ensenada	F	23	14	8	5.5	3.2	1.2	0.8
Santa Ana, B.C.	F	23	14	8	5.5	3.2	1.2	0.8
San José del Cabo	F	23	14	8	5.5	3.2	1.2	0.8
N.Casas Grandes, Chi.	F	23	14	8	5.5	3.2	1.2	0.8
Cerros Salsipuedes, B.C.	F	23	14	8	5.5	3.2	1.2	0.8

Tabla 5.2 Porcentajes de Intensidad de lluvia excedida (mm/h) de la Zona 1 de la República Mexicana obtenidos con el modelo Global de Crane.

Ciudades de la Zona 2	Zona Crane	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Saltillo	D1	37	27	16	11	7.5	4	2.2
Zacatecas	D2	49	35	22	15	9.5	5.2	3
San L. Potosí	D2	49	35	22	15	9.5	5.2	3
Aguascalientes	D2	49	35	22	15	9.5	5.2	3
Culiacán	D1	37	27	16	11	7.5	4	2.2
Durango	D2	49	35	22	15	9.5	5.2	3
Cd. Victoria	D2	49	35	22	15	9.5	5.2	3
Chihuahua	D1	37	27	16	11	7.5	4	2.2
Monterrey	D1	37	27	16	11	7.5	4	2.2
Cd. Juarez	F	23	14	8	5.5	3.2	1.2	0.8
Torreón	D1	37	27	16	11	7.5	4	2.2
N.Laredo	D1	37	27	16	11	7.5	4	2.2

Tabla 5.3 Porcentajes de Intensidad de lluvia excedida (mm/h) de la Zona 2 de la República Mexicana obtenidos con el modelo Global de Crane.

Ciudades de la Zona 3	Zona Crane	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tampico	D2	49	35	22	15	9.5	5.2	3
Matamoros	D2	49	35	22	15	9.5	5.2	3
Reynosa	D2	49	35	22	15	9.5	5.2	3
Cd. Mante , Tamp.	D2	49	35	22	15	9.5	5.2	3
Jalapa	D3	63	48	31	22	14	7	4

Tabla 5.4 Porcentajes de Intensidad de lluvia excedida (mm/h) de la Zona 3 de la República Mexicana obtenidos con el modelo Global de Crane.

Ciudades de la Zona 4	Zona Crane	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
México	D2	49	35	22	15	9.5	5.2	3
Tlaxcala	D2	49	35	22	15	9.5	5.2	3
León	D2	49	35	22	15	9.5	5.2	3
Pachuca	D2	49	35	22	15	9.5	5.2	3
Tulancingo	D2	49	35	22	15	9.5	5.2	3
Queretaro	D2	49	35	22	15	9.5	5.2	3
Guanajuato	D2	49	35	22	15	9.5	5.2	3
Oaxaca	D2	49	35	22	15	9.5	5.2	3
Iguala	D2	49	35	22	15	9.5	5.2	3
Chilpancingo	D2	49	35	22	15	9.5	5.2	3
Cuernavaca	D2	49	35	22	15	9.5	5.2	3
Morelia	D2	49	35	22	15	9.5	5.2	3
Veracruz	D3	63	48	31	22	14	7	4
Huehuetla , Guan.	D2	49	35	22	15	9.5	5.2	3

Tabla 5.5 Porcentajes de Intensidad de lluvia excedida (mm/h) de la Zona 4 de la República Mexicana obtenidos con el modelo Global de Crane.

Ciudades de la Zona 5	Zona Crane	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Guadalajara	D1	37	27	16	11	7.5	4	2.2
Mazatlán	D1	37	27	16	11	7.5	4	2.2
Pto. Vallarta	D1	37	27	16	11	7.5	4	2.2
Tepic	D1	37	27	16	11	7.5	4	2.2
Colima	D1	37	27	16	11	7.5	4	2.2
Manzanillo	D1	37	27	16	11	7.5	4	2.2
Pto. Ángel	D1	37	27	16	11	7.5	4	2.2
Acapulco	G	67	51	33	22	14	7	3.7
Uruapan	D2	49	35	22	15	9.5	5.2	3
Laz. Cárdenas	D1	37	27	16	11	7.5	4	2.2
Zamora	D1	37	27	16	11	7.5	4	2.2

Tabla 5.6 Porcentajes de Intensidad de lluvia excedida (mm/h) de la Zona 5 de la República Mexicana obtenidos con el modelo Global de Crane.

Ciudades de la Zona 6	Zona Crane	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tuxtla Gtrez.	G	67	51	33	22	14	7	3.7
Villa Hermosa	G	67	51	33	22	14	7	3.7
Tapachula	G	67	51	33	22	14	7	3.7
Coatzacoalcos	E	98	77	52	35	21	8.5	4
Huixtla, Chiapas	G	67	51	33	22	14	7	3.7
Jaltipan de Morelos ,Veracruz	E	98	77	52	35	21	8.5	4

Tabla 5.7 Porcentajes de Intensidad de lluvia excedida (mm/h) de la Zona 6 de la República Mexicana obtenidos con el modelo Global de Crane.

Ciudades de la Zona 7	Zona Crane	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Mérida	G	67	51	33	22	14	7	3.7
Cancún	G	67	51	33	22	14	7	3.7
Chetumal	G	67	51	33	22	14	7	3.7
Campeche	G	67	51	33	22	14	7	3.7

Tabla 5.8 Porcentajes de Intensidad de lluvia excedida (mm/h) de la Zona 7 de la República Mexicana obtenidos con el modelo Global de Crane.

De igual manera se obtuvieron los márgenes de intensidad de lluvia en mm/h excedida en 0.01% , 0.03%, 0.1%, 0.3%, y 1% , de acuerdo al modelo de precipitación pluvial de la *ITU* como se muestran de las tablas 5.9 a la 5.15 .

Ciudades de la Zona 1	Zona ITU	Disponibilidad				
		99.99%	99.97%	99.9%	99.7%	99%
Tijuana	E	22	12	6	2.4	0.6
Mexicali	E	22	12	6	2.4	0.6
Hermosillo	E	22	12	6	2.4	0.6
La PazBCS	E	22	12	6	2.4	0.6
Pto. Escondido	E	22	12	6	2.4	0.6
Ensenada	E	22	12	6	2.4	0.6
Santa Ana, B.C.	E	22	12	6	2.4	0.6
San José del Cabo	E	22	12	6	2.4	0.6
N.Casas Grandes, Chi.	E	22	12	6	2.4	0.6
Cerros Salsipuedes, B.C.	E	22	12	6	2.4	0.6

Tabla 5.9 Porcentajes de Intensidad de lluvia excedida (mm/h) de la Zona 1 de la República Mexicana obtenidos con el modelo de la ITU.

Ciudades de la Zona 2	Zona ITU	Disponibilidad				
		99.99%	99.97%	99.9%	99.7%	99%
Saltillo	M	63	40	22	11	4
Zacatecas	M	63	40	22	11	4
San L. Potosí	M	63	40	22	11	4
Aguascalientes	M	63	40	22	11	4
Culiacán	M	63	40	22	11	4
Durango	M	63	40	22	11	4
Cd. Victoria	M	63	40	22	11	4
Chihuahua	M	63	40	22	11	4
Monterrey	M	63	40	22	11	4
Cd. Juarez	M	63	40	22	11	4
Torreón	M	63	40	22	11	4
N.Laredo	M	63	40	22	11	4

Tabla 5.10 Porcentajes de Intensidad de lluvia excedida (mm/h) de la Zona 2 de la República Mexicana obtenidos con el modelo de la ITU.

Ciudades de la Zona 3	Zona ITU	Disponibilidad				
		99.99%	99.97%	99.9%	99.7%	99%
Tampico	M	63	40	22	11	4
Matamoros	M	63	40	22	11	4
Reynosa	M	63	40	22	11	4
Cd. Mante , Tamp.	M	63	40	22	11	4
Jalapa	M	63	40	22	11	4

Tabla 5.11 Porcentajes de Intensidad de lluvia excedida (mm/h) de la Zona 3 de la República Mexicana obtenidos con el modelo de la ITU.

Ciudades de la Zona 4	Zona ITU	Disponibilidad				
		99.99%	99.97%	99.9%	99.7%	99%
México	N	95	65	35	15	5
Tlaxcala	N	95	65	35	15	5
León	M	63	40	22	11	4
Pachuca	N	95	65	35	15	5
Tulancingo	N	95	65	35	15	5
Queretaro	N	95	65	35	15	5
Guanajuato	M	63	40	22	11	4
Oaxaca	N	95	65	35	15	5
Iguala	N	95	65	35	15	5
Chilpancingo	N	95	65	35	15	5
Cuernavaca	N	95	65	35	15	5
Morelia	N	95	65	35	15	5
Veracruz	N	95	65	35	15	5
Huehuetla , Guan.	N	95	65	35	15	5

Tabla 5.12 Porcentajes de Intensidad de lluvia excedida (mm/h) de la Zona 4 de la República Mexicana obtenidos con el modelo de la ITU.

Ciudades de la Zona 5	Zona ITU	Disponibilidad				
		99.99%	99.97%	99.9%	99.7%	99%
Guadalajara	N	95	65	35	15	5
Mazatlán	M	63	40	22	11	4
Pto. Vallarta	M	63	40	22	11	4
Tepic	M	63	40	22	11	4
Colima	N	95	65	35	15	5
Manzanillo	N	95	65	35	15	5
Pto. Ángel	N	95	65	35	15	5
Acapulco	N	95	65	35	15	5
Uruapan	N	95	65	35	15	5
Laz. Cárdenas	N	95	65	35	15	5
Zamora	N	95	65	35	15	5

Tabla 5.13 Porcentajes de Intensidad de lluvia excedida (mm/h) de la Zona 5 de la República Mexicana obtenidos con el modelo de la ITU.

Ciudades de la Zona 6	Zona ITU	Disponibilidad				
		99.99%	99.97%	99.9%	99.7%	99%
Tuxtla Gtrez.	N	95	65	35	15	5
Villa Hermosa	N	95	65	35	15	5
Tapachula	N	95	65	35	15	5
Coatzacoalcos	N	95	65	35	15	5
Huixtla, Chiapas	N	95	65	35	15	5
Jaltipán de Morelos ,Veracruz	N	95	65	35	15	5

Tabla 5.14 Porcentajes de Intensidad de lluvia excedida (mm/h) de la Zona 6 de la República Mexicana obtenidos con el modelo de la ITU.

Ciudades de la Zona 7	Zona ITU	Disponibilidad				
		99.99%	99.97%	99.9%	99.7%	99%
Mérida	N	95	65	35	15	5
Cancún	N	95	65	35	15	5
Chetumal	N	95	65	35	15	5
Campeche	N	95	65	35	15	5

Tabla 5.15 Porcentajes de Intensidad de lluvia excedida (mm/h) de la Zona 7 de la República Mexicana obtenidos con el modelo de la ITU.

Cálculo de la atenuación por Lluvia con los distintos modelos matemáticos

Una vez recabada la información de los modelos de precipitación pluvial, y las características geográficas de cada ciudad, el siguiente paso es la aplicación de los modelos matemáticos, utilizando para ello los programas de computo correspondientes.

Los programas de computo fueron desarrollados en el lenguaje de programación Visual Basic 6.0 agregando la librería matemática Valt 2.0, para mayor exactitud y optimización de estos, en el anexo A se describen las características de estos programas.

Cabe mencionar que aunque el objetivo de este trabajo no era la realización de un software educativo acerca de la atenuación por lluvia, se con juntaron los programas desarrollados agregando un pequeño tutorial acerca de este fenómeno así como una descripción de los modelos matemáticos listados en la tabla 5.16 y una interfaz con la cuál los usuarios podrán calcular la atenuación por lluvia de cualquier ciudad, realizándose además una versión beta instalable de dicho software.

Como se mencionó en el capítulo 4, se escogieron 6 modelos de atenuación por lluvia los cuales se listan en la tabla 5.16, cabe mencionar que estos son validos para calcular la atenuación tanto en banda Ku como en banda Ka.

Modelo	Origen	Autores
DAH	USA	Dissanayake, Allnut
Zhao	China	Zhao Zhenwei, Lin Leke, Liu Yumei
ITU - R	Internacional	ITU
Global	USA	R. K. Crane
Spain	España	J. A. Gracia - López
Korea	Korea	Joo Hwan Lee, Yong Seok Choi

Tabla 5.16 Modelos de atenuación por Lluvia Seleccionados

El análisis se realizó para las frecuencias de 12.2 GHz y 14.5 GHz, que son la frecuencia descendente y ascendente respectivamente para un enlace en la banda Ku, empleando el satélite Satmex 5 ubicado en la posición orbital de 116.8° W, los parámetros geográficos de cada ciudad mostrados en la tabla 5.1 y los márgenes de precipitación pluvial obtenidos para cada modelo en el punto anterior.

En el caso de la banda Ka las frecuencias utilizadas fueron 20.2 GHz y 27.5 GHz, que son la frecuencia descendente y ascendente respectivamente para un enlace tierra-espacio en esta banda, empleando el satélite ACTS de la NASA ubicado en la posición orbital de 100° W. Los resultados obtenidos para todas las ciudades seleccionadas y para cada una de las frecuencias de enlace utilizadas se muestran en el **Anexo B** de esta tesis.

Banda de Frecuencia	Frecuencia descendente (GHz)	Frecuencia Ascendente (GHz)	Satélite utilizado	Ubicación del Satélite
Ku	12.2	14.5	Satmex 5	116.8 °
Ka	20.2	27.5	ACTS	100 °

Tabla 5.17 Parámetros utilizados para el cálculo de atenuación por lluvia, requeridos por los modelos matemáticos empleados.

Análisis de los Resultados

Con el objetivo de conocer el comportamiento de las diferentes combinaciones de modelos matemáticos y de precipitación pluvial, se obtuvo el error de predicción de estos, de la siguiente manera:

$$E_p = |A_{Sat} - A_{mp}|$$

Donde :

A_{mp} Es la atenuación del modelo de predicción

A_{Sat} los datos experimentales de atenuación por lluvia obtenidos por el ACTS de la NASA para la banda Ka .

Con el cálculo de este error se pretende saber cual combinación de procedimientos es la que obtiene el menor error de predicción y una vez que se tenga este resultado, poder calcular con estos modelo matemáticos los márgenes de atenuación por lluvia en la banda Ka para un futuro satélite Mexicano.

En el caso de la banda Ku una vez que se tenga los resultados de que combinación de modelos matemáticos fue la mejor en la predicción de atenuación por lluvia en la banda Ka, se utilizaran estos para recalculer los márgenes de atenuación actuales para la banda Ku y se compararán con el estudio realizado en 1985 por el Ing. Shunia, es decir con los valores empleados hoy en día por SATMEX .

Los valores de A_{Sat} para la banda Ka se obtuvieron como se muestra a continuación.

Banda Ka

Datos experimentales de atenuación por lluvia en banda ka

Como ya se describió anteriormente varios satélites de tipo experimental han sido utilizados para recopilar datos sobre atenuación en la Banda Ka. El más importante de ellos es el ACTS (Advanced Communication Technology Satellite) de la NASA . Con este satélite fue posible recopilar datos suficientes sobre atenuación en esta banda de frecuencias. Estos datos serán utilizados para obtener el error de predicción para la banda Ka de nuestro estudio.[33]

Para los experimentos realizados por el ACTS se tomaron en cuenta las siguientes ciudades :

Ciudades	Latitud (°)	Longitud (°)	Altitud (Km)	Zona de lluvia Global Crane	Zona de lluvia ITU-R	Angulo de Elevación (°)
Fairbanks,AK	64.85	147.82	0.18	B1	C	8.1
Vancouver,BC	49.25	123.22	0.01	C	D	29.3
Greeley, CO	40.33	104.61	1.9	B2	E	43.1
Tampa, FL	28.06	82.42	0.05	E	N	52.0
Reston, VA	38.95	77.33	0.08	D2	K	39.2
Las Cruces, NM	32.54	106.61	1.46	F	M	51.5
Norman, OK	35.21	97.44	0.42	D2	E	49.1

Tabla 5.18 Ciudades elegidas para los experimentos del ACTS en banda Ka

La tabla 5.18 , muestra las ciudades seleccionada con la latitud, longitud , altitud y ángulo de elevación , correspondiente a cada una y la zona a la que pertenecen de acuerdo a las divisiones hechas por los dos diferentes modelos de precipitación pluvial tanto el Global de Crane y como el de la ITU .

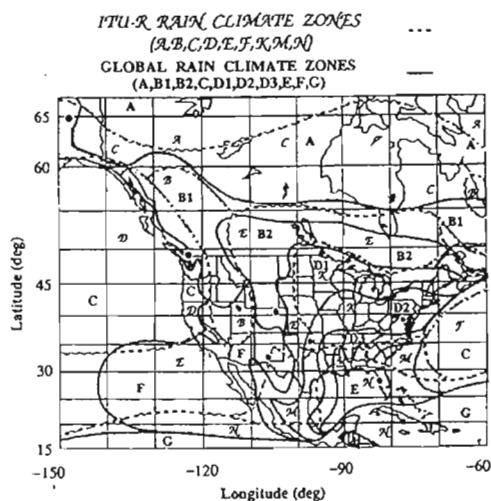


Figura 5.2 Mapa de ciudades donde se realizaron los experimentos del ACTS.

Los resultados obtenidos con los experimentos realizados con el satélite ACTS se muestran a continuación, en donde se puede observar la atenuación por lluvia en los años de 1993 y 1994 en la tablas 5.19 a la 5.23.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.97%	99.95%	99.90%	99.80%	99.70%	99.50%	99.0%
Fairbanks	20.2	7.8	6.2	4.7	3.7	3.2	2.4	1.6
Greeley	20.2	6.3	4.2	2.4	1.5	1.1		
Tampa	20.2				13.9	9.5	5.8	3.1
Reston	20.2							
Las Cruces	20.2	8.8	7.2	4.6	2.9	2.2	1.6	1.1
Norman	20.2	15.2	11.5	7.6	5	3.9	2.9	1.9

Tabla 5.19 Datos de Atenuación (dB) en la frecuencia de 20.2 de un enlace descendente para la banda Ka, arrojados por experimentos hechos por el satélite ACTS de la NASA en 1993

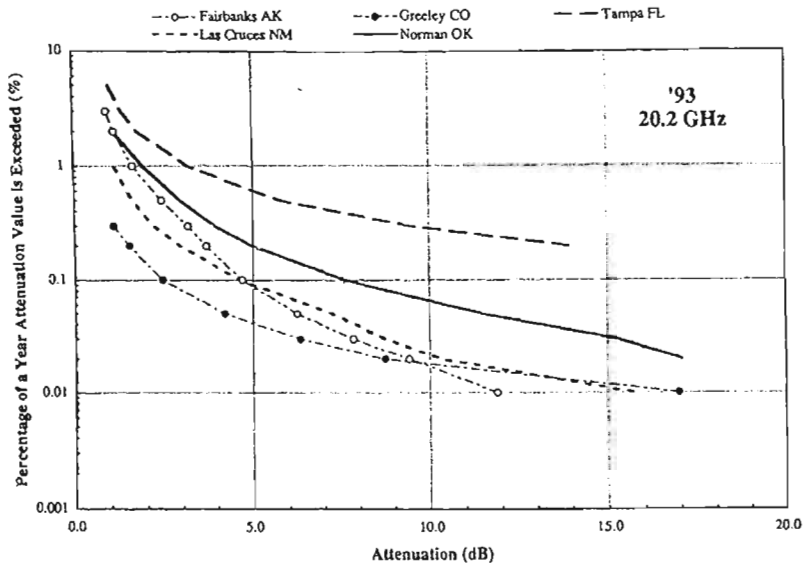


Figura 5.3 Gráfica de Atenuación (dB) en la frecuencia de 20.2 en un enlace descendente para la banda Ka, arrojados por experimentos hechos por el satélite ACTS de la NASA en 1993

Como se puede ver en la tabla 5.19 y 5.20 y en la figuras 5.3 y 5.4 de color gris la ciudad mas afectada por la atenuación por lluvia fue Tampa, Florida, en el año de 1993 para las disponibilidades de 99.80%, 99.70%, 99.50% y 99.0% con una atenuación máxima de 16 dB para una frecuencia de 20.2 GHz, mientras que para disponibilidades mas altas la ciudad que mas atenuación reporto fue la de Norman a disponibilidades mayores a 99.80% con una atenuación de 19.2 dB.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.97%	99.95%	99.90%	99.80%	99.70%	99.50%	99.0%
Fairbanks	27.5		11.6	8.5	6.5	5.6	4.4	2.9
Greeley	27.5	9.8	6.6	4.0	2.4	1.7	1.1	0.7
Tampa	27.5					16.0	9.9	5.5
Reston	27.5							
Las Cruces	27.5	13.6	11.0	7.4	4.5	3.4	2.5	1.6
Norman	27.5	19.2	16.2	12.0	8.5	7.0	5.4	3.6

Tabla 5.20 Datos de Atenuación (dB) en la frecuencia de 27.5 de un enlace ascendente para la banda Ka , arrojados por experimentos hechos por el satélite ACTS de la NASA en 1993

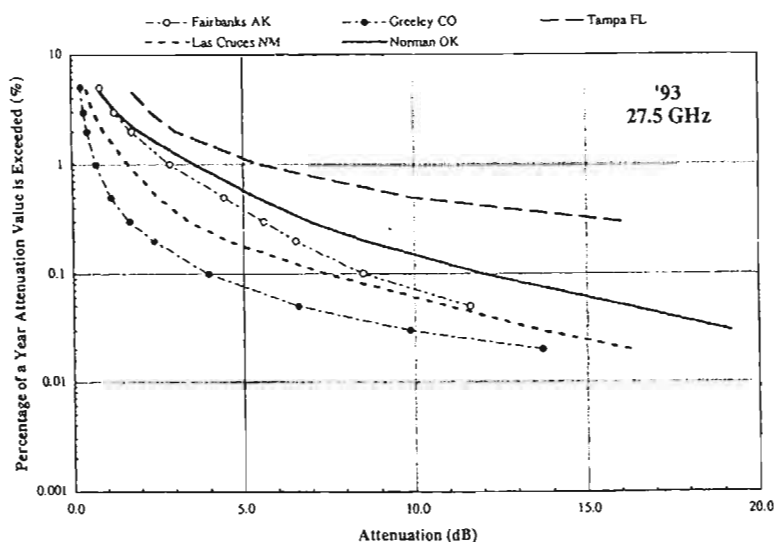


Figura 5.4 Gráfica de Atenuación (dB) en la frecuencia de 27.5 en un enlace de ascendente para la banda Ka, arrojados por experimentos hechos por el satélite ACTS de la NASA en 1993

Los resultados obtenidos en 1994 se muestran en las tablas 5.21 y 5.22 y en las figuras 5.5 y 5.6 arrojan de igual manera que en el año de 1993 que las ciudades más afecta por la atenuación fueron Tampa , Florida y Norman Ok, esto es tanto para la frecuencia descendente como ascendente .

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.97%	99.95%	99.90%	99.80%	99.70%	99.50%	99.0%
Fairbanks	20.2	9.7	7.8	5.5	4.0	3.3	2.6	1.9
Greeley	20.2	5.3	4.3	3.0	2.6	2.4	2.1	1.6
Tampa	20.2				12.4	8.9	5.8	3.1
Reston	20.2	17.9	15.5	11.1	7.0	5.2	3.8	2.5
Las Cruces	20.2	9.2	5.8	3.3	2.2	1.9	1.7	1.3
Norman	20.2	18.6	15.7	11.0	6.8	5.2	3.8	2.2

Tabla 5.21 Datos de Atenuación (dB) en la frecuencia de 20.2 en un enlace descendente para la banda Ka, arrojados por experimentos hechos por el satélite ACTS de la NASA en 1994

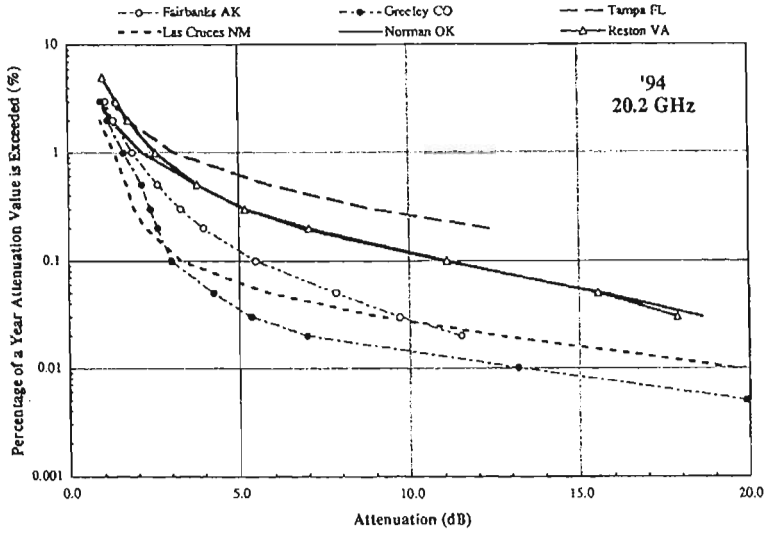


Figura 5.5 Gráfica de Atenuación (dB) en la frecuencia de 20.2 en un enlace descendente para la banda Ka, arrojados por experimentos hechos por el satélite ACTS de la NASA en 1994

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.97%	99.95%	99.90%	99.80%	99.70%	99.50%	99.0%
Fairbanks	27.5		12.8	9.6	7.0	5.8	4.6	3.2
Greeley	27.5	9.0	7.0	5.1	3.5	2.9	2.5	2.1
Tampa	27.5					16.0	10.8	5.8
Reston	27.5	19.6	17.0	13.4	9.6	7.6	5.7	3.7
Las Cruces	27.5	14.8	9.7	5.8	4.0	3.2	2.4	1.6
Norman	27.5		18.5	14.9	10.7	8.7	6.6	3.8

Tabla 5.22 Datos de Atenuación (dB) en la frecuencia de 27.5 en un enlace ascendente para la banda Ka, arrojados por experimentos hechos por el satélite ACTS de la NASA en 1994

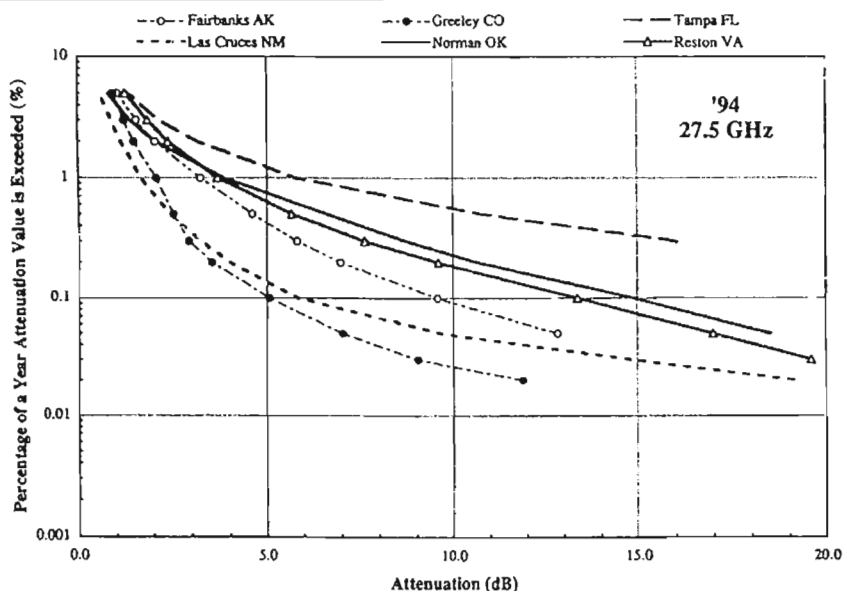


Figura 5.6 Gráfica de la Atenuación (dB) en la frecuencia de 27.5 en un enlace ascendente para la banda Ka, arrojados por experimentos hechos por el satélite ACTS de la NASA en 1994

Una vez calculados los márgenes de atenuación por lluvia con los diferentes modelos matemáticos y teniendo los datos experimentales de atenuación en la banda Ka, analizaremos que combinación de modelo matemático y de precipitación pluvial tiene un menor margen de error en el cálculo de predicción de esta atenuación.

Error de predicción de los modelos matemáticos para la banda Ka

Para el caso de la banda Ka, como se escogieron ciudades que contaran con las mismas características geográficas que la elegidas para los experimentos del ACTS, cabe mencionar que se seleccionaron solo 4 ciudades de las 7 experimentales para la distribución de las zonas hidrometeorológicas para el modelo global de Crane ya el territorio Mexicano no cuenta con Zonas B1, C, y B2 para este.

En el caso del modelo de la ITU también fueron seleccionadas 4 ciudades debido a que de igual manera que el modelo Global de Crane, México no cuenta con zonas C, D, y K para las divisiones de la ITU. De esta forma las ciudades elegidas para los dos modelos fueron :

Ciudad	Altura (Km)	Latitud N (°)	Longitud O (°)	Elevación (°)	Zona Global
Ciudad Mante Tamp.	0,08	22,75	98,97	56,616	D2
Jaltipan de Morelos	0,05	17,966	94,716	57,105	E
N.Casas Grandes, Chi.	1,46	30,416	107,9	53,233	F
Huehuetla	0,42	20,466	98,083	57,933	D2

Tabla 5.23 Ciudades Mexicanas con características similares a las utilizadas por el satélite ACTS con la distribución de zonas del modelo Global de Crane.

Ciudad	Altura (Km)	Latitud N (°)	Longitud O (°)	Elevación (°)	Zona ITU
Jalapa	1,46	19,53	96,92	57,786	M
Huixtla, Chiapas	0,05	15,15	99,466	63,225	N
Santa Ana B.C.	0,42	28,6897	113,8138	56,3616	E
Cerros Salsipuedes	1,9	23,283	109,93	61,661	E

Tabla 5.24 Ciudades Mexicanas con características similares a las utilizadas por el satélite ACTS con la distribución de zonas del modelo ITU.

Como puede observarse en las tablas 5.23 y 5.24 se trató de encontrar ciudades que fueran similares para los dos modelos de precipitación pluvial de esta forma la ciudad de Tampa Florida con una altitud de 0.05 Km tiene las mismas características geográficas que la población de Jaltipan de Morelos para el modelo Global de Crane y la población de Huixtla, Chiapas para el modelo de la ITU.

La ciudad de Reston Va., es similar a la población de Ciudad Mante Tamaulipas para el modelo Global, pero para el modelo de la ITU no se encontró ninguna ciudad con las mismas características ya que México no cuenta con zona K para este modelo.

La ciudad de las Cruces NM. , coincide con la población Nuevo Casa Grandes Chihuahua para el modelo Global y para el de la ITU con la ciudad de Jalapa Veracruz.

De igual forma la ciudad de Norman OK. , tiene las mismas características que la población de Huehuetla para el modelo Global y la población de Santa Ana B. C. Para el modelo dela ITU.

Por último la ciudad de Greeley es similar en sus condiciones geográficas y zona de precipitación pluvial en el modelo de la ITU, que la población del Cerro Salsipuedes.

Para el calculo de los errores de predicción se eligieron las disponibilidades de 99.90%, 99.80% y 99.50% en el año de 1994 para el modelo global de Crane y 99.90% , 99.70 y 99.0% que puede observarse en la tabla 5.21 , ya que estas cuentan con la mayor información de atenuación para la mayoría de todas las ciudades.

Los resultados de los errores de predicción se muestran en las tablas 5.25 a la 5.32 , en las columnas que se encuentran de color gris oscuro no se pudo calcular el errores de predicción debido a que no existe dato experimental para esa ciudad y disponibilidad dada.

Combinación	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad	Error			
			C. Mante	Jaltipan	N. Casa G.	Huehuetla
Dah - Crane	20,2	99.90%	1.423		0.082	1.464
Zhao - Crane	20,2	99.90%	4.262		0.694	4.785
ITU-R - Crane	20,2	99.90%	4.686		1.171	5.32
Crane - Crane	20,2	99.90%	3.414		1.415	4.034
España - Crane	20,2	99.90%	5.681		1.828	6.089
Korea - Crane	20,2	99.90%	4.667		1.163	5.365

Tabla 5.25 Error de predicción de las ciudades de la República Mexicana similares a la utilizadas por el ACTS , para las zonas del modelo Global de Crane obtenidos con las diferentes combinaciones para una disponibilidad de 99.90% , para la frecuencia descendente un enlace satelital en la banda Ka.

Combinación	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad	Error			
			C. Mante	Jaltipan	N. Casa G.	Huehuetla
Dah - Crane	27,5	99.90%	5.525		0.556	3.810
Zhao - Crane	27,5	99.90%	1.158		1.588	3.656
ITU-R - Crane	27,5	99.90%	2.172		1.935	4.956
Crane - Crane	27,5	99.90%	0.744		2.168	2.066
España - Crane	27,5	99.90%	3.36		2.94	5.652
Korea - Crane	27,5	99.90%	1.48		1.64	4.442

Tabla 5.26 Error de predicción de las ciudades de la República Mexicana similares a la utilizadas por el ACTS , para las zonas del modelo Global de Crane obtenidos con las diferentes combinaciones para una disponibilidad de 99.90% , para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ka.

Combinación	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad	Error			
			C. Mante	Jaltipan	N. Casa G.	Huehuetla
Dah - Crane	20,2	99.0%	0.3	0.89	0.58	0.09
Zhao - Crane	20,2	99.0%	0.41	4.19	0.37	0.49
ITU-R - Crane	20,2	99.0%	0.49	0.75	0.63	0.42
Crane - Crane	20,2	99.0%	1.12	1.42	1.112	1.06
España - Crane	20,2	99.0%	1.51	1.77	1.12	1.29
Korea - Crane	20,2	99.0%	0.51	0.74	0.78	0.44

Tabla 5.27 Error de predicción de las ciudades de la República Mexicana similares a la utilizadas por el ACTS , para las zonas del modelo Global de Crane obtenidos con las diferentes combinaciones para una disponibilidad de 99.0% , para la frecuencia descendente un enlace satelital en la banda Ka.

Combinación	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad	Error			
			C. Mante	Jaltipan	N. Casa G.	Huehuetla
Dah - Crane	27,5	99.0%	0.89	2.52	0.09	0.62
Zhao - Crane	27,5	99.0%	2.14	9.1	.1	1.56
ITU-R - Crane	27,5	99.0%	0.17	0.72	0.39	0.68
Crane - Crane	27,5	99.0%	0.97	2.49	1.21	1.53
España - Crane	27,5	99.0%	1.71	3.18	1.22	1.98
Korea - Crane	27,5	99.0%	0.29	1.14	0.48	0.28

Tabla 5.28 Error de predicción de las ciudades de la República Mexicana similares a la utilizadas por el ACTS , para las zonas del modelo Global de Crane obtenidos con las diferentes combinaciones para una disponibilidad de 99.0% , para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ka.

Combinación	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad	Error			
			Jalapa	Huixtla	Santa Ana	C. Salsi.
Dah - ITU	20,2	99.90%	6.531		6.856	0.210
Zhao - ITU	20,2	99.90%	2.992		7.632	1.302
ITU-R - ITU	20,2	99.90%	1.726		8.199	1.587
Crane - ITU	20,2	99.90%	4.292		8.037	1.35

España – ITU	20,2	99.90%	2.33		8.868	1.709
Korea – ITU	20,2	99.90%	1.625		7.770	1.368

Tabla 5.29 Error de predicción de las ciudades de la República Mexicana similares a la utilizadas por el ACTS , para las zonas del modelo de la ITU obtenidos con las diferentes combinaciones para una disponibilidad de 99.90% , para la frecuencia descendente un enlace satelital en la banda Ka.

Combinación	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad	Error			
			Jalapa	Huixtla	Santa Ana	C. Salsi.
Dah – ITU	27,5	99.90%	13.361		6.811	1.548
Zhao – ITU	27,5	99.90%	5.790		9.623	2.136
ITU-R – ITU	27,5	99.90%	2.894		9.805	2.53
Crane – ITU	27,5	99.90%	7.977		9.237	1.910
España – ITU	27,5	99.90%	4.442		10.773	2.601
Korea – ITU	27,5	99.90%	3.159		8.647	1.941

Tabla 5.30 Error de predicción de las ciudades de la República Mexicana similares a la utilizadas por el ACTS , para las zonas del modelo de la ITU obtenidos con las diferentes combinaciones para una disponibilidad de 99.90% , para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ka.

Combinación	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad	Error			
			Jalapa	Huixtla	Santa Ana	C. Salsi.
Dah – ITU	20,2	99.0%	0.86	0.94	1.27	0.93
Zhao – ITU	20,2	99.0%	1.39	3.91	0.96	1.01
ITU-R – ITU	20,2	99.0%	0.28	0.58	1.32	1.16
Crane – ITU	20,2	99.0%	0.359	1.270	1.953	1.577
España – ITU	20,2	99.0%	1.3	3.1	2.2	1.6
Korea – ITU	20,2	99.0%	0.130	0.406	1.596	1.287

Tabla 5.31 Error de predicción de las ciudades de la República Mexicana similares a la utilizadas por el ACTS , para las zonas del modelo de la ITU obtenidos con las diferentes combinaciones para una disponibilidad de 99.0% , para la frecuencia descendente un enlace satelital en la banda Ka.

Combinación	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad	Error			
			C. Mante	Jaltipan	N. Casa G.	Huehuetla
Dah – ITU	27,5	99.0%	2.80	2.71	1.86	0.62
Zhao – ITU	27,5	99.0%	3.97	8.63	1.65	0.94
ITU-R – ITU	27,5	99.0%	1.13	0.44	2.2	1.29
Crane – ITU	27,5	99.0%	0.278	2.212	3.274	2.032
España – ITU	27,5	99.0%	1.6	5.8	5.8	2.1
Korea – ITU	27,5	99.0%	1.23	0.538	2.494	1.426

Tabla 5.32 Error de predicción de las ciudades de la República Mexicana similares a la utilizadas por el ACTS , para las zonas del modelo de la ITU obtenidos con las diferentes combinaciones para una disponibilidad de 99.0% , para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ka.

Como podemos comprobar en las tablas anteriores la combinación que obtiene menor error de predicción en color gris claro es la combinación Dah – Crane , quedando muy arriba de los demás modelos , si listamos de mayor a menor los resultados obtenidos tenemos que:

Combinación	Número de veces que esta combinación obtuvo menor error de predicción
Dah – Crane	7
Dah – ITU	6
ITU-R – Crane	3
Crane – Crane	2
ITU-R - ITU	2
Zhao – ITU	2
Korea – ITU	2
Zhao – Crane	1
Crane – ITU	1
Korea – Crane	1

Tabla 5.33 Tabla comparativa de los errores de predicción

Como puede observarse en la tabla 5.33 , el modelo DAH ya sea combinado con el modelo de precipitación pluvial Global de Crane ó ITU – R , es el que más se aproxima a los valores experimentales de atenuación obteniendo un mayor número de veces con menor error de predicción , de esta forma hemos obtenido el primero objetivo de este trabajo que era el encontrar la mejor combinación de modelos matemáticos para el cálculo de la atenuación por lluvia para la banda Ka , de esta manera los márgenes de atenuación por lluvia para la banda Ka de la República Mexicana para un enlace ascendente y descendente quedarían de la siguiente forma utilizando la combinación DAH - Crane :

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	20,2	12,33	9,343	6,163	4,331	2,94	1,66	1,016
Mexicali	20,2	12,314	9,328	6,151	4,321	2,933	1,656	1,015
Hermosillo	20,2	12,23	9,359	6,251	4,427	3,019	1,693	1,006
La Paz, B.C.S.	20,2	13,263	10,34	7,065	5,08	3,5	1,948	1,11
Pto. Escondido	20,2	13,043	10,48	7,441	5,482	3,831	2,089	1,088
Ensenada	20,2	12,386	9,403	6,218	4,377	2,974	1,677	1,022
Santa Ana, B.C.	20,2	11,896	9,105	6,081	4,307	2,936	1,643	0,973
San José del Cabo	20,2	13,272	10,38	7,125	5,137	3,545	1,969	1,111
N.Casas Grandes, Chi.	20,2	9,253	6,994	4,597	3,218	2,172	1,206	0,719
Cerros Salsipuedes, B.C.	20,2	9,0709	7,007	4,732	3,37	2,298	1,257	0,702
Zona 1								
Saltillo	20,2	14,331	11,16	7,617	5,475	3,775	2,113	1,219
Zacatecas	20,2	15,331	12,07	8,354	6,061	4,205	2,347	1,322
San L. Potosi	20,2	17,548	13,9	9,704	7,082	4,94	2,768	1,556
Aguascalientes	20,2	17,524	13,9	9,709	7,091	4,947	2,771	1,554
Culiacán	20,2	18,748	14,74	10,2	7,404	5,151	2,912	1,686
Durango	20,2	17,086	13,44	9,292	6,74	4,682	2,632	1,507
Cd. Victoria	20,2	22,451	17,83	12,49	9,143	6,409	3,641	2,095
Chihuahua	20,2	14,084	10,85	7,302	5,202	3,567	2,009	1,193
Monterrey	20,2	17,308	13,54	9,309	6,726	4,663	2,632	1,531
Cd. Juárez	20,2	9,9506	7,51	4,927	3,447	2,328	1,3	0,785
Torreón	20,2	15,723	12,27	8,405	6,057	4,187	2,353	1,363
N. Laredo	20,2	17,956	13,98	9,556	6,881	4,762	2,702	1,6
Zona 2								
Tampico	20,2	23,671	18,92	13,37	9,846	6,931	3,933	2,234
Matamoros	20,2	22,788	17,97	12,48	9,093	6,356	3,63	2,133
Reynosa	20,2	22,642	17,84	12,38	9,01	6,294	3,595	2,117
Cd. Mante, Tamp.	20,2	23,418	18,68	13,16	9,677	6,803	3,863	2,205
Jalapa	20,2	23,033	18,57	13,26	9,832	6,946	3,913	2,161
Zona 3								
México DF	20,2	16,253	12,97	9,133	6,701	4,684	2,6	1,419
León	20,2	17,838	14,19	9,956	7,291	5,096	2,851	1,587
Pachuca	20,2	17,153	13,68	9,623	7,058	4,936	2,751	1,514
Tulancingo	20,2	16,606	13,23	9,297	6,813	4,76	2,649	1,456
Queretaro	20,2	17,806	14,19	9,98	7,319	5,121	2,861	1,584
Guanajuato	20,2	17,089	13,58	9,516	6,961	4,86	2,714	1,507
Oaxaca	20,2	19,142	15,48	11,09	8,235	5,809	3,229	1,728
Iguala	20,2	21,949	17,75	12,72	9,447	6,678	3,744	2,039
Chilpancingo	20,2	20,202	16,34	11,71	8,697	6,14	3,424	1,845
Cuernavaca	20,2	19,102	15,35	10,91	8,053	5,662	3,161	1,724
Morelia	20,2	17,49	13,97	9,854	7,24	5,069	2,825	1,55
Veracruz	20,2	28,561	23,21	16,74	12,51	8,901	5,056	2,802
Huehuetla, Guan.	20,2	22,605	18,16	12,9	9,536	6,722	3,792	2,113

Zona 4								
Guadalajara	20,2	15,234	12,08	8,434	6,153	4,283	2,378	1,312
Mazatlán	20,2	19,236	15,22	10,61	7,742	5,405	3,048	1,739
Pto. Vallarta	20,2	19,389	15,49	10,92	8,03	5,632	3,159	1,755
Tepic	20,2	16,991	13,47	9,416	6,876	4,795	2,68	1,497
Colima	20,2	18,317	14,68	10,39	7,658	5,374	2,997	1,639
Manzanillo	20,2	19,639	15,78	11,22	8,286	5,83	3,259	1,783
Pto. Ángel	20,2	20,032	16,3	11,77	8,787	6,222	3,454	1,826
Acapulco	20,2	30,321	24,9	18,2	13,72	9,819	5,56	3,012
Uruapan	20,2	18,642	14,94	10,58	7,795	5,472	3,055	1,674
Laz. Cárdenas	20,2	19,78	15,96	11,41	8,457	5,963	3,326	1,798
Zamora	20,2	15,161	12,05	8,438	6,168	4,298	2,382	1,304
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	20,2	28,567	23,57	17,32	13,1	9,385	5,279	2,803
Villa Hermosa	20,2	29,887	24,42	17,74	13,31	9,503	5,394	2,96
Tapachula	20,2	29,957	24,75	18,23	13,8	9,905	5,583	2,968
Coatzacoalcos	20,2	38,301	31,45	23	17,36	12,47	7,165	3,993
Huixtla, Chiapas	20,2	30,688	25,37	18,7	14,17	10,18	5,742	3,056
Jaltipan de Morelos, Veracruz	20,2	38,257	31,51	23,13	17,5	12,59	7,218	3,987
Zona 6								
Mérida	20,2	29,294	23,66	16,93	12,59	8,932	5,102	2,889
Cancún	20,2	29,2	23,55	16,82	12,49	8,859	5,064	2,878
Chetumal	20,2	29,563	24,08	17,42	13,04	9,292	5,282	2,921
Campeche	20,2	29,471	23,9	17,2	12,83	9,126	5,2	2,91
Zona 7								

Tabla 5.34 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación DAH-Crane para la frecuencia descendente un enlace satelital en la banda Ka.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	27,5	22,389	17,284	11,685	8,365	5,786	3,347	2,088
Mexicali	27,5	22,382	17,273	11,674	8,356	5,778	3,343	2,088
Hermosillo	27,5	22,425	17,489	11,976	8,644	6,008	3,453	2,092
La Paz, B.C.S.	27,5	24,542	19,499	13,669	10,02	7,036	4,018	2,333
Pto. Escondido	27,5	25,643	21,043	15,362	11,56	8,249	4,625	2,46
Ensenada	27,5	22,523	17,421	11,808	8,467	5,862	3,388	2,103
Santa Ana, B.C.	27,5	21,781	16,988	11,633	8,396	5,832	3,346	2,02
San José del Cabo	27,5	24,606	19,618	13,813	10,15	7,142	4,07	2,34
N.Casas Grandes, Chi.	27,5	17,145	13,211	8,9064	6,356	4,373	2,492	1,513
Cerros Salsipuedes, B.C.	27,5	17,532	13,824	9,5926	6,974	4,853	2,728	1,554

Zona 1								
Saltillo	27,5	26,168	20,76	14,528	10,64	7,475	4,289	2,521
Zacatecas	27,5	27,883	22,363	15,867	11,73	8,29	4,742	2,722
San L. Potosí	27,5	32,044	25,868	18,51	13,77	9,783	5,62	3,219
Aguascalientes	27,5	32,006	25,86	18,524	13,79	9,801	5,627	3,215
Culiacán	27,5	34,367	27,545	19,537	14,45	10,25	5,94	3,503
Durango	27,5	31,061	24,886	17,639	13,04	9,226	5,316	3,101
Cd. Victoria	27,5	41,115	33,269	23,889	17,83	12,73	7,418	4,35
Chihuahua	27,5	25,538	20,035	13,825	10,03	7,008	4,045	2,448
Monterrey	27,5	31,694	25,274	17,81	13,11	9,264	5,361	3,177
Cd. Juárez	27,5	18,171	13,975	9,3994	6,7	4,61	2,639	1,623
Torreón	27,5	28,738	22,855	16,047	11,78	8,3	4,783	2,823
N. Laredo	27,5	32,793	26,025	18,23	13,38	9,432	5,487	3,311
Zona 2								
Tampico	27,5	43,514	35,455	25,684	19,28	13,83	8,048	4,658
Matamoros	27,5	41,574	33,411	23,788	17,66	12,57	7,361	4,408
Reynosa	27,5	41,289	33,152	23,576	17,48	12,45	7,287	4,372
Cd. Mante, Tamp.	27,5	43,005	34,964	25,259	18,93	13,56	7,896	4,592
Jalapa	27,5	42,163	34,645	25,361	19,16	13,79	7,968	4,484
Zona 3								
México DF	27,5	29,759	24,199	17,471	13,06	9,304	5,296	2,944
León	27,5	32,637	26,456	19,031	14,2	10,12	5,802	3,291
Pachuca	27,5	31,408	25,52	18,409	13,76	9,806	5,603	3,142
Tulancingo	27,5	30,385	24,666	17,772	13,27	9,449	5,391	3,019
México DF	27,5	29,759	24,199	17,471	13,06	9,304	5,296	2,944
Queretaro	27,5	32,609	26,484	19,096	14,27	10,17	5,829	3,288
Guanajuato	27,5	31,244	25,302	18,175	13,55	9,639	5,518	3,123
Oaxaca	27,5	35,29	29,092	21,376	16,17	11,63	6,63	3,617
Iguala	27,5	40,544	33,419	24,558	18,6	13,4	7,705	4,277
Chilpancingo	27,5	37,287	30,742	22,594	17,1	12,31	7,04	3,866
Cuernavaca	27,5	35,131	28,769	20,961	15,78	11,31	6,471	3,598
Morelia	27,5	32,057	26,098	18,872	14,13	10,08	5,761	3,221
Veracruz	27,5	52,619	43,585	32,243	24,55	17,81	10,37	5,859
Zona 4								
Guadalajara	27,5	28,051	22,665	16,232	12,07	8,562	4,876	2,742
Mazatlán	27,5	35,392	28,544	20,405	15,17	10,8	6,244	3,63
Pto. Vallarta	27,5	35,852	29,192	21,12	15,83	11,31	6,508	3,687
Tepic	27,5	31,292	25,293	18,126	13,49	9,59	5,497	3,129
Colima	27,5	33,924	27,714	20,131	15,12	10,82	6,188	3,449
Manzanillo	27,5	36,431	29,847	21,761	16,39	11,75	6,741	3,759
Pto. Ángel	27,5	37,382	31,023	22,987	17,49	12,63	7,194	3,878
Acapulco	27,5	56,125	46,984	35,226	27,06	19,75	11,47	6,333
Uruapan	27,5	34,233	27,958	20,302	15,24	10,91	6,244	3,487
Laz. Cárdenas	27,5	36,789	30,273	22,194	16,77	12,06	6,9	3,804
Zamora	27,5	27,951	22,639	16,262	12,12	8,604	4,891	2,73

Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	27,5	52,735	44,341	33,424	25,76	18,82	10,86	5,875
Villa Hermosa	27,5	55,038	45,833	34,138	26,11	19	11,06	6,186
Tapachula	27,5	55,383	46,639	35,227	27,19	19,89	11,5	6,232
Coatzacoalcos	27,5	70,448	58,959	44,213	34,01	24,91	14,67	8,333
Huixtla, Chiapas	27,5	56,986	48,029	36,317	28,05	20,54	11,89	6,451
Jaltipan de Morelos, Veracruz	27,5	70,36	59,063	44,458	34,28	25,14	14,78	8,321
Zona 6								
Mérida	27,5	53,518	44,036	32,309	24,47	17,7	10,37	5,98
Cancún	27,5	53,17	43,683	31,989	24,2	17,49	10,25	5,933
Chetumal	27,5	54,139	44,932	33,324	25,42	18,46	10,76	6,064
Campeche	27,5	53,989	44,62	32,918	25,03	18,14	10,6	6,044
Zona 7								

Tabla 5.35 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación DAH-Crane para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ka.

Aunque sabemos que los resultados de la mejor combinación de modelos se muestra en la tablas 5.34 y 3.35 para la banda Ka , en el caso particular de México la mejor aproximación que podemos obtener con este estudio es mediante la combinación del modelo de precipitación pluvial específico para México realizado con datos estadísticos y el modelo matemático para el cálculo de atenuación DAH siendo este el más exacto de los modelos matemáticos estudiados, de esta manera , si combinamos los datos del modelo de precipitación pluvial para las diferentes zonas hidrometeorologías del país listados en la tabla 6.65 utilizados para el cálculo

Zonas Hidrometeorológicas	Disponibilidad			
	99.99%	99.9%	99.8%	99.5%
Zona 1	31	13	10	6
Zona 2	27	11	6	3
Zona 3	43	31	23	14
Zona 4	51	33	24	15
Zona 5	41	32	22	13
Zona 6	53	35	26	17
Zona 7	38	28	19	9

Tabla 5.36 Márgenes de precipitación pluvial utilizados por los satélites SATMEX en la actualidad .

de los márgenes de atenuación por lluvia de hace 20 años y el modelo DAH , esto es, la combinación DAH-Shunía tendríamos los márgenes de atenuación por lluvia en la banda Ka mas aproximados para nuestro país , como se muestra a continuación :

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	20,2	15,267	11,65	7,759	5,492	3,754	2,137	1,315
Mexicali	20,2	15,291	11,67	7,766	5,495	3,756	2,139	1,318
Hermosillo	20,2	15,338	11,82	7,975	5,69	3,909	2,211	1,323
La Paz, B.C.S.	20,2	16,653	13,08	9,028	6,54	4,539	2,55	1,461
Pto. Escondido	20,2	16,963	13,67	9,749	7,212	5,068	2,803	1,494
Ensenada	20,2	15,36	11,75	7,844	5,561	3,805	2,164	1,325
Santa Ana, B.C.	20,2	14,897	11,49	7,754	5,534	3,8	2,145	1,277
San José del Cabo	20,2	16,675	13,14	9,108	6,616	4,599	2,578	1,463
N.Casas Grandes, Chi.	20,2	11,911	9,074	6,026	4,252	2,892	1,623	0,975
Cerros Salsipuedes, B.C.	20,2	12,077	9,417	6,438	4,628	3,184	1,762	0,991
Zona 1								
Saltillo	20,2	11,244	8,674	5,851	4,169	2,85	1,581	0,909
Zacatecas	20,2	9,1915	7,109	4,809	3,429	2,339	1,28	0,713
San L. Potosí	20,2	10,978	8,552	5,839	4,192	2,879	1,584	0,883
Aguascalientes	20,2	10,869	8,475	5,793	4,162	2,859	1,572	0,873
Culiacán	20,2	14,827	11,57	7,927	5,711	3,944	2,209	1,27
Durango	20,2	10,637	8,235	5,578	3,984	2,726	1,504	0,85
Cd. Victoria	20,2	14,492	11,32	7,766	5,599	3,867	2,161	1,235
Chihuahua	20,2	11,041	8,435	5,62	3,973	2,703	1,507	0,889
Monterrey	20,2	13,691	10,62	7,212	5,166	3,552	1,988	1,153
Cd. Juárez	20,2	11,342	8,594	5,668	3,981	2,699	1,516	0,919
Torreón	20,2	12,361	9,565	6,478	4,629	3,174	1,768	1,019
N. Laredo	20,2	14,29	11,03	7,455	5,323	3,655	2,057	1,214
Zona 2								
Tampico	20,2	21,477	17,07	11,96	8,761	6,139	3,477	1,986
Matamoros	20,2	20,88	16,39	11,31	8,2	5,71	3,254	1,92
Reynosa	20,2	20,734	16,26	11,21	8,125	5,655	3,223	1,903
Cd. Mante, Tamp.	20,2	21,261	16,87	11,8	8,628	6,04	3,422	1,962
Jalapa	20,2	17,255	13,73	9,639	7,059	4,933	2,753	1,525
Zona 3								
México DF	20,2	16,585	13,2	9,263	6,782	4,736	2,637	1,454
León	20,2	18,245	14,49	10,15	7,426	5,189	2,91	1,631
Pachuca	20,2	17,514	13,93	9,767	7,149	4,995	2,792	1,553
Tulancingo	20,2	16,968	13,48	9,441	6,904	4,819	2,69	1,494
Queretaro	20,2	18,185	14,46	10,15	7,431	5,195	2,91	1,625

Guanajuato	20,2	17,485	13,87	9,702	7,089	4,948	2,769	1,55
Oaxaca	20,2	19,324	15,56	11,08	8,198	5,771	3,22	1,748
Iguala	20,2	22,183	17,88	12,76	9,459	6,678	3,754	2,065
Chilpancingo	20,2	20,395	16,44	11,73	8,691	6,127	3,427	1,866
Cuernavaca	20,2	19,392	15,54	11	8,103	5,691	3,186	1,756
Morelia	20,2	17,839	14,22	10,01	7,342	5,137	2,87	1,587
Veracruz	20,2	24,334	19,59	13,96	10,34	7,306	4,134	2,309
Huehuetla, Guan.	20,2	22,998	18,42	13,04	9,617	6,772	3,831	2,157
Zona 4								
Guadalajara	20,2	16,369	12,98	9,075	6,626	4,619	2,576	1,431
Mazatlán	20,2	20,682	16,39	11,46	8,372	5,857	3,314	1,898
Pto. Vallarta	20,2	20,777	16,61	11,74	8,639	6,069	3,416	1,908
Tepic	20,2	18,261	14,5	10,15	7,421	5,184	2,908	1,633
Colima	20,2	19,568	15,69	11,12	8,194	5,758	3,224	1,775
Manzanillo	20,2	20,965	16,86	11,99	8,865	6,245	3,504	1,929
Pto. Ángel	20,2	21,007	17,03	12,24	9,107	6,441	3,596	1,934
Acapulco	20,2	20,982	16,97	12,16	9,036	6,384	3,569	1,931
Uruapan	20,2	16,15	12,85	9,024	6,607	4,612	2,564	1,408
Laz. Cárdenas	20,2	20,984	16,93	12,09	8,959	6,321	3,54	1,931
Zamora	20,2	16,259	12,92	9,052	6,619	4,618	2,571	1,419
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	20,2	20,721	16,8	12,07	8,979	6,348	3,541	1,902
Villa Hermosa	20,2	22,054	17,74	12,63	9,344	6,589	3,708	2,051
Tapachula	20,2	21,776	17,68	12,73	9,485	6,716	3,754	2,019
Coatzacoalcos	20,2	21,956	17,66	12,57	9,301	6,559	3,69	2,04
Huixtla, Chiapas	20,2	22,107	18,01	13,03	9,741	6,911	3,858	2,057
Jaltipan de Morelos, Veracruz	20,2	21,904	17,63	12,57	9,302	6,561	3,689	2,034
Zona 6								
Mérida	20,2	19,955	15,83	11,07	8,092	5,659	3,194	1,817
Cancún	20,2	20,151	15,96	11,13	8,13	5,682	3,212	1,839
Chetumal	20,2	20,057	16,02	11,3	8,305	5,828	3,276	1,829
Campeche	20,2	19,914	15,86	11,14	8,171	5,724	3,222	1,813
Zona 7								

Tabla 5.37 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación DAH-Shunía para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ka.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	27,5	27,701	21,538	14,7	10,599	7,381	4,306	2,7
Mexicali	27,5	27,737	21,559	14,709	10,602	7,382	4,308	2,705
Hermosillo	27,5	27,986	21,985	15,199	11,05	7,734	4,485	2,734
La Paz, B.C.S.	27,5	30,683	24,56	17,386	12,838	9,08	5,232	3,055

Capítulo V: Cálculo de los márgenes de atenuación por lluvia para México

Pto. Escondido	27,5	31,151	25,586	18,708	14,104	10,1	5,729	3,111
Ensenada	27,5	27,908	21,746	14,881	10,748	7,494	4,368	2,725
Santa Ana, B.C.	27,5	27,212	21,389	14,797	10,76	7,53	4,357	2,643
San José del Cabo	27,5	30,765	24,709	17,566	13,006	9,215	5,298	3,065
N.Casas Grandes, Chi.	27,5	21,59	16,756	11,403	8,1964	5,68	3,267	1,999
Cerros Salsipuedes, B.C.	27,5	22,278	17,706	12,415	9,0971	6,379	3,62	2,076
Zona 1								
Saltillo	27,5	20,525	16,135	11,157	8,0994	5,642	3,209	1,88
Zacatecas	27,5	17,519	13,826	9,6036	6,9871	4,864	2,732	1,553
San L. Potosí	27,5	20,238	16,07	11,252	8,2342	5,763	3,253	1,849
Aguascalientes	27,5	20,219	16,074	11,272	8,2569	5,782	3,261	1,847
Culiacán	27,5	27,32	21,735	15,266	11,21	7,891	4,532	2,656
Durango	27,5	19,758	15,594	10,836	7,8896	5,503	3,114	1,796
Cd. Victoria	27,5	26,538	21,132	14,859	10,917	7,684	4,402	2,564
Chihuahua	27,5	20,132	15,671	10,704	7,709	5,344	3,055	1,837
Monterrey	27,5	25,022	19,773	13,769	10,05	7,042	4,04	2,388
Cd. Juárez	27,5	20,586	15,891	10,741	7,6856	5,308	3,055	1,887
Torreón	27,5	22,631	17,846	12,391	9,0233	6,305	3,6	2,116
N. Laredo	27,5	26,042	20,488	14,189	10,323	7,222	4,166	2,506
Zona 2								
Tampico	27,5	39,001	31,572	22,68	16,924	12,08	7,013	4,081
Matamoros	27,5	37,7	30,138	21,311	15,74	11,16	6,519	3,918
Reynosa	27,5	37,454	29,921	21,139	15,604	11,06	6,46	3,887
Cd. Mante, Tamp.	27,5	38,632	31,222	22,382	16,678	11,9	6,908	4,035
Jalapa	27,5	31,252	25,337	18,226	13,598	9,679	5,537	3,124
Zona 3								
México DF	27,5	29,947	24,275	17,458	13,02	9,261	5,284	2,967
León	27,5	33,049	26,743	19,195	14,304	10,18	5,852	3,342
Pachuca	27,5	31,617	25,61	18,403	13,721	9,765	5,593	3,168
Tulancingo	27,5	30,6	24,761	17,769	13,235	9,409	5,382	3,045
Queretaro	27,5	32,908	26,663	19,168	14,298	10,18	5,846	3,325
Guanajuato	27,5	31,633	25,568	18,323	13,638	9,696	5,562	3,17
Oaxaca	27,5	34,943	28,657	20,919	15,763	11,3	6,462	3,574
Iguala	27,5	40,362	33,15	24,251	18,311	13,17	7,589	4,254
Chilpancingo	27,5	37,065	30,443	22,266	16,804	12,07	6,918	3,838
Cuernavaca	27,5	35,146	28,682	20,809	15,619	11,17	6,411	3,599
Morelia	27,5	32,33	26,26	18,935	14,151	10,09	5,776	3,254
Veracruz	27,5	44,098	36,164	26,411	19,929	14,34	8,319	4,734
Huehuetla, Guan.	27,5	41,697	34,021	24,685	18,545	13,3	7,714	4,424
Zona 4								
Guadalajara	27,5	29,869	24,141	17,297	12,869	9,141	5,225	2,958
Mazatlán	27,5	37,885	30,603	21,924	16,329	11,64	6,754	3,941
Pto. Vallarta	27,5	38,171	31,108	22,534	16,904	12,1	6,985	3,977
Tepec	27,5	33,405	27,026	19,394	14,451	10,29	5,917	3,385
Colima	27,5	35,912	29,339	21,316	16,015	11,47	6,583	3,694

Manzanillo	27,5	38,567	31,605	23,053	17,37	12,47	7,176	4,027
Pto. Ángel	27,5	38,323	31,655	23,32	17,682	12,74	7,292	3,996
Acapulco	27,5	38,468	31,71	23,301	17,641	12,7	7,279	4,014
Uruapan	27,5	29,465	23,897	17,196	12,829	9,125	5,2	2,909
Laz. Cárdenas	27,5	38,554	31,693	23,208	17,531	12,61	7,239	4,025
Zamora	27,5	29,656	24,013	17,245	12,849	9,133	5,212	2,932
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	27,5	37,444	30,917	22,763	17,252	12,42	7,102	3,885
Villa Hermosa	27,5	39,883	32,683	23,841	17,968	12,91	7,443	4,193
Tapachula	27,5	39,386	32,571	24,031	18,242	13,16	7,537	4,13
Coatzacoalcos	27,5	40,116	32,883	23,996	18,089	13	7,496	4,223
Huixtla, Chiapas	27,5	40,517	33,645	24,954	19,009	13,75	7,866	4,274
Jaltipan de Morelos, Veracruz	27,5	39,731	32,587	23,796	17,946	12,9	7,43	4,174
Zona 6								
Mérida	27,5	35,905	29,006	20,78	15,473	11,02	6,373	3,693
Cancún	27,5	36,076	29,091	20,793	15,46	11	6,372	3,715
Chetumal	27,5	36,056	29,328	21,191	15,866	11,34	6,529	3,712
Campeche	27,5	35,915	29,129	20,971	15,664	11,18	6,447	3,695
Zona 7								

Tabla 5.38 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación DAH-Shunía para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ka.

Los márgenes por zonas hidrometeorológicas quedarían de la siguiente manera utilizando los modelos DAH -Shunía:

Zonas hidrometeorológicas		Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Zona 1	Tx	27,501	21,753	15,176	11,101	7,797	4,497	2,681
Noroccidente	Rx	13,675	10,614	7,222	5,183	3,753	2,010	1,176
Zona 2	Tx	22,211	17,519	12,169	8,865	6,196	3,535	2,073
Norte Centro	Rx	12,080	9,348	6,333	4,526	3,104	1,727	0,994
Zona 3	Tx	36,807	29,638	21,147	15,708	11,175	6,487	3,809
Golfo Norte	Rx	20,321	16,064	11,183	8,154	5,695	3,225	1,859
Zona 4	Tx	35,030	28,538	20,661	15,487	11,071	6,362	3,592
Centro	Rx	19,342	15,467	10,927	8,041	5,643	3,163	1,753
Zona 5	Tx	35,297	28,799	20,889	15,679	11,219	6,442	3,623
Pacífico Centro								

	Rx	19,273	15,43	10,918	8,040	5,646	3,162	1,745
Zona 6	Tx	39,513	32,547	23,897	18,084	13,023	7,479	4,146
Itsmo	Rx	21,753	17,587	12,6	9,358	6,614	3,707	2,017
Zona 7	Tx	35,988	29,138	20,933	15,615	11,135	6,430	3,703
Yucatán	Rx	20,019	15,917	11,16	8,174	5,723	3,226	1,824

Tabla 5.39 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas hidrometeorológicas de la República Mexicana obtenidos con la combinación DAH-Shunía .

De esta forma los márgenes mostrados en la tabla 5.39 , podrían ser utilizados para la realización de cálculos de enlace tierra-espacio en la banda de frecuencias **Ka** para futuros sistemas satelitales mexicanos .

Actualización de los márgenes de atenuación por lluvia de los satélites Mexicanos para la banda Ku

Si tomamos en cuenta los parámetros y modelos utilizados en el estudio realizado por el Ing. López Shunia tenemos que el modelo matemático empleado fue el modelo *Global de Crane* en combinación con los márgenes de precipitación pluvial mostrados en la tabla 5.36 .

Los valores de atenuación por lluvia calculados con estos dos modelos para una disponibilidad de 99.99% , 99.9% , 99.8% y 99.5% siendo 99.9% la disponibilidad mas alta utilizada por lo satélites mexicanos para un enlace ascendente y descendente sería :

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad			
		99.99%	99.9%	99.8%	99.5%
Tijuana	12,2	6,054	2,581	1,989	1,192
Mexicali	12,2	6,085	2,598	2,003	1,201
Hermosillo	12,2	5,871	2,467	1,891	1,12
La Paz, B.C.S.	12,2	5,797	2,38	1,809	1,051
Pto. Escondido	12,2	5,96	2,457	1,87	1,09
Ensenada	12,2	6,008	2,553	1,965	1,174
Santa Ana, B.C.	12,2	5,334	2,204	1,679	0,981
San José del Cabo	12,2	5,891	2,414	1,833	1,063
N.Casas Grandes, Chi.	12,2	4,34	1,76	1,331	0,765
Cerros Salsipuedes, B.C.	12,2	3,745	1,422	1,047	0,564
Zona 1					
Saltillo	12,2	3,728	1,443	0,741	0,334
Zacatecas	12,2	2,757	0,985	0,466	0,18
San L. Potosí	12,2	3,296	1,228	0,607	0,257
Aguascalientes	12,2	3,238	1,194	0,584	0,242
Culiacán	12,2	5,193	2,085	1,108	0,528
Durango	12,2	3,149	1,161	0,567	0,235
Cd. Victoria	12,2	4,984	2,016	1,078	0,518
Chihuahua	12,2	3,838	1,498	0,776	0,355
Monterrey	12,2	4,914	1,991	1,067	0,514
Cd. Juárez	12,2	4,024	1,601	0,844	0,397
Torreón	12,2	4,2	1,649	0,859	0,397
N. Laredo	12,2	5,337	2,205	1,201	0,593
Zona 2					
Tampico	12,2	8,648	6,284	4,685	2,861
Matamoros	12,2	8,728	6,368	4,768	2,934

Reynosa	12,2	8,662	6,316	4,725	2,905
Cd. Mante, Tamp.	12,2	8,523	6,187	4,608	2,809
Jalapa	12,2	6,266	4,479	3,284	1,941
Zona 3					
México DF	12,2	5,804	3,648	2,575	1,517
León	12,2	6,465	4,092	2,907	1,733
Pachuca	12,2	6,337	4,015	2,855	1,705
Tulancingo	12,2	6,072	3,837	2,722	1,619
Queretaro	12,2	6,645	4,217	3,003	1,798
Guanajuato	12,2	6,08	3,833	2,713	1,607
Oaxaca	12,2	7,172	4,574	3,272	1,975
Iguala	12,2	8,671	5,582	4,025	2,464
Chilpancingo	12,2	7,63	4,867	3,482	2,102
Cuernavaca	12,2	7,212	4,597	3,285	1,98
Morelia	12,2	6,373	4,022	2,85	1,691
Veracruz	12,2	10,13	6,62	4,833	3,023
Huehuetla, Guan.	12,2	9,372	6,091	4,427	2,749
Zona 4					
Guadalajara	12,2	5,646	4,352	2,916	1,637
Mazatlán	12,2	7,874	6,149	4,214	2,46
Pto. Vallarta	12,2	7,866	6,128	4,184	2,426
Tepic	12,2	6,461	5,006	3,384	1,929
Colima	12,2	7,161	5,558	3,769	2,161
Manzanillo	12,2	7,866	6,121	4,17	2,41
Pto. Ángel	12,2	8,024	6,272	4,306	2,52
Acapulco	12,2	7,906	6,162	4,21	2,444
Uruapan	12,2	5,501	4,234	2,829	1,581
Laz. Cárdenas	12,2	7,878	6,133	4,182	2,42
Zamora	12,2	5,583	4,302	2,88	1,615
Zona 5					
Tuxtla Gtrez.	12,2	8,016	5,302	3,836	1,801
Villa Hermosa	12,2	8,74	5,82	4,236	2,021
Tapachula	12,2	8,581	5,698	4,137	1,96
Coatzacoalcos	12,2	8,59	5,67	4,094	1,912
Huixtla, Chiapas	12,2	8,388	5,5	3,949	1,813
Jaltipan de Morelos, Veracruz	12,2	8,577	5,692	4,13	1,955
Zona 6					
Mérida	12,2	8,044	6,011	4,143	2,008
Cancún	12,2	8,108	6,075	4,202	2,053
Chetumal	12,2	8,02	5,991	4,127	1,998
Campeche	12,2	7,934	5,917	4,067	1,959
Zona 7					

Tabla 5.40 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación Crane-Shunia para la frecuencia descendente un enlace satelital en la banda Ku.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad			
		99.99%	99.9%	99.8%	99.5%
Tijuana	14,5	8,712	3,757	2,905	1,753
Mexicali	14,5	8,756	3,781	2,925	1,766
Hermosillo	14,5	8,447	3,59	2,762	1,647
La Paz, B.C.S.	14,5	8,339	3,465	2,643	1,546
Pto. Escondido	14,5	8,574	3,576	2,732	1,604
Ensenada	14,5	8,644	3,716	2,87	1,727
Santa Ana, B.C.	14,5	7,673	3,208	2,453	1,443
San José del Cabo	14,5	8,475	3,514	2,679	1,565
N.Casas Grandes, Chi.	14,5	6,244	2,562	1,945	1,126
Cerros Salsipuedes, B.C.	14,5	5,389	2,072	1,533	0,832
Zona 1					
Saltillo	14,5	5,373	2,106	1,091	0,498
Zacatecas	14,5	3,975	1,441	0,688	0,27
San L. Potosí	14,5	4,751	1,794	0,896	0,383
Aguascalientes	14,5	4,667	1,745	0,862	0,362
Culiacán	14,5	7,484	3,041	1,63	0,784
Durango	14,5	4,54	1,696	0,837	0,351
Cd. Victoria	14,5	7,184	2,941	1,586	0,77
Chihuahua	14,5	5,532	2,186	1,142	0,528
Monterrey	14,5	7,083	2,904	1,569	0,763
Cd. Juárez	14,5	5,8	2,336	1,242	0,59
Torreón	14,5	6,054	2,407	1,265	0,59
N. Laredo	14,5	7,694	3,216	1,766	0,88
Zona 2					
Tampico	14,5	12,39	9,041	6,767	4,16
Matamoros	14,5	12,51	9,164	6,887	4,266
Reynosa	14,5	12,41	9,089	6,826	4,223
Cd. Mante, Tamp.	14,5	12,21	8,902	6,656	4,084
Jalapa	14,5	8,974	6,444	4,744	2,824
Zona 3					
México DF	14,5	8,292	5,244	3,719	2,207
León	14,5	9,236	5,882	4,198	2,52
Pachuca	14,5	9,054	5,771	4,122	2,478
Tulancingo	14,5	8,674	5,516	3,931	2,354
Queretaro	14,5	9,493	6,061	4,335	2,613
Guanajuato	14,5	8,686	5,51	3,919	2,337
Oaxaca	14,5	10,25	6,575	4,724	2,87
Iguala	14,5	12,39	8,024	5,811	3,581
Chilpancingo	14,5	10,9	6,996	5,027	3,055
Cuernavaca	14,5	10,3	6,607	4,743	2,879

Morelia	14,5	9,105	5,782	4,116	2,459
Veracruz	14,5	14,48	9,516	6,977	4,392
Huehuetla, Guan.	14,5	13,39	8,756	6,392	3,993
Zona 4					
Guadalajara	14,5	8,091	6,258	4,215	2,384
Mazatlán	14,5	11,29	8,842	6,091	3,58
Pto. Vallarta	14,5	11,27	8,812	6,047	3,532
Tepic	14,5	9,26	7,198	4,891	2,81
Colima	14,5	10,26	7,992	5,448	3,147
Manzanillo	14,5	11,27	8,802	6,027	3,508
Pto. Ángel	14,5	11,5	9,02	6,224	3,669
Acapulco	14,5	11,33	8,861	6,085	3,558
Uruapan	14,5	7,883	6,088	4,091	2,303
Laz. Cárdenas	14,5	11,29	8,82	6,045	3,524
Zamora	14,5	8,001	6,186	4,164	2,352
Zona 5					
Tuxtla Gtrez.	14,5	11,48	7,635	5,548	2,631
Villa Hermosa	14,5	12,52	8,382	6,126	2,952
Tapachula	14,5	12,29	8,205	5,983	2,863
Coatzacoalcos	14,5	12,3	8,164	5,921	2,793
Huixtla, Chiapas	14,5	12,01	7,92	5,711	2,65
Jaltipan de Morelos, Veracruz	14,5	12,28	8,197	5,973	2,855
Zona 6					
Mérida	14,5	11,55	8,663	6	2,937
Cancún	14,5	11,64	8,756	6,086	3,002
Chetumal	14,5	11,51	8,633	5,977	2,921
Campeche	14,5	11,39	8,527	5,89	2,865
Zona 7					

Tabla 5.41 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación Crane-Shunía para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ku.

Los márgenes por zonas hidrometeorológicas que son utilizados en la actualidad son:

Zonas hidrometeorológicas		Disponibilidad		
		99.90%	99.80%	99.50%
Zona 1	Tx	3,50	3,00	1,50
Noroccidente	Rx	1,50	1,00	0,00
Zona 2	Tx	1,30	1,00	0,00
Norte Centro	Rx	0,00	0,00	0,00

Zona 3	Tx	9,20	6,80	3,60
Golfo Norte	Rx	7,20	4,80	1,60
Zona 4	Tx	6,30	4,20	2,20
Centro	Rx	4,30	2,20	0,20
Zona 5	Tx	8,50	5,90	3,60
Pacífico Centro	Rx	6,50	3,90	1,60
Zona 6	Tx	8,20	5,80	2,50
Itsmo	Rx	6,20	3,80	0,50
Zona 7	Tx	8,90	6,00	2,90
Yucatán	Rx	6,90	4,00	0,90

Tabla 5.42 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas hidrometeorológicas de la República Mexicana obtenidos con la combinación DAH-Shunia para la banda Ku actualmente utilizados .

Como ya mencionamos estos valores fueron los obtenidos en 1985 con el modelo matemático más utilizado y más exacto de hace 20 años junto con el modelo de precipitación pluvial calculado para México, Si tomamos en cuenta que el modelo DAH puede ser utilizado tanto para banda Ka como para banda Ku , podríamos actualizar los márgenes de atenuación por lluvia que son empleados hoy en día , con un modelo matemático mas actual y mas exacto que Global de Crane , pero de igual manera combinándolo con los valores de la tabla 5.36 , de esta forma los nuevos márgenes propuestos de atenuación por lluvia para distintas disponibilidades tanto para un enlace de subida como de bajada con la combinación Dah-Shunia para la banda Ku serían :

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	12,2	5,025	3,704	2,356	1,611	1,064	0,578	0,344
Mexicali	12,2	5,035	3,711	2,36	1,613	1,065	0,579	0,345
Hermosillo	12,2	4,991	3,716	2,393	1,648	1,093	0,591	0,341
La Paz, B.C.S.	12,2	5,255	3,981	2,62	1,831	1,226	0,657	0,363
Pto. Escondido	12,2	5,389	4,19	2,85	2,034	1,379	0,728	0,374
Ensenada	12,2	5,043	3,725	2,375	1,627	1,075	0,584	0,345
Santa Ana, B.C.	12,2	4,782	3,56	2,292	1,579	1,047	0,564	0,324
San José del Cabo	12,2	5,22	3,966	2,621	1,836	1,231	0,658	0,36
N.Casas Grandes, Chi.	12,2	3,755	2,76	1,747	1,189	0,78	0,418	0,242
Cerros Salsipuedes, B.C.	12,2	3,598	2,701	1,757	1,216	0,806	0,424	0,23

Zona 1								
Saltillo	12,2	3,434	2,553	1,64	1,126	0,742	0,392	0,217
Zacatecas	12,2	2,777	2,069	1,332	0,915	0,602	0,313	0,168
San L. Potosí	12,2	3,289	2,468	1,603	1,109	0,733	0,384	0,206
Aguascalientes	12,2	3,253	2,443	1,589	1,099	0,727	0,38	0,203
Culiacán	12,2	4,623	3,479	2,271	1,578	1,051	0,561	0,311
Durango	12,2	3,188	2,377	1,532	1,054	0,694	0,365	0,199
Cd. Victoria	12,2	4,627	3,489	2,283	1,588	1,059	0,564	0,311
Chihuahua	12,2	3,382	2,49	1,58	1,076	0,706	0,375	0,213
Monterrey	12,2	4,359	3,262	2,113	1,461	0,969	0,517	0,29
Cd. Juárez	12,2	3,574	2,612	1,643	1,113	0,728	0,39	0,228
Torreón	12,2	3,805	2,838	1,831	1,261	0,834	0,442	0,246
N. Laredo	12,2	4,669	3,482	2,246	1,549	1,027	0,552	0,315
Zona 2								
Tampico	12,2	6,994	5,366	3,591	2,54	1,719	0,929	0,513
Matamoros	12,2	6,87	5,208	3,433	2,405	1,617	0,88	0,502
Reynosa	12,2	6,816	5,163	3,4	2,38	1,6	0,871	0,497
Cd. Mante, Tamp.	12,2	6,916	5,297	3,537	2,498	1,689	0,914	0,506
Jalapa	12,2	5,642	4,336	2,907	2,056	1,387	0,739	0,395
Zona 3								
México DF	12,2	5,392	4,144	2,777	1,963	1,324	0,704	0,374
León	12,2	5,936	4,553	3,045	2,151	1,451	0,777	0,421
Pachuca	12,2	5,732	4,402	2,948	2,084	1,406	0,751	0,403
Tulancingo	12,2	5,563	4,268	2,855	2,016	1,359	0,725	0,389
Queretaro	12,2	5,927	4,552	3,049	2,156	1,456	0,779	0,42
Guanajuato	12,2	5,7	4,368	2,917	2,058	1,387	0,741	0,4
Oaxaca	12,2	6,307	4,903	3,335	2,383	1,62	0,863	0,452
Iguala	12,2	7,165	5,576	3,798	2,717	1,852	0,994	0,528
Chilpancingo	12,2	6,598	5,135	3,498	2,501	1,703	0,909	0,478
Cuernavaca	12,2	6,304	4,876	3,296	2,345	1,59	0,85	0,452
Morelia	12,2	5,798	4,463	2,998	2,124	1,435	0,765	0,409
Veracruz	12,2	7,92	6,156	4,189	2,996	2,044	1,104	0,596
Huehuetla, Guan.	12,2	7,476	5,782	3,908	2,783	1,892	1,022	0,556
Zona 4								
Guadalajara	12,2	5,181	3,964	2,643	1,862	1,252	0,666	0,357
Mazatlán	12,2	6,64	5,08	3,387	2,389	1,613	0,871	0,481
Pto. Vallarta	12,2	6,636	5,121	3,451	2,451	1,662	0,892	0,481
Tepic	12,2	5,874	4,502	3,007	2,122	1,431	0,766	0,415
Colima	12,2	6,26	4,843	3,274	2,329	1,58	0,844	0,448
Manzanillo	12,2	6,68	5,183	3,517	2,509	1,705	0,913	0,485
Pto. Ángel	12,2	6,793	5,316	3,647	2,62	1,789	0,953	0,495
Acapulco	12,2	6,726	5,251	3,591	2,574	1,755	0,936	0,489
Uruapan	12,2	5,085	3,904	2,613	1,846	1,243	0,659	0,349
Laz. Cárdenas	12,2	6,701	5,216	3,553	2,542	1,73	0,925	0,487
Zamora	12,2	5,142	3,942	2,634	1,858	1,25	0,664	0,354

Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	12,2	6,801	5,325	3,654	2,626	1,793	0,955	0,496
Villa Hermosa	12,2	7,231	5,618	3,82	2,729	1,859	0,999	0,534
Tapachula	12,2	7,137	5,596	3,848	2,769	1,894	1,011	0,525
Coatzacoalcos	12,2	7,068	5,488	3,728	2,662	1,812	0,973	0,519
Huixtla, Chiapas	12,2	7,077	5,565	3,841	2,771	1,898	1,01	0,52
Jaltipan de Morelos, Veracruz	12,2	7,142	5,553	3,778	2,701	1,84	0,988	0,526
Zona 6								
Mérida	12,2	6,63	5,082	3,395	2,399	1,621	0,874	0,481
Cancún	12,2	6,758	5,172	3,45	2,435	1,644	0,889	0,492
Chetumal	12,2	6,675	5,151	3,472	2,466	1,672	0,898	0,484
Campeche	12,2	6,588	5,068	3,402	2,41	1,631	0,877	0,477
Zona 7								

Tabla 5.43 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación DAH-Shunia para la frecuencia descendente un enlace satelital en la banda Ku.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	14,5	7,413	5,532	3,576	2,474	1,654	0,914	0,55
Mexicali	14,5	7,427	5,541	3,58	2,477	1,655	0,915	0,551
Hermosillo	14,5	7,399	5,576	3,649	2,545	1,709	0,938	0,549
La Paz, B.C.S.	14,5	7,943	6,095	4,081	2,889	1,959	1,068	0,598
Pto. Escondido	14,5	8,122	6,397	4,425	3,199	2,197	1,179	0,614
Ensenada	14,5	7,446	5,568	3,608	2,501	1,673	0,924	0,553
Santa Ana, B.C.	14,5	7,176	5,41	3,543	2,471	1,659	0,909	0,529
San José del Cabo	14,5	7,941	6,114	4,11	2,918	1,982	1,077	0,598
N.Casas Grandes, Chi.	14,5	5,691	4,237	2,729	1,882	1,251	0,681	0,4
Cerros Salsipuedes, B.C.	14,5	5,473	4,164	2,755	1,932	1,297	0,695	0,381
Zona 1								
Saltillo	14,5	5,21	3,924	2,564	1,784	1,191	0,64	0,359
Zacatecas	14,5	4,203	3,172	2,078	1,446	0,963	0,51	0,277
San L. Potosí	14,5	4,993	3,795	2,508	1,757	1,177	0,627	0,341
Aguascalientes	14,5	4,94	3,758	2,487	1,743	1,168	0,622	0,337
Culiacán	14,5	7,076	5,397	3,586	2,524	1,704	0,925	0,52
Durango	14,5	4,839	3,655	2,397	1,67	1,115	0,595	0,329
Cd. Victoria	14,5	6,979	5,33	3,547	2,5	1,688	0,915	0,511
Chihuahua	14,5	5,128	3,825	2,469	1,704	1,132	0,612	0,352
Monterrey	14,5	6,608	5,01	3,302	2,312	1,554	0,844	0,479
Cd. Juárez	14,5	5,414	4,008	2,564	1,76	1,166	0,635	0,376
Torreón	14,5	5,79	4,376	2,872	2,004	1,342	0,725	0,408
N. Laredo	14,5	6,921	5,225	3,426	2,392	1,605	0,877	0,506

Capítulo V: Cálculo de los márgenes de atenuación por lluvia para México

Zona 2								
Tampico	14,5	10,36	8,051	5,476	3,921	2,686	1,476	0,824
Matamoros	14,5	10,14	7,784	5,214	3,697	2,517	1,392	0,803
Reynosa	14,5	10,07	7,72	5,166	3,66	2,491	1,378	0,796
Cd. Mante, Tamp.	14,5	10,25	7,95	5,396	3,858	2,64	1,452	0,813
Jalapa	14,5	8,345	6,493	4,423	3,167	2,163	1,172	0,634
Zona 3								
México DF	14,5	8,022	6,241	4,251	3,043	2,077	1,123	0,605
León	14,5	8,797	6,831	4,642	3,32	2,267	1,234	0,676
Pachuca	14,5	8,476	6,589	4,485	3,209	2,192	1,189	0,646
Tulancingo	14,5	8,221	6,385	4,34	3,103	2,117	1,147	0,623
Queretaro	14,5	8,778	6,825	4,646	3,326	2,273	1,236	0,674
Guanajuato	14,5	8,441	6,547	4,443	3,174	2,165	1,176	0,643
Oaxaca	14,5	9,337	7,349	5,08	3,674	2,528	1,369	0,727
Iguala	14,5	10,65	8,39	5,809	4,208	2,903	1,584	0,851
Chilpancingo	14,5	9,799	7,721	5,346	3,87	2,667	1,447	0,77
Cuernavaca	14,5	9,346	7,318	5,027	3,621	2,486	1,35	0,727
Morelia	14,5	8,595	6,698	4,573	3,279	2,243	1,216	0,657
Veracruz	14,5	11,74	9,24	6,39	4,627	3,195	1,755	0,958
Huehuetla, Guan.	14,5	11,09	8,68	5,964	4,299	2,959	1,625	0,894
Zona 4								
Guadalajara	14,5	7,854	6,088	4,129	2,946	2,007	1,086	0,59
Mazatlán	14,5	9,887	7,659	5,191	3,708	2,535	1,391	0,779
Pto. Vallarta	14,5	9,899	7,735	5,3	3,812	2,616	1,428	0,78
Tepic	14,5	8,739	6,781	4,604	3,29	2,246	1,222	0,671
Colima	14,5	9,332	7,31	5,024	3,619	2,485	1,349	0,726
Manzanillo	14,5	9,973	7,835	5,405	3,904	2,687	1,463	0,787
Pto. Ángel	14,5	10,09	7,994	5,574	4,054	2,802	1,518	0,798
Acapulco	14,5	10,02	7,92	5,506	3,997	2,76	1,496	0,791
Uruapan	14,5	7,75	6,029	4,106	2,938	2,005	1,081	0,58
Laz. Cárdenas	14,5	9,996	7,878	5,457	3,952	2,724	1,48	0,789
Zamora	14,5	7,805	6,062	4,12	2,945	2,008	1,084	0,585
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	14,5	10,05	7,964	5,554	4,04	2,793	1,512	0,794
Villa Hermosa	14,5	10,69	8,408	5,809	4,202	2,897	1,582	0,856
Tapachula	14,5	10,55	8,375	5,852	4,264	2,952	1,601	0,842
Coatzacoalcos	14,5	10,52	8,267	5,709	4,128	2,844	1,552	0,839
Huixtla, Chiapas	14,5	10,55	8,4	5,894	4,305	2,985	1,616	0,842
Jaltipan de Morelos, Veracruz	14,5	10,58	8,326	5,758	4,167	2,873	1,567	0,845
Zona 6								
Mérida	14,5	9,755	7,567	5,137	3,673	2,512	1,377	0,766
Cancún	14,5	9,91	7,676	5,202	3,715	2,539	1,394	0,781
Chetumal	14,5	9,814	7,666	5,249	3,774	2,59	1,413	0,772
Campeche	14,5	9,707	7,558	5,156	3,697	2,533	1,384	0,761
Zona 7								

Tabla 5.44 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación DAH-Shunia para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ku.

Los nuevos márgenes por zonas hidrometeorológicas quedarían de la siguiente manera :

Zonas hidrometeorológicas		Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Zona 1	Tx	7,203	5,463	3,605	2,528	1,703	0,93	0,532
Noroccidente	Rx	4,809	3,601	2,337	1,618	1,076	0,578	0,326
Zona 2	Tx	5,675	4,289	2,816	1,966	1,317	0,710	0,399
Norte Centro	Rx	3,748	2,796	1,805	1,244	0,822	0,436	0,242
Zona 3	Tx	9,833	7,599	5,135	3,660	2,499	1,374	0,774
Golfo Norte	Rx	6,646	5,074	3,373	2,375	1,602	0,866	0,482
Zona 4	Tx	9,330	7,293	4,999	3,596	2,467	1,342	0,727
Centro	Rx	6,293	4,859	3,277	2,329	1,578	0,844	0,4521
Zona 5	Tx	9,213	7,208	4,946	3,560	2,443	1,327	0,716
Pacifico Centro	Rx	6,156	4,756	3,210	2,282	1,546	0,826	0,440
Zona 6	Tx	10,49	8,29	5,762	4,184	2,890	1,571	0,836
Itsmo	Rx	7,076	5,524	3,778	2,709	1,849	0,989	0,52
Zona 7	Tx	9,796	7,616	5,186	3,714	2,543	1,392	0,77
Yucatán	Rx	6,662	5,118	3,429	2,427	1,642	0,884	0,483

Tabla 5.45 Nuevos márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas hidrometeoro-lógicas de la República Mexicana obtenidos con la combinación DAH-Shunia .

En la tabla 5.45 podemos ver que a cada una de estas zonas geográficas le corresponde un margen por atenuación a diferentes confiabilidades, es notable que conforma la confiabilidad es menor , la diferencia entre una y otra en atenuación es de igual manera menor, Esto se debe a que los promedios de intensidad de precipitación tienden a ser iguales conforme el tiempo de lluvia aumenta. Así se puede hablar de márgenes promedio por precipitación , donde se está promediando durante un periodo en este caso de 35 años en el estudio

por zona geográfica , esto es cuando se habla de confiabilidades aproximadas al 95% en el caso de México .

Zonas hidrometeorológicas		Disponibilidad		
		99.9%	99.8%	99.5%
Zona 1	Tx	0.972	1.297	0.57
Noroccidente	Rx	0.118	0.076	0.578
Zona 2	Tx	0.666	0.317	0.710
Norte Centro	Rx	1.244	0.822	0.432
Zona 3	Tx	5.54	4.301	2.226
Golfo Norte	Rx	4.825	3.198	0.734
Zona 4	Tx	2.704	1.733	0.858
Centro	Rx	1.971	0.622	0.644
Zona 5	Tx	4.94	3.457	2.273
Pacífico Centro	Rx	4.218	2.354	0.774
Zona 6	Tx	4.016	2.91	0.929
Itsmo	Rx	3.491	1.951	0.489
Zona 7	Tx	5.186	3.457	1.508
Yucatán	Rx	4.473	2.358	0.016

Tabla 5.46 Diferencia en dB de los márgenes de atenuación actuales y los calculados con los modelos DAH-Shunía de las diferentes zonas hidrometeoro-lógicas de la República Mexicana .

En la tabla 5.46 podemos ver como la diferencias entre los márgenes actuales y los calculados con los modelos DAH-Shunía varían desde los 0.016 dB hasta los 5.54 dB , cabe mencionar que estos valores serían aun más exactos sino solo se actualizara el modelo matemático de atenuación por lluvia utilizado , también sería conveniente actualizar el modelo de precipitación pluvial con datos de los últimos 20 años para que de esta manera se tuvieran aproximaciones aún más confiables de esta atenuación.

Conclusiones.

De acuerdo a los estudios realizados en este trabajo y a los resultados arrojados por las diferentes combinaciones de modelos matemáticos podemos concluir que :

- El principal factor que contribuye en la atenuación de una señal electromagnética en la banda Ka es la lluvia , la presencia de esta en un enlace satelital puede provocar una calidad deficiente en la transmisión y en ocasiones puede interrumpir el enlace.
- Para conocer la contribución de la atenuación por lluvia en una ciudad determinada es necesario utilizar los datos más precisos posibles de las condiciones en que va a operar el sistema a diseñar como son la ubicación geográfica , la frecuencia y la zona de precipitación.
- Los modelos matemáticos empíricos basados en las curvas que coinciden con las gráficas obtenidas con los datos experimentalmente tiene mayor aproximación que los modelos teóricos.
- La atenuación por lluvia es mucho mayor en la banda Ka que en la banda Ku.
- Los valores de atenuación por lluvia obtenidos tanto para la banda Ku y Ka , podrían ser más exactos si se contara en México con los datos de precipitación pluvial para diferentes lapsos de tiempo con un histórico de por lo menos cincuenta y cinco años atrás .

- La diferencia máxima entre los márgenes de atenuación por lluvia actuales y los recalculados con los modelos matemáticos DAH-Shunía para la banda Ku es de 5 dB.
- Es recomendable actualizar los márgenes de atenuación por lluvia utilizados actualmente por los satélites mexicanos, empleando para ello modelos de predicción mas exactos y actuales .
- El modelo que mejor predice la atenuación por lluvia en la banda Ka es el modelo DAH combinado con el modelo de precipitación pluvial Global de Crane.
- La mejor predicción de atenuación por lluvia que se pueda calcular para México , esta dada por la combinación de modelos matemáticos DAH-Shunía
- La zona del país mas afectada por la atenuación por lluvia es la del Istmo y la de Yucatán .
- No existe un modelo matemático que pueda predecir en un 100% la atenuación por lluvia.
- La atenuación por lluvia es un factor muy importante para el diseño de un sistema de comunicaciones por satélite , ya que se tienen que tomar en cuenta estos márgenes de perdidas para un enlace tierra-espacio.
- No es posible establecer márgenes de atenuación por lluvia fijos para las diferentes zonas geográficas.
- Las características de la banda Ka sumado al progreso en las tecnologías de comunicaciones y a las necesidades que la misma

Bibliografía

- [1] Wayne Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Pearson Educations, 4ª Edición

 - [2] Rodolfo Nerí Vela, Comunicaciones por Satélite, Thomson , 1ª Edición

 - [3] Maral, G. Y Bousquet, M. , Satellite Communications System, 2ª Edición, Wiley & Sons, 1993

 - [4] Wayne Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Pearson Educations, 2ª Edición

 - [5] Roddy , D. , Satellite Communications, 3ª Ed. McGraw-Hill, 2001

 - [6] Wayne Tomasi, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Pearson Educations, 4ª Edición

 - [7] Rosado, C., Comunicaciones por Satélite, Limusa, México, 1999

 - [8] Caren, Robert K , Electromagnetic wave propagation through rain. Wiley series in remote sesing. New York: Wiley, 1996.

 - [9] R. Bauer, " Ka band propagation Measurements : Opportunity with the Advanced Communications Technology Satellite". IEEE Proc. Vol.85, 1997

 - [10] Rosado, C., Comunicaciones por Satélite, Limusa, México, 1999

 - [11] Maral, G. Y Bousquet, M. , Satellite Communications System, 2ª Edición, Wiley & Sons, 1993
-

-
- [12] Jordi Romeu, Antenas, Alfaomega , 2000
- [13] Miguel A. Méndez Morales, Sistemas de Comunicaciones espaciales , Teledato, obra 223, XII-1986
- [14] Miguel A. Méndez Morales, Sistemas de Comunicaciones espaciales , Teledato, obra 223, XII-1986
- [15] A. W. Dissanayake, J. E. Allnut y F. Haidara, " A prediction model that combines rain attenuation and other impairments along earth-space paths" IEEE trans . antennas Propagation, vol. 45, no. 10 , pp 1547 –1558, 1997.
- [16] A. Paraboni, "Testing of rain attenuations prediction methods against the measured data contained in the ITU-R data bank" , ITU-R Study Group 3 . Cocument, SR2-95/6, 1995
- [17] A. W. Dissanayake and N. J. McEwan , "Radar and attenuation properties of rain and bright band" , IEEE conf. Publ. 196-2, pp. 125-129, 1978.
- [18] Miguel A. Méndez Morales, Sistemas de Comunicaciones espaciales , Teledato, obra 223, XII-1986
- [19] Collier, Christopher , "Applications of weathwe radar system" , A guide to uses of radar sata in meteorology and hydrology, USA, 1996
- [20] A.W. Dissanayake, J. E. Allnut y F. Haidara, " A prediction model that combines rain attenuation and other impairments along earth-space paths" IEEE Trans. Antennas Propagation, vol. 45 , no. 10 , p 1574-1558, 1997
-

-
- [21] A.W. Dissanayake, J. E. Allnutt y F. Haidara, " A prediction model that combines rain attenuation and other impairments along earth-space paths" IEEE Trans. Antennas Propagation, vol. 45 , no. 10 , p 1574-1558, 1997
- [22] Olsen, R. L. Rogers, D. V. Y Hodge, D. B, The relation in the Calculation of rain Attenuation, IEEE Trans. Antennas and Propagation, AP-26, Marzo 1978
- [22] Davarian " ka band propagation research using ACTS " . Satellite Communications. Vol. 14 , pp 267-282. 1996
- [23] Chetty, P. R. K, Satellite Technology and its Applications, Tab Books, 1988
- [24] Balanis , C. A. Antenna Theory, Analysis and Design, 2ª edición , Wiley, 1997
- [25] Rodolfo Neri Vela, Comunicaciones por Satélite, Thomson , 1ª Edición
- [26] ITU-R Recommendation 618-4 , 1991
- [27] Olsen, R. L. Rogers, D. V. Y Hodge, D. B, The relation in the Calculation of rain Attenuation, IEEE Trans. Antennas and Propagation, AP-26, Marzo 1978
- [28] Crane, R.K. , Electromagnetics Wave Propagation Through Rain , John Wiley & Sons , 1996
- [29] A.W. Dissanayake, J. E. Allnutt y F. Haidara, " A prediction model that combines rain attenuation and other impairments along earth-space paths" IEEE Trans. Antennas Propagation, vol. 45 , no. 10 , p 1574-1558, 1997
- [30] Zhao Zhenwei, Lin Leke , " A prediction Model of Rain attenuation along
-

-
- earth-space path" , ,IEEE, 2003
- [31] A. García-López , "Simple Rain attenuation Prediction Method for Satellite Radios Links",IEEE Transactions, Vol 36,No3 , 1998
- [32] Joo Hwan Lee , "Real-time Estimation of Rain Attenuation on the Satellite Link" , IEEE , 2003
- [33] Robert K. Crane , ACTS Propagation Experiment: Experiment Desing , Calibration, and Data Preparation and Archival", Proceedings IEEE, Vol.85, No 6, 1997
- [34] R.Bauer. " Ka band propagation Measurements : an Opportunity with the Advanced Communications Technology Satellite " . IEEE Proc. Vol. 85 , pp. 810 –820 , 1977.
- [35] D.C. Cox and H. W. Arnold , "Results from the 19 and 28 GHZ COMSTAR Satellite propagation experiments at Crawford Hill", Proc. IEE, Vol. 70, pp. 458-488 , 1992.
- [36] D. V. Rogers, L. J. Ippolito, Jr and F. Davarian, " System requeriments for Ka band Earth – Satellite propagation Data " , Proc. IEEE, Vol 85, pp. 810-820 , 1997.
- [37] Landeros Ayala S. , Neri Vela R. Y Núñez Aceves I. " Cálculos de los márgenes de atenuación por lluvia para un futuro satélite mexicano en banda Ka" , Ingeniería LVII. 4 271-278 . Facultad de Ingeniería , UNAM. México, 1997 pp. 271-278.
- [38] P.L. Rice y N. R. Holmberger. " Cummulative time statics of surface point rainfall rate " IEEE trans. Communications, Vol 21 pp 1131 –1136 . Oct 1973.
-

-
- [39] R.K. Crane y Asoka W. Dissanayake. " ACTS Propagation Experiment: attenuation distribution observations and prediction model comparisons" Proc. IEEE, Vol. 85 , no. 6 , pp. 879-892, jun. 1997.
- [40] "Propagation data and prediction model required for Earth-Space telecommunications system" Recommendation ITU-R P.618-4, ITU-R Recommendations. P-Series Fascicle, ITU, Genova 1995.
- [41] R. K. Crane "Estimating risk of earth-satellite attenuation prediction", IEEE Proc. , vol. 81 , pp 905-913, 1993 .
- [42] Richard C. Reinhart, "System Desing and Applications of the Ultra Small Aperture with the advanced Communications Technology Satellite", Third Ka-band Utilization Conference, 15-18 Sep 1997, Sorrento, Italy, pp. 393-400.
- [43] T. Lentsh, C. Netzberg and O. Koudelka, "Picoterminal – A Portable Ka – Band System " , Second Ka-Band Utilization Conference, Florence, Italy, Sept, 1996, pp 121-127.
- [44] Michael A. Rugar, David R. Beering , David E. Brooks, Douglas J. Hoder, " A Ka – band High Data Rate Shipboard Satellite Terminal " , Fifth Ka-band Utilization Conference, 18-20 Oct 1999, Taormina, Italy, pp. 95-109.
- [45] L. J. Hipólito Jr. " Radiowave Propagation in Satellite Communications" . New York : Van Nostrand , 1986
- [46] Federal Commnunications Comisión , SPB-20, DA 95-1698, released July 28, 1995 .
-

-
- [47] Richard C. Reinhart " System Desing and Applications of the Ultra Small Aperture Terminal with the advanced Commnunications Technology Satellite " , Tirad Ka-band Utilization Conference, 15-18 Sept. 1997 , Sorrento, Italy, pp. 393-400.
- [48] J. Fikart, " RF Front End for a 20/30 GHZ Briefcase Terminal " , Second Ka-Band Utilization Conference, Florence , Italy, Sept. 1996, pp 141-148 .
- [49] T. Lentsh, C. Netzberg and O. Koudelka, " Picoterminal – A Portable Ka-Band System " , Second Ka- Band Utilization Conference, Florence, Italy, Sept. 1997, pp.385-392..
- [50] Rosado Rodríguez Carlos , Comunicaciones por Satelite , principio, tecnologías y sistemas , Limusa, México 1999
- [51] Davarian " Ka band propagation research using ACTS " . Satellite Commun. Vol 14, pp 267 –282 . 1996
- [52] R. Bauer " Ka band propagation Measurements: an Opportunity with the advanced Commnunications Technology Satellite ". IEEE Proc. Vol 85 , pp. 853-862 , 1997
- [53] Federal Communications Comision , SPB – 20 , DA 95-1689, released July 28, 1995.
- [54] D.C. Cox and H.W. Arnold, " Results from the 19 and 28 GHZ COMSTAR Satellite propagation experiments at Crawford Hill", Proc IEEE, Vol. 70 , pp.458-488 , 1992.
- [55] Jhon V. Evans " Porposed US Global Satellite Systems Operating at Ka Band " . Com. IEEE pp. 525-535.
-

-
- [56] D. V. , Rogers, L. J. Ippolito, Jr and F. Davarian " System requirements for ka-Band Earth-Satellite propagation Data ", Proc. IEEE, Vol. 85, pp. 810-820, 1997.
- [57] H. J. Liebe. Atmospheric Propagation Properties in the 10 to 75 GHz Region: Asurvey and Recommendations. ESSA Technical Report ERL 130-ITS 91 . Boulder Co. 1969
- [58] Professional Reference . Reference Data for Enginers: Radio, Electronics, Computes and Commnunication. Eighth Edition ,pp 27-38 .
- [59] P.L. Rice y H. R. Holmberg " Cummulative time statistics of sourface point rain models with three years of ka Band propagation data concurrently taken at eight different locations" Sorrento, Italy : Third Ka Band Utilization Conference , 1997 .
- [60] R. K. Crane, " Estimating risk of earth-satellite attenuation prediction" . IEEE Proc. , vol. 81, pp 905-913, 1993 .
- [L1] <http://www.satmex.com.mx>
- [L2] <http://www.satmex.com.mx/flota/morelos2.php>
- [L3] <http://www.satmex.com.mx/flota/solidaridad.php>
- [L4] <http://www.satmex.com.mx/flota/satmex5.php>
- [L5] <http://acts.grc.nasa.gov>
- [L6] <http://acts.grc.nasa.gov/library/>
-

MANUAL DE USUARIO

INTRODUCCIÓN

El software "PCALL-TE" (Programa para Calcular la atenuación por lluvia en un Enlace Tierra-Espacio), fue diseñado para obtener los cálculos de los diferentes modelos matemáticos empleados en esta tesis añadiendo un tutorial multimedia dirigido a las personas interesadas en este tema.

Este software fue realizado en el Leguaje de Programación Microsoft Visual Basic 6.0 conjuntamente con la Librería matemática Valt 2.0 .

Tiene una interfaz amigable y cuenta con ejemplos sencillos para que los usuarios puedan reafirmar sus conocimientos.

INSTALACIÓN DE "PCALL-TE "

Antes de comenzar

Antes de instalar el programa " PCALL-TE ", asegúrese de que su computadora cumpla con los siguientes requerimientos:

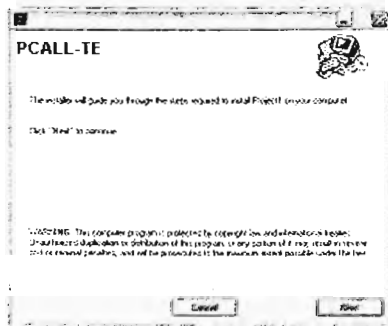
- Procesador 233 MHz o superior.
- 64 MB de RAM
- Suficiente espacio disponible en el disco duro. La cantidad de espacio necesaria varía según los requerimientos de algunos programas
- Monitor VGA o de mayor resolución
- Unidad CD-ROM o DVD-ROM
- Mouse

Para ejecutar el programa de instalación, se necesitará disponer del disco compacto de " PCALL-TE ".

Ejecutar la instalación

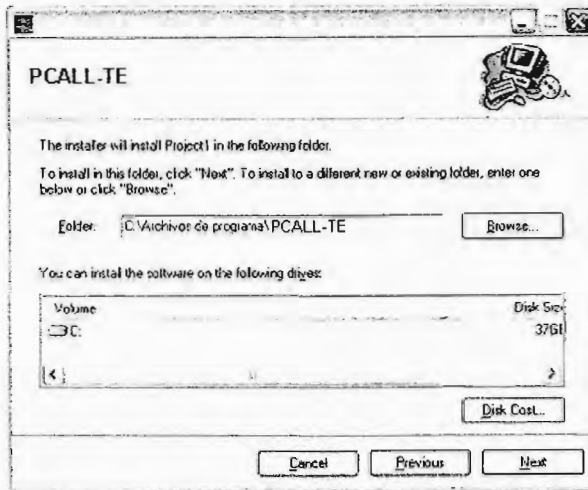
Puede instalar el programa "PCALL-TE " de la siguiente manera:

- 1.- Introduzca el disco compacto en el CD-ROM (este disco cuenta con un programa ejecutable, así que se iniciará automáticamente la instalación)

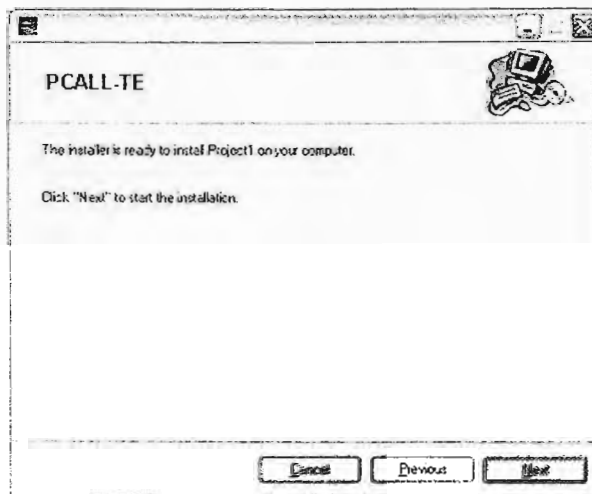


Aparecerá la pantalla anterior, de clic en el botón **Next** para continuar la instalación,

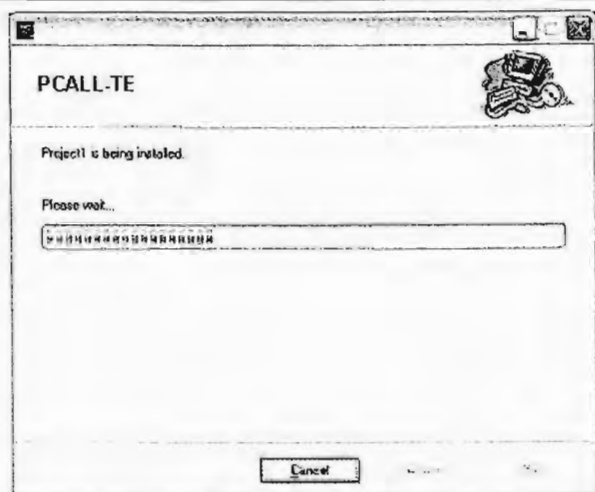
En esta pantalla se seleccionará la dirección donde serán instalados los componentes de PCALL-TE, la ruta seleccionada por defecto es C:\Archivos de programa\PCALL-TE\, puedes cambiar esta dirección escribiendo en la casilla **Folder** la dirección de tu elección.



Una vez seleccionada la ruta de instalación aparecerá la pantalla siguiente:



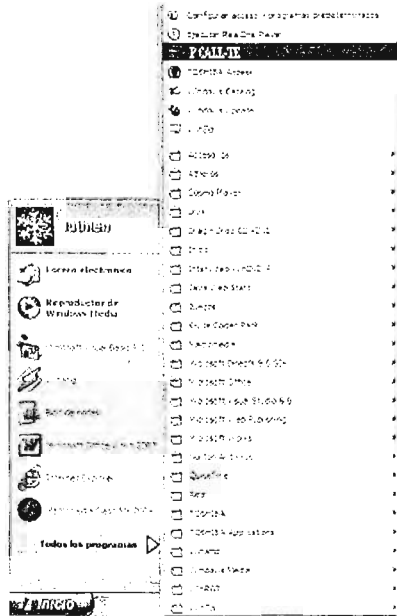
Presione NEXT para que comience la instalación en el disco duro como lo muestra la figura:



Al terminar la instalación aparecerá la siguiente pantalla de clic en CLOSE para terminar la instalación:



En el escritorio aparecerá el icono del tutorial ver figura :



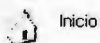
Al aparecer el icono "PCALL-TE" en el escritorio de Windows, el software estará totalmente instalado.

De doble clic en este y comenzará la ejecución del software, y con esto usted estará entrando a la interfaz gráfica del Programa para Calcular la atenuación por lluvia en un Enlace Tierra-Espacio.

Componentes de PCALL-TE








Botones:

Los botones utilizados en este software son:



Inicio

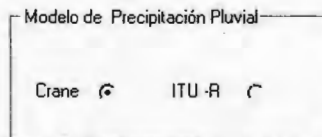
Su función es regresar al usuario al menú principal inmediato anterior.

 Teoría	Lleva al usuario al menú principal del Módulo Teoría .
 Ayuda	Orienta al Usuario respecto al funcionamiento del Software.
Entrar 	Introduce al usuario en el módulo, capítulo o tema seleccionado.
 Cálculos	Lleva al usuario al menú principal del Módulo Cálculos .
 Teoría del Tema	Muestra al usuario la teoría relacionada con el tema del modelo matemático en cuestión.
 Atrás	Botones de navegación.
Adelante 	
Calcular	Calcula el resultado de los valores introducidos por el usuario.

Selección Opcional.

Existen dos tipos de selección opcional dentro del software.

En esta opción solo se puede seleccionar una a la vez, de acuerdo a las reglas de cada cálculo.



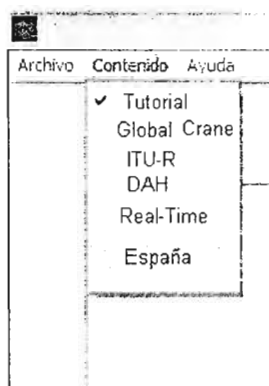
Este cuadro de diálogo solo puede seleccionar un tema del tutorial a la vez.

Selecciona un Tema :

- I. Que es Atenuación por lluvia
- II. Modelos de Precipitación Pluvial
- III. Modelo de Precipitación Global de Crane
- IV. Modelo de precipitación ITU-R
- V. Modelos Matemáticos para el Cálculo de la Atenuación
- VI. Modelo DAH
- VII. Modelo Global de Crane
- VIII. Modelo de España

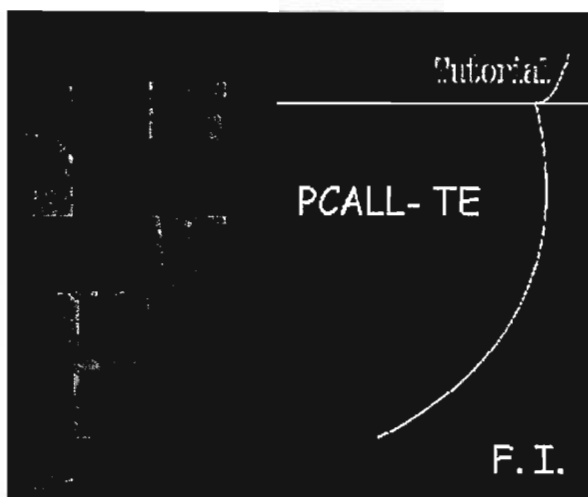
Accesos Rápidos.

Todas las pantallas del software cuentan con un Menú de acceso rápido el cual contiene las opciones que se muestran en la siguiente figura:

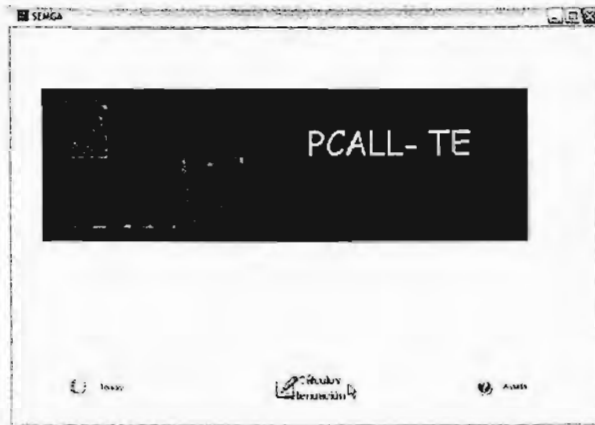


Trabajando con PCALL-TE

Una vez comenzada la ejecución de **PCALL-TE**, dará inicio la presentación del software,



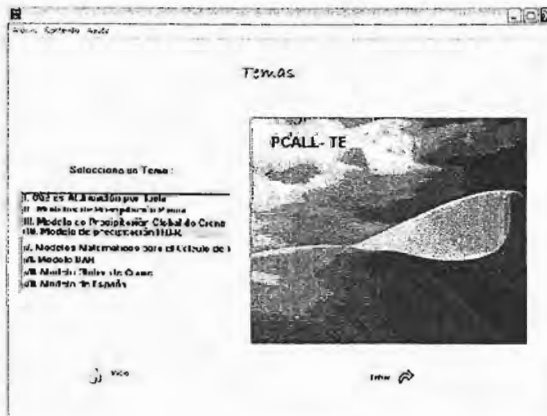
Después de que termine ésta, se mostrará el menú principal a través del cual el usuario puede ingresar a: **Tutorial, Cálculos de atenuación, Ayuda**; a continuación se explica como navegar dentro de cada módulo.



Selección de Módulos

Para Seleccionar el Módulo de tutorial damos clic en el icono *Temas*, este módulo contiene la teoría relacionada con los 7 subtemas relacionados con la atenuación por lluvia y los modelos matemáticos.

Una vez seleccionado este módulo, lea la pantalla de instrucción y de clic en siguiente.



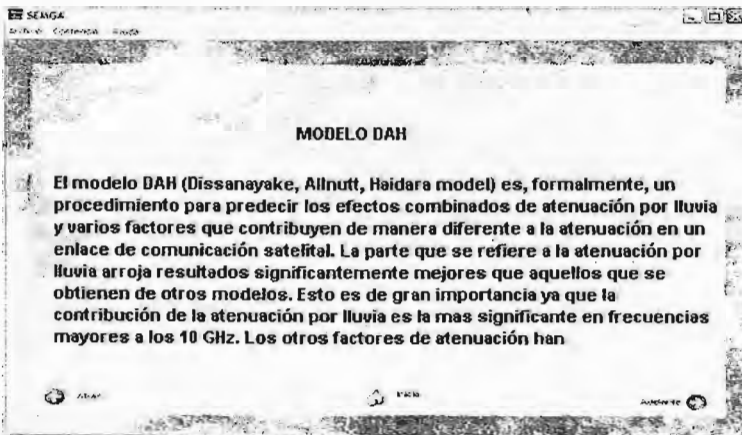
Aparecerá una lista con todos los temas que contiene el software, se deberá elegir un capítulo dando clic sobre él en la lista que aparece a la izquierda de la pantalla,

Selecciona un Tema :

- I. Que es Atenuación por lluvia
- II. Modelos de Precipitación Pluvial
- III. Modelo de Precipitación Global de Crane
- IV. Modelo de precipitación ITU-R
- V. Modelos Matematicos para el Cálculo de la Atenuación
- VI. Modelo DAH
- VII. Modelo Global de Crane
- VII. Modelo de España

Una vez seleccionado el tema, de clic en el botón **Entrar**, se mostrará una breve introducción acerca del contenido de los ejercicios relacionados con este tema.

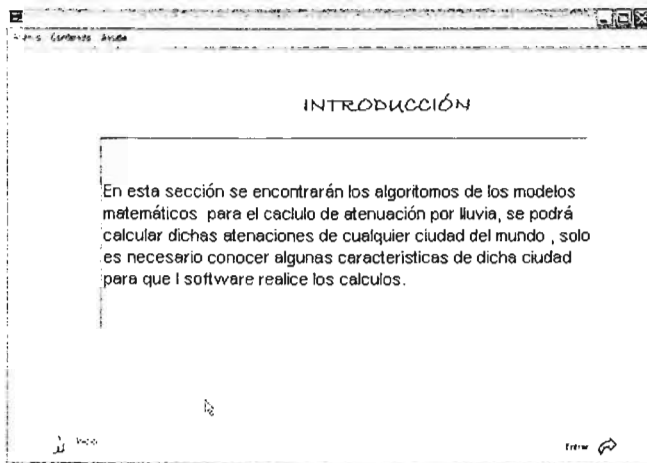
Supongamos que elegimos el Modelo DAH, de clic en entrar, y utilice los botones de navegación para desplazarse a través de este tema.



El funcionamiento de todos los módulos de Temas es similar al anterior, es decir, el usuario navega a través del tema de elección por medio de los botones de navegación.

Selección de Cálculos de Atenuación

Para Seleccionar el Módulo de cálculos de atenuación damos clic en el icono *Cálculos*, una vez seleccionado este módulo, lea la pantalla de instrucción y de clic en siguiente.



Aparecerá una lista con todos los temas que contiene el software, se deberá elegir un capítulo dando clic sobre él en la lista que aparece a la izquierda de la pantalla,

Selecciona un Tema :

- I. Que es Atenuación por lluvia
- II. Modelos de Precipitación Pluvial
- III. Modelo de Precipitación Global de Crane
- IV. Modelo de precipitación ITU-R
- V. Modelos Matematicos para el Cálculo de la Atenuación
- VI. Modelo DAH
- VII. Modelo Global de Crane
- VII. Modelo de España

Una vez seleccionado el tema de clic en el botón **Entrar**, y se mostrará una breve introducción acerca del contenido de los modelo matemáticos utilizados en la elaboración de este trabajo .

Spongamos que elegimos el modelo matemático Global de Crane, de clic en entrar, lea la introducción y oprima **Entrar** , mostrará la siguiente pantalla .

Archivo Contenido Ayuda

Datos

Ciudad

Nombre de la Ciudad

Altitud (Km.)

Longitud (°)

Latitud (°)

Datos del Satélite

Nombre del Satélite

Posición Orbital (°)

Frecuencia del enlace

Frecuencia GHz.

Modelo de Precipitación Pluvial

Crane ITU-R

Zona

Disponibilidad

Presentación de Resultados

Hoja de Excel

Archivo .TXT

En Pantalla

Calcular

Modelo de Precipitación

Porcentaje Anual	A	B	C	D ₁	D ₂	D ₃	E	F	G	H
0.001	28	54	80	90	102	127	164	66	120	251
0.002	24	40	62	72	86	107	144	51	109	220
0.005	19	26	41	50	64	81	117	14	85	178
0.01	15	19	28	37	49	63	98	23	67	147
0.02	12	14	18	27	35	48	77	14	51	115
0.05	8.0	9.5	11	16	22	31	52	8.0	33	77
0.1	5.5	6.8	7.2	1.1	15	22	3.5	5.5	22	51
0.2	4.0	4.8	4.8	7.5	9.5	14	21	3.2	14	31
0.5	2.5	2.7	2.8	4.0	5.2	7.0	8.5	1.2	7.0	13
1.0	1.7	1.8	1.9	2.2	3.8	4.0	4.0	0.8	3.7	6.4
2.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	2.5	2.0	0.4	1.6	2.8
Número de estaciones de datos	0	25	44	15	99	18	12	20	2	11

Mapa

Esta interfaz esta dividida en 6 partes , cada una de las cuales nos pedirán información acerca de los diferentes parámetros necesarios para dicho calculo de la atenuación.

Si nos interesa saber la atenuación por lluvia de un enlace Tierra – Espacio en la ciudad de Tijuana Baja California , necesitamos introducir en la sección **ciudad** los datos de altitud , longitud y latitud de esta , como se muestra en la siguiente figura .

Ciudad	
Nombre de la Ciudad	Tijuana BC
Altitud	0.02 (Km.)
Longitud	32.534 (°)
Latitud	117.043 (°)

El siguiente paso es introducir la información de la posición del satélite utilizado para dicho enlace , en nuestro caso supondremos que utilizaremos el satélite mexicano Satmex suponiendo que su posición orbital es de 116.8° O.

Datos del Saélite	
Nombre del Satélite	Satmex 5
Posición Orbital	116.8 (°)

Introducimos de igual manera la frecuencia del enlace :

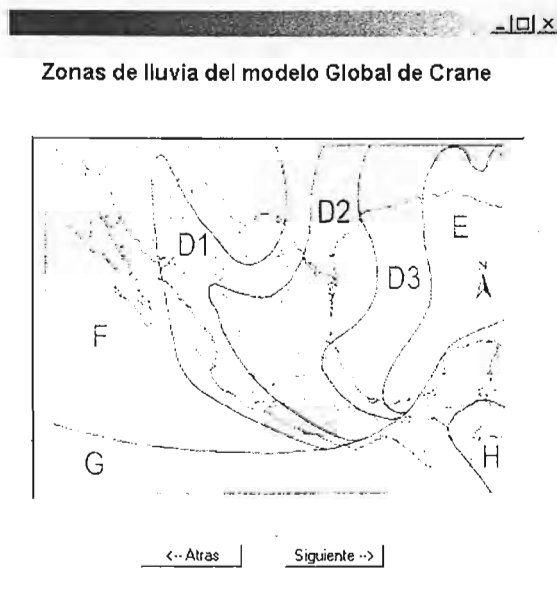
Frecuencia del enlace	
Frecuencia	20.2 GHz.

Así como el modelo de precipitación Pluvial que deseamos utilizar y el porcentaje de disponibilidad requerido para el enlace. Para saber en que zona se encuentra la ciudad que seleccionamos dar clic en el botón mapa y de acuerdo a la ubicación en la que se encuentra esta , observar en la tabla de distribuciones de precipitación pluvial e introducir este en la casilla como se muestra a continuación :

Modelo de Presipitación

Porcentaje Anual	A	B	C	D ₁	D ₂	D ₃	E	F	G	H
0.001	28	54	80	90	102	127	164	66	120	251
0.002	24	40	62	72	86	107	144	51	109	220
0.005	19	26	41	50	64	81	117	14	85	178
0.01	15	19	28	37	49	63	98	23	67	147
0.02	12	14	18	27	35	48	77	14	51	115
0.05	8.0	9.5	11	16	22	31	52	8.0	33	77
0.1	5.5	6.8	7.2	1.1	15	22	3.5	5.5	22	51
0.2	4.0	4.8	4.8	7.5	9.5	14	21	3.2	14	31
0.5	2.5	2.7	2.8	4.0	5.2	7.0	8.5	1.2	7.0	13
1.0	1.7	1.8	1.9	2.2	3.8	4.0	4.0	0.8	3.7	6.4
2.0	1.1	1.2	1.2	1.3	1.3	2.5	2.0	0.4	1.6	2.8
Número de estaciones de datos	0	25	44	15	99	18	12	20	2	11

Mapa



Modelo de Precipitación Pluvial

Crane ITU-R

Zona

Disponibilidad

Una vez introducidos todos los datos necesarios para el enlace, solo nos falta seleccionar como van a ser presentados los resultados.

Existen 3 maneras en las cuales el programa nos puede mostrar los cálculos hechos, pueden ser presentados en una hoja de Excel, en un archivo de texto o presentados en pantalla, elija la opción que desee y oprima el botón calcular. Si queremos que los resultados estén ordenados en una hoja de cálculo de Excel como se muestra en la siguiente figura

Presentación de los Resultados

Hoja de Excel

Archivo .TXT

En pantalla

PCALL-TE, creará un archivo de Excel con la información arrojada por el modelo matemático Global de Crane de atenuación por lluvia.

Microsoft Excel - dah_crane_20 [Sólo lectura]

Archivo Edición Ver Insertar Formato Herramientas Datos Ventana ?

156 =

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Tijuana	20,2	12,33	4.331	2,94	1,66	1,255	1.016
2	Mexicali	20,2	12,314	4.321	2,933	1,656	1,252	1.015
3	Hermosillo	20,2	12,23	4.427	3,019	1,693	1,263	1.006
4	La Paz	20,2	13,263	5,08	3,5	1,948	1,427	1,11
5	Pto. Escondido	20,2	13,043	5,482	3,831	2,089	1,469	1,088
6	Ensenada	20,2	12,386	4,377	2,974	1,677	1,265	1,022
7	Santa Ana, B	20,2	11,896	4,307	2,936	1,643	1,224	,973
8	San Jose del	20,2	13,272	5,137	3,545	1,969	1,436	1,111
9	Saltillo	20,2	14,331	5,475	3,775	2,113	1,556	1,219
10	Zacatecas	20,2	15,331	6,061	4,205	2,347	1,711	1,322
11	San L. Potos	20,2	17,548	7,082	4,94	2,768	2,017	1,556
12	Aguascalientes	20,2	17,524	7,091	4,947	2,771	2,017	1,554
13	Culiacan	20,2	18,748	7,404	5,151	2,912	2,151	1,686
14	Durango	20,2	17,086	6,74	4,682	2,632	1,934	1,507
15	Cd. Victoria	20,2	22,451	9,143	6,409	3,641	2,684	2,095
16	Chihuahua	20,2	9,495	3,367	2,28	1,263	,936	,741
17	Monterrey	20,2	17,308	6,726	4,663	2,632	1,947	1,531
18	Cd. Juarez	20,2	9,951	3,447	2,328	1,3	,976	,785
19	Torreon	20,2	15,723	6,057	4,187	2,353	1,737	1,363
20	N. Laredo	20,2	17,956	6,881	4,762	2,702	2,016	1,6
21	Tampico	20,2	23,671	9,846	6,931	3,933	2,883	2,234
22	Matamoros	20,2	22,788	9,093	6,356	3,63	2,702	2,133
23	Reynosa	20,2	22,642	9,01	6,294	3,595	2,678	2,117

Hoja1 / Hoja2 / Hoja3

Listo NUM

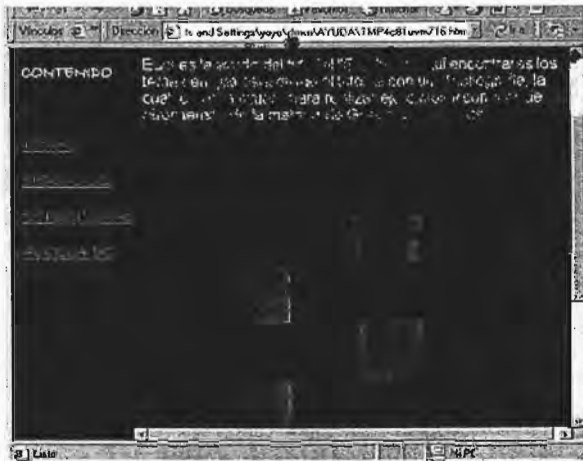
Selección de Ayuda

La ayuda es el principal origen de información acerca del Software Educativo, se encuentra disponible en cada pantalla principal del tutorial, y proporciona algunas referencias que existen en Internet sobre este tema .

Para abrir la ayuda

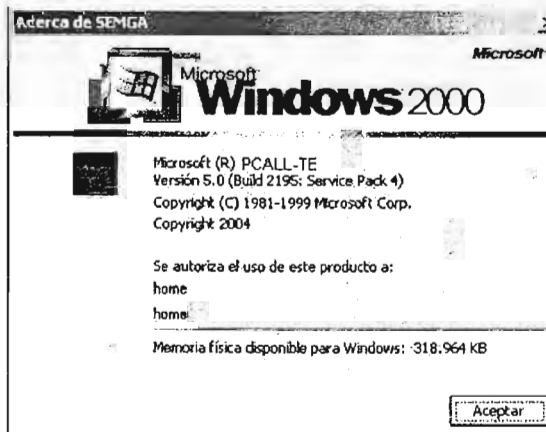
Dentro del software "PCALL-TE", existen dos formas de entrar a la AYUDA

Sobre las pantallas principales de TEMAS y CÁLCULOS, en el botón que dice ayuda haga clic y aparecerá la ayuda del tutorial, como se muestra en la siguiente figura.



Selección Acerca de

Al seleccionar ACERCA DE, aparecerá el nombre versión y año en el que fue creado el tutorial, ver figura.



Resultados obtenidos de las diferentes combinaciones de modelos de precipitación pluvial y modelos matemáticos de atenuación por lluvia para la banda Ku y Ka de las distintas ciudades de la Republica Mexicana.

Resultados de la combinación DAH – Crane

Los resultados obtenidos correspondientes al margen de atenuación para cada ciudad utilizando el modelo de atenuación DAH junto con el modelo de precipitación pluvial Global de Crane en función de la disponibilidad para la frecuencia descendente de la banda Ku se muestran en las tablas de la b.1 y b.2

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	12,2	3,873	2,832	1,782	1,208	0,791	0,426	0,2512
Mexicali	12,2	3,87	2,829	1,779	1,206	0,79	0,425	0,2509
Hermosillo	12,2	3,738	2,758	1,755	1,198	0,788	0,42	0,2406
La Paz, B.C.S.	12,2	3,947	2,965	1,929	1,337	0,887	0,469	0,2569
Pto. Escondido	12,2	3,888	3,003	2,023	1,433	0,964	0,5	0,2523
Ensenada	12,2	3,875	2,839	1,791	1,216	0,797	0,428	0,2513
Santa Ana, B.C.	12,2	3,605	2,66	1,693	1,156	0,76	0,404	0,2303
San José del Cabo	12,2	3,915	2,95	1,927	1,339	0,89	0,47	0,2545
N.Casas Grandes, Chi.	12,2	2,769	2,016	1,261	0,85	0,553	0,292	0,1675
Cerros Salsipuedes, B.C.	12,2	2,677	1,992	1,281	0,879	0,577	0,3	0,1608
Zona 1								
Saltillo	12,2	4,499	3,377	2,197	1,522	1,012	0,54	0,3009
Zacatecas	12,2	4,778	3,625	2,391	1,672	1,119	0,595	0,3236
San L. Potosí	12,2	5,585	4,267	2,839	1,998	1,345	0,719	0,3907
Aguascalientes	12,2	5,541	4,237	2,822	1,988	1,338	0,715	0,387
Culiacán	12,2	6,011	4,565	3,014	2,112	1,419	0,765	0,427
Durango	12,2	5,477	4,157	2,743	1,92	1,288	0,691	0,3816
Cd. Victoria	12,2	7,21	5,522	3,687	2,604	1,761	0,955	0,5318
Chihuahua	12,2	4,496	3,342	2,147	1,476	0,977	0,525	0,3007
Monterrey	12,2	5,599	4,228	2,772	1,933	1,293	0,697	0,3919
Cd. Juárez	12,2	3,004	2,184	1,364	0,919	0,598	0,318	0,1848
Torreón	12,2	4,998	3,763	2,458	1,709	1,14	0,611	0,3417
N. Laredo	12,2	5,847	4,395	2,866	1,992	1,331	0,721	0,4129

Zona 2								
Tampico	12,2	7,553	5,821	3,918	2,782	1,889	1,023	0,5625
Matamoros	12,2	7,394	5,626	3,727	2,619	1,767	0,964	0,5482
Reynosa	12,2	7,346	5,585	3,696	2,596	1,75	0,955	0,5439
Cd. Mante, Tamp.	12,2	7,482	5,755	3,864	2,739	1,858	1,007	0,556
Jalapa	12,2	7,338	5,701	3,876	2,769	1,887	1,015	0,5432
Zona 3								
México DF	12,2	4,992	3,835	2,569	1,815	1,222	0,647	0,3412
León	12,2	5,62	4,31	2,882	2,035	1,372	0,732	0,3936
Pachuca	12,2	5,362	4,119	2,758	1,949	1,314	0,699	0,372
Tulancingo	12,2	5,169	3,966	2,652	1,872	1,261	0,669	0,3558
Queretaro	12,2	5,596	4,298	2,879	2,035	1,373	0,732	0,3916
Guanajuato	12,2	5,344	4,093	2,732	1,926	1,297	0,69	0,3704
Oaxaca	12,2	5,951	4,632	3,155	2,255	1,533	0,813	0,4218
Iguala	12,2	6,908	5,382	3,672	2,629	1,792	0,958	0,505
Chilpancingo	12,2	6,285	4,897	3,339	2,389	1,625	0,865	0,4506
Cuernavaca	12,2	5,989	4,636	3,136	2,231	1,512	0,805	0,4251
Morelia	12,2	5,418	4,17	2,8	1,982	1,338	0,711	0,3766
Veracruz	12,2	9,008	7,05	4,839	3,482	2,388	1,295	0,6958
Huehuetla, Guan.	12,2	7,174	5,553	3,758	2,677	1,82	0,98	0,5286
Zona 4								
Guadalajara	12,2	4,585	3,501	2,326	1,634	1,096	0,579	0,3079
Mazatlán	12,2	6,136	4,687	3,118	2,196	1,479	0,796	0,4377
Pto. Vallarta	12,2	6,07	4,677	3,145	2,23	1,508	0,806	0,432
Tepic	12,2	5,245	4,01	2,67	1,88	1,264	0,673	0,3622
Colima	12,2	5,596	4,321	2,914	2,068	1,399	0,743	0,3917
Manzanillo	12,2	6,058	4,693	3,177	2,262	1,534	0,817	0,431
Pto. Ángel	12,2	6,127	4,796	3,29	2,362	1,61	0,852	0,4369
Acapulco	12,2	9,422	7,452	5,184	3,764	2,596	1,402	0,7346
Uruapan	12,2	5,802	4,481	3,022	2,146	1,453	0,773	0,4091
Laz. Cárdenas	12,2	6,049	4,703	3,198	2,284	1,551	0,824	0,4302
Zamora	12,2	4,536	3,47	2,311	1,626	1,091	0,576	0,3039
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	12,2	8,938	7,088	4,946	3,597	2,483	1,334	0,6893
Villa Hermosa	12,2	9,442	7,424	5,125	3,703	2,548	1,381	0,7365
Tapachula	12,2	9,35	7,425	5,191	3,78	2,613	1,406	0,7277
Coatzacoalcos	12,2	11,98	9,478	6,598	4,799	3,324	1,821	0,9816
Huixtla, Chiapas	12,2	9,453	7,523	5,274	3,848	2,662	1,432	0,7375
Jaltipan de Morelos, Veracruz	12,2	11,99	9,502	6,631	4,83	3,348	1,832	0,9823
Zona 6								
Mérida	12,2	9,497	7,385	5,029	3,602	2,465	1,346	0,7416
Cancún	12,2	9,595	7,451	5,065	3,624	2,479	1,356	0,7509
Chetumal	12,2	9,544	7,479	5,142	3,705	2,545	1,384	0,7461
Campeche	12,2	9,473	7,396	5,061	3,637	2,493	1,358	0,7394
Zona 7								

Tabla b.1 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación DAH-Crane para la frecuencia descendente un enlace satelital en la banda Ku.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	14,5	5,888	4,362	2,793	1,918	1,273	0,697	0,416
Mexicali	14,5	5,885	4,358	2,789	1,915	1,271	0,696	0,416
Hermosillo	14,5	5,697	4,259	2,758	1,908	1,271	0,69	0,4
La Paz, B.C.S.	14,5	6,042	4,599	3,046	2,138	1,438	0,775	0,43
Pto. Escondido	14,5	5,956	4,661	3,197	2,295	1,563	0,826	0,422
Ensenada	14,5	5,895	4,375	2,808	1,932	1,283	0,701	0,417
Santa Ana, B.C.	14,5	5,491	4,106	2,659	1,839	1,224	0,663	0,383
San José del Cabo	14,5	5,996	4,578	3,044	2,142	1,443	0,775	0,426
N.Casas Grandes, Chi.	14,5	4,192	3,092	1,967	1,344	0,885	0,476	0,276
Cerros Salsipuedes, B.C.	14,5	4,066	3,066	2,005	1,394	0,927	0,49	0,266
Zona 1								
Saltillo	14,5	6,854	5,213	3,45	2,423	1,632	0,886	0,5
Zacatecas	14,5	7,276	5,594	3,754	2,66	1,803	0,976	0,538
San L. Potosi	14,5	8,392	6,494	4,394	3,132	2,134	1,161	0,639
Aguascalientes	14,5	8,374	6,487	4,395	3,135	2,137	1,161	0,637
Culiacán	14,5	8,956	6,886	4,623	3,28	2,23	1,223	0,691
Durango	14,5	8,208	6,309	4,233	3,001	2,038	1,111	0,622
Cd. Victoria	14,5	10,73	8,318	5,645	4,037	2,765	1,524	0,859
Chihuahua	14,5	6,809	5,127	3,35	2,334	1,564	0,855	0,496
Monterrey	14,5	8,312	6,354	4,234	2,989	2,025	1,109	0,631
Cd. Juárez	14,5	4,55	3,351	2,129	1,454	0,958	0,518	0,305
Torreón	14,5	7,549	5,758	3,825	2,694	1,82	0,993	0,562
N. Laredo	14,5	8,664	6,593	4,369	3,074	2,079	1,145	0,664
Zona 2								
Tampico	14,5	11,25	8,782	6,008	4,32	2,97	1,635	0,91
Matamoros	14,5	10,97	8,451	5,69	4,048	2,765	1,533	0,883
Reynosa	14,5	10,9	8,39	5,643	4,012	2,739	1,519	0,876
Cd. Mante, Tamp.	14,5	11,15	8,682	5,926	4,254	2,921	1,61	0,9
Jalapa	14,5	10,92	8,592	5,937	4,296	2,963	1,62	0,878
Zona 3								
México DF	14,5	7,616	5,929	4,041	2,893	1,974	1,063	0,568
León	14,5	8,505	6,608	4,494	3,214	2,195	1,192	0,649
Pachuca	14,5	8,169	6,358	4,332	3,102	2,119	1,146	0,618
Tulancingo	14,5	7,888	6,133	4,173	2,985	2,037	1,1	0,593
Queretaro	14,5	8,479	6,598	4,496	3,22	2,2	1,193	0,647
Guanajuato	14,5	8,155	6,329	4,298	3,071	2,095	1,135	0,617

Oaxaca	14,5	9,01	7,105	4,923	3,565	2,454	1,324	0,696
Iguala	14,5	10,32	8,146	5,65	4,096	2,827	1,538	0,82
Chilpancingo	14,5	9,502	7,499	5,202	3,77	2,598	1,406	0,742
Cuernavaca	14,5	9,037	7,086	4,875	3,514	2,412	1,307	0,698
Morelia	14,5	8,286	6,462	4,416	3,168	2,166	1,171	0,629
Veracruz	14,5	13,45	10,66	7,437	5,419	3,764	2,075	1,129
Huehuetla, Guan.	14,5	10,7	8,387	5,769	4,162	2,865	1,568	0,856
Zona 4								
Guadalajara	14,5	7,009	5,422	3,666	2,61	1,773	0,954	0,514
Mazatlán	14,5	9,16	7,084	4,791	3,416	2,331	1,275	0,71
Pto. Vallarta	14,5	9,184	7,168	4,903	3,522	2,413	1,312	0,712
Tepic	14,5	8,043	6,232	4,223	3,013	2,053	1,112	0,607
Colima	14,5	8,603	6,733	4,62	3,324	2,278	1,232	0,658
Manzanillo	14,5	9,265	7,273	5,011	3,616	2,485	1,347	0,72
Pto. Ángel	14,5	9,316	7,388	5,156	3,751	2,591	1,395	0,725
Acapulco	14,5	14,13	11,32	8,008	5,888	4,114	2,259	1,199
Uruapan	14,5	8,844	6,921	4,75	3,418	2,344	1,269	0,681
Laz. Cárdenas	14,5	9,287	7,317	5,065	3,665	2,523	1,365	0,722
Zamora	14,5	6,933	5,374	3,642	2,597	1,766	0,948	0,507
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	14,5	13,33	10,7	7,59	5,59	3,906	2,134	1,116
Villa Hermosa	14,5	14,07	11,2	7,864	5,753	4,007	2,209	1,192
Tapachula	14,5	13,95	11,22	7,972	5,879	4,114	2,252	1,18
Coatzacoalcos	14,5	17,95	14,38	10,18	7,5	5,261	2,931	1,6
Huixtla, Chiapas	14,5	14,2	11,44	8,157	6,027	4,224	2,31	1,205
Jaltipan de Morelos, Veracruz	14,5	17,91	14,38	10,2	7,523	5,281	2,939	1,595
Zona 6								
Mérida	14,5	14,08	11,09	7,673	5,563	3,855	2,14	1,193
Cancún	14,5	14,19	11,15	7,704	5,58	3,863	2,148	1,204
Chetumal	14,5	14,16	11,23	7,847	5,725	3,981	2,2	1,201
Campeche	14,5	14,07	11,12	7,736	5,627	3,906	2,163	1,192
Zona 7								

Tabla b.2 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación DAH-Crane para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ku.

Resultados de la combinación DAH – ITU

Los márgenes de atenuación obtenidos con la combinación DAH – ITU , se muestran en las tablas b.3 y b.4.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	12,2	3,709	2,708	1,701	1,152	0,753	0,405	0,238
Mexicali	12,2	3,707	2,706	1,699	1,15	0,752	0,404	0,238
Hermosillo	12,2	3,581	2,639	1,676	1,143	0,75	0,4	0,228
La Paz, B.C.S.	12,2	3,784	2,838	1,844	1,276	0,846	0,447	0,244
Pto. Escondido	12,2	3,728	2,876	1,934	1,368	0,919	0,476	0,24
Ensenada	12,2	3,712	2,715	1,71	1,159	0,759	0,407	0,239
Santa Ana, B.C.	12,2	3,454	2,545	1,617	1,102	0,723	0,384	0,219
San José del Cabo	12,2	3,754	2,825	1,842	1,278	0,848	0,447	0,242
N.Casas Grandes, Chi.	12,2	2,65	1,927	1,203	0,81	0,526	0,277	0,159
Cerros Salsipuedes, B.C.	12,2	2,564	1,905	1,223	0,838	0,549	0,285	0,153
Zona 1								
Saltillo	12,2	6,908	5,255	3,479	2,444	1,647	0,895	0,505
Zacatecas	12,2	5,992	4,58	3,049	2,147	1,446	0,777	0,425
San L. Potosí	12,2	6,785	5,215	3,498	2,477	1,677	0,904	0,494
Aguascalientes	12,2	6,767	5,207	3,496	2,478	1,678	0,904	0,493
Culiacán	12,2	8,736	6,712	4,501	3,191	2,168	1,188	0,671
Durango	12,2	6,645	5,074	3,375	2,377	1,603	0,867	0,482
Cd. Victoria	12,2	8,576	6,603	4,44	3,153	2,144	1,172	0,656
Chihuahua	12,2	6,84	5,151	3,367	2,345	1,572	0,859	0,499
Monterrey	12,2	8,184	6,253	4,165	2,939	1,99	1,089	0,62
Cd. Juárez	12,2	7,061	5,273	3,411	2,361	1,577	0,869	0,519
Torreón	12,2	7,493	5,713	3,795	2,672	1,804	0,984	0,557
N. Laredo	12,2	8,516	6,477	4,289	3,016	2,039	1,122	0,65
Zona 2								
Tampico	12,2	8,969	6,949	4,71	3,363	2,295	1,252	0,692
Matamoros	12,2	8,784	6,72	4,483	3,167	2,148	1,18	0,675
Reynosa	12,2	8,729	6,672	4,447	3,14	2,128	1,17	0,67
Cd. Mante, Tamp.	12,2	8,887	6,872	4,647	3,312	2,259	1,233	0,684
Jalapa	12,2	7,338	5,701	3,876	2,769	1,887	1,015	0,543
Zona 3								
México DF	12,2	8,395	6,555	4,486	3,221	2,204	1,192	0,639
León	12,2	6,865	5,298	3,572	2,538	1,721	0,926	0,501
Pachuca	12,2	8,809	6,872	4,697	3,372	2,308	1,252	0,677
Tulancingo	12,2	8,569	6,679	4,561	3,271	2,237	1,212	0,655
Querétaro	12,2	9,099	7,096	4,849	3,48	2,384	1,296	0,704
Guanajuato	12,2	6,597	5,087	3,424	2,431	1,647	0,885	0,478
Oaxaca	12,2	9,623	7,604	5,284	3,834	2,644	1,431	0,754
Iguala	12,2	10,84	8,562	5,951	4,321	2,986	1,627	0,87
Chilpancingo	12,2	10,07	7,964	5,538	4,021	2,776	1,506	0,796
Cuernavaca	12,2	9,633	7,568	5,22	3,77	2,594	1,408	0,754
Morelia	12,2	8,942	6,991	4,792	3,446	2,362	1,281	0,69
Veracruz	12,2	11,76	9,281	6,441	4,674	3,233	1,772	0,96
Huehuetla, Guan.	12,2	11,18	8,778	6,05	4,37	3,012	1,652	0,903

Zona 4								
Guadalajara	12,2	9,542	7,453	5,104	3,669	2,516	1,371	0,746
Mazatlán	12,2	8,908	6,884	4,651	3,313	2,258	1,234	0,686
Pto. Vallarta	12,2	8,925	6,959	4,755	3,412	2,336	1,269	0,688
Tepic	12,2	7,951	6,158	4,171	2,975	2,026	1,097	0,598
Colima	12,2	11,1	8,754	6,071	4,403	3,042	1,662	0,895
Manzanillo	12,2	11,76	9,299	6,47	4,704	3,256	1,783	0,96
Pto. Ángel	12,2	11,87	9,481	6,683	4,899	3,409	1,855	0,97
Acapulco	12,2	11,82	9,418	6,613	4,835	3,359	1,831	0,966
Uruapan	12,2	9,442	7,404	5,095	3,674	2,524	1,371	0,736
Laz. Cárdenas	12,2	11,8	9,363	6,545	4,772	3,31	1,808	0,963
Zamora	12,2	9,493	7,431	5,103	3,674	2,523	1,372	0,741
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	12,2	11,25	8,988	6,332	4,638	3,224	1,749	0,91
Villa Hermosa	12,2	11,83	9,369	6,529	4,751	3,291	1,801	0,967
Tapachula	12,2	11,74	9,39	6,627	4,861	3,383	1,838	0,958
Coatzacoalcos	12,2	11,75	9,289	6,462	4,697	3,251	1,78	0,959
Huixtla, Chiapas	12,2	11,88	9,518	6,735	4,949	3,449	1,873	0,971
Jaltipan de Morelos, Veracruz	12,2	11,76	9,313	6,494	4,727	3,275	1,791	0,96
Zona 6								
Mérida	12,2	11,89	9,31	6,399	4,615	3,181	1,754	0,973
Cancún	12,2	12,01	9,393	6,445	4,644	3,199	1,766	0,985
Chetumal	12,2	11,96	9,435	6,547	4,752	3,287	1,804	0,979
Campeche	12,2	11,86	9,327	6,442	4,661	3,219	1,77	0,97
Zona 7								

Tabla b.3 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación DAH-ITU para la frecuencia descendente un enlace satelital en la banda Ku.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	14,5	5,637	4,17	2,665	1,828	1,211	0,662	0,395
Mexicali	14,5	5,634	4,167	2,662	1,825	1,209	0,661	0,395
Hermosillo	14,5	5,457	4,074	2,633	1,819	1,21	0,656	0,38
La Paz, B.C.S.	14,5	5,791	4,401	2,91	2,04	1,37	0,737	0,408
Pto. Escondido	14,5	5,709	4,462	3,055	2,19	1,49	0,786	0,401
Ensenada	14,5	5,645	4,184	2,68	1,841	1,221	0,667	0,396
Santa Ana, B.C.	14,5	5,259	3,926	2,538	1,753	1,166	0,63	0,363
San José del Cabo	14,5	5,747	4,382	2,908	2,044	1,375	0,737	0,404
N.Casas Grandes, Chi.	14,5	4,01	2,954	1,876	1,28	0,842	0,452	0,262
Cerros Salsipuedes, B.C.	14,5	3,892	2,931	1,913	1,328	0,882	0,466	0,253

Zona 1								
Saltillo	14,5	10,24	7,884	5,305	3,772	2,573	1,421	0,812
Zacatecas	14,5	8,891	6,879	4,654	3,319	2,263	1,235	0,685
San L. Potosí	14,5	10,09	7,849	5,351	3,836	2,629	1,441	0,797
Aguascalientes	14,5	10,07	7,842	5,353	3,841	2,634	1,442	0,796
Culiacán	14,5	13,02	10,13	6,906	4,958	3,411	1,899	1,086
Durango	14,5	9,868	7,629	5,157	3,678	2,511	1,38	0,777
Cd. Victoria	14,5	12,76	9,95	6,802	4,891	3,367	1,87	1,06
Chihuahua	14,5	10,11	7,705	5,118	3,609	2,449	1,36	0,8
Monterrey	14,5	12,15	9,4	6,363	4,546	3,116	1,734	0,999
Cd. Juárez	14,5	10,4	7,858	5,166	3,619	2,447	1,369	0,827
Torreón	14,5	11,12	8,588	5,797	4,132	2,826	1,566	0,898
N. Laredo	14,5	12,62	9,718	6,541	4,656	3,186	1,783	1,045
Zona 2								
Tampico	14,5	13,37	10,49	7,227	5,224	3,61	2,002	1,121
Matamoros	14,5	13,04	10,1	6,846	4,897	3,362	1,878	1,087
Reynosa	14,5	12,96	10,03	6,791	4,855	3,332	1,861	1,079
Cd. Mante, Tamp.	14,5	13,25	10,37	7,13	5,146	3,553	1,972	1,108
Jalapa	14,5	10,92	8,592	5,937	4,296	2,963	1,62	0,878
Zona 3								
México DF	14,5	12,49	9,878	6,871	4,996	3,462	1,902	1,033
León	14,5	10,22	7,986	5,473	3,937	2,704	1,479	0,81
Pachuca	14,5	13,11	10,35	7,195	5,229	3,624	1,999	1,095
Tulancingo	14,5	12,74	10,06	6,981	5,069	3,51	1,934	1,058
Queretaro	14,5	13,56	10,7	7,436	5,404	3,747	2,071	1,14
Guanajuato	14,5	9,815	7,662	5,243	3,768	2,585	1,411	0,772
Oaxaca	14,5	14,36	11,49	8,116	5,963	4,165	2,291	1,222
Iguala	14,5	16,22	12,98	9,171	6,744	4,72	2,615	1,415
Chilpancingo	14,5	15,07	12,06	8,529	6,271	4,385	2,418	1,295
Cuernavaca	14,5	14,38	11,44	8,021	5,866	4,086	2,256	1,224
Morelia	14,5	13,33	10,56	7,355	5,355	3,717	2,049	1,117
Veracruz	14,5	17,58	14,04	9,909	7,282	5,1	2,842	1,559
Huehuetla, Guan.	14,5	16,7	13,28	9,302	6,804	4,748	2,648	1,466
Zona 4								
Guadalajara	14,5	14,24	11,27	7,844	5,709	3,965	2,196	1,21
Mazatlán	14,5	13,31	10,41	7,151	5,159	3,561	1,978	1,114
Pto. Vallarta	14,5	13,37	10,55	7,332	5,328	3,694	2,04	1,12
Tepic	14,5	11,87	9,311	6,412	4,63	3,193	1,759	0,971
Colima	14,5	16,64	13,29	9,374	6,884	4,816	2,676	1,46
Manzanillo	14,5	17,66	14,14	10,01	7,366	5,165	2,875	1,568
Pto. Ángel	14,5	17,78	14,39	10,31	7,657	5,396	2,985	1,582
Acapulco	14,5	17,75	14,32	10,23	7,573	5,328	2,953	1,578
Uruapan	14,5	14,1	11,2	7,835	5,72	3,98	2,197	1,195
Laz. Cárdenas	14,5	17,72	14,24	10,12	7,476	5,252	2,917	1,574
Zamora	14,5	14,18	11,24	7,844	5,719	3,976	2,198	1,203

Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	14,5	16,79	13,58	9,726	7,214	5,078	2,8	1,476
Villa Hermosa	14,5	17,65	14,15	10,03	7,387	5,182	2,883	1,567
Tapachula	14,5	17,53	14,2	10,19	7,566	5,333	2,946	1,555
Coatzacoalcos	14,5	17,61	14,1	9,972	7,339	5,145	2,864	1,562
Huixtla, Chiapas.	14,5	17,85	14,49	10,43	7,761	5,478	3,025	1,589
Jaltipan de Morelos, Veracruz	14,5	17,56	14,09	9,988	7,362	5,165	2,872	1,558
Zona 6								
Mérida	14,5	17,64	13,99	9,771	7,135	4,978	2,789	1,566
Cancún	14,5	17,77	14,07	9,81	7,155	4,989	2,8	1,58
Chetumal	14,5	17,75	14,18	10	7,347	5,146	2,87	1,578
Campeche	14,5	17,63	14,04	9,855	7,219	5,047	2,821	1,565
Zona 7								

Tabla b.4 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación DAH-ITU para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ku.

Resultados de la combinación Zhao – Crane

Los márgenes de atenuación obtenidos con la combinación Zhao – Crane , se muestran en las tablas b.5 y b.6.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	12,2	5,295	3,621	2,062	1,3	0,813	0,474	0,394
Mexicali	12,2	5,311	3,631	2,067	1,303	0,815	0,475	0,396
Hermosillo	12,2	5,248	3,561	2,008	1,258	0,784	0,459	0,39
La Paz, B.C.S.	12,2	5,559	3,753	2,103	1,313	0,818	0,482	0,42
Pto. Escondido	12,2	5,761	3,873	2,159	1,344	0,836	0,496	0,44
Ensenada	12,2	5,299	3,619	2,057	1,296	0,81	0,472	0,395
Santa Ana, B.C.	12,2	5,117	3,467	1,951	1,221	0,76	0,444	0,377
San José del Cabo	12,2	5,57	3,756	2,101	1,311	0,815	0,482	0,421
N.Casas Grandes, Chi.	12,2	4,411	2,975	1,665	1,036	0,642	0,371	0,311
Cerros Salsipuedes, B.C.	12,2	4,096	2,724	1,496	0,92	0,565	0,327	0,282
Zona 1								
Saltillo	12,2	5,561	3,768	2,121	1,328	0,828	0,488	0,42
Zacatecas	12,2	5,41	3,645	2,038	1,27	0,789	0,465	0,405
San L. Potosí	12,2	6,251	4,239	2,39	1,499	0,938	0,558	0,489
Aguascalientes	12,2	6,258	4,24	2,388	1,497	0,936	0,557	0,49
Culiacán	12,2	7,066	4,828	2,749	1,737	1,094	0,654	0,574

Durango	12,2	6,254	4,247	2,398	1,506	0,943	0,56	0,49
Cd. Victoria	12,2	7,963	5,477	3,146	2	1,267	0,763	0,671
Chihuahua	12,2	5,721	3,895	2,206	1,387	0,868	0,51	0,436
Monterrey	12,2	6,538	4,466	2,541	1,604	1,008	0,599	0,519
Cd. Juárez	12,2	4,627	3,136	1,765	1,104	0,685	0,397	0,331
Torreón	12,2	6,06	4,119	2,329	1,463	0,916	0,542	0,47
N. Laredo	12,2	6,82	4,682	2,682	1,7	1,072	0,638	0,548
Zona 2								
Tampico	12,2	8,297	5,711	3,283	2,089	1,326	0,801	0,708
Matamoros	12,2	8,185	5,659	3,272	2,09	1,329	0,799	0,696
Reynosa	12,2	8,165	5,645	3,263	2,083	1,324	0,797	0,694
Cd. Mante, Tamp.	12,2	8,239	5,669	3,258	2,073	1,315	0,794	0,702
Jalapa	12,2	7,841	5,369	3,066	1,942	1,227	0,74	0,658
Zona 3								
México DF	12,2	5,595	3,766	2,103	1,31	0,815	0,482	0,424
León	12,2	6,355	4,306	2,425	1,52	0,951	0,567	0,5
Pachuca	12,2	6,003	4,058	2,279	1,425	0,89	0,528	0,464
Tulancingo	12,2	5,774	3,897	2,184	1,364	0,85	0,503	0,441
Queretaro	12,2	6,306	4,271	2,404	1,507	0,942	0,561	0,495
Guanajuato	12,2	6,049	4,09	2,297	1,437	0,897	0,533	0,469
Oaxaca	12,2	6,627	4,491	2,531	1,588	0,994	0,595	0,528
Iguala	12,2	7,805	5,327	3,03	1,914	1,208	0,73	0,654
Chilpancingo	12,2	7,147	4,854	2,743	1,725	1,084	0,652	0,583
Cuernavaca	12,2	6,741	4,574	2,581	1,621	1,016	0,608	0,54
Morelia	12,2	6,166	4,166	2,338	1,462	0,913	0,543	0,481
Veracruz	12,2	9,724	6,726	3,892	2,49	1,59	0,971	0,872
Huehuetla, Guan.	12,2	7,956	5,453	3,118	1,977	1,25	0,755	0,671
Zona 4								
Guadalajara	12,2	5,738	3,865	2,16	1,347	0,838	0,497	0,438
Mazatlán	12,2	7,188	4,905	2,788	1,76	1,108	0,665	0,587
Pto. Vallarta	12,2	7,331	4,992	2,83	1,783	1,122	0,675	0,603
Tepic	12,2	6,431	4,357	2,454	1,539	0,963	0,574	0,508
Colima	12,2	6,964	4,725	2,666	1,674	1,051	0,631	0,564
Manzanillo	12,2	7,477	5,087	2,881	1,815	1,142	0,689	0,618
Pto. Ángel	12,2	7,306	4,969	2,813	1,771	1,114	0,67	0,6
Acapulco	12,2	10,51	7,26	4,196	2,684	1,715	1,056	0,965
Uruapan	12,2	6,644	4,501	2,535	1,59	0,996	0,596	0,53
Laz. Cárdenas	12,2	7,495	5,097	2,886	1,817	1,144	0,69	0,62
Zamora	12,2	5,681	3,823	2,134	1,329	0,827	0,49	0,432
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	12,2	9,353	6,452	3,721	2,375	1,512	0,922	0,828
Villa Hermosa	12,2	9,96	6,906	4,009	2,571	1,644	1,005	0,899
Tapachula	12,2	9,829	6,795	3,931	2,514	1,605	0,982	0,884
Coatzacoalcos	12,2	13,12	9,175	5,389	3,488	2,255	1,405	1,288
Huixtla, Chiapas	12,2	10,61	7,322	4,226	2,701	1,726	1,065	0,977
Jaltipan de Morelos, Veracruz	12,2	12,75	8,928	5,251	3,401	2,198	1,365	1,241

Zona 6								
Mérida	12,2	9,761	6,806	3,979	2,562	1,642	0,998	0,876
Cancún	12,2	9,688	6,776	3,976	2,567	1,647	0,999	0,867
Chetumal	12,2	9,716	6,765	3,948	2,539	1,626	0,989	0,871
Campeche	12,2	9,8	6,819	3,976	2,557	1,637	0,997	0,88
Zona 7								

Tabla b.5 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación Zhao- Crane para la frecuencia descendente un enlace satelital en la banda Ku.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	14,5	6,216	4,314	2,504	1,602	1,017	0,604	0,51
Mexicali	14,5	6,234	4,325	2,51	1,606	1,02	0,606	0,512
Hermosillo	14,5	6,116	4,21	2,419	1,537	0,972	0,579	0,499
La Paz, B.C.S.	14,5	6,432	4,403	2,514	1,591	1,005	0,604	0,533
Pto. Escondido	14,5	6,597	4,495	2,551	1,61	1,015	0,613	0,551
Ensenada	14,5	6,215	4,307	2,496	1,595	1,012	0,602	0,51
Santa Ana, B.C.	14,5	5,952	4,09	2,346	1,489	0,94	0,56	0,482
San José del Cabo	14,5	6,427	4,394	2,504	1,583	0,999	0,601	0,533
N.Casas Grandes, Chi.	14,5	5,093	3,483	1,985	1,253	0,786	0,463	0,393
Cerros Salsipuedes, B.C.	14,5	4,67	3,146	1,759	1,096	0,682	0,402	0,351
Zona 1								
Saltillo	14,5	6,51	4,475	2,568	1,632	1,033	0,619	0,542
Zacatecas	14,5	6,365	4,352	2,481	1,569	0,99	0,595	0,526
San L. Potosí	14,5	7,354	5,062	2,91	1,852	1,176	0,713	0,635
Aguascalientes	14,5	7,361	5,061	2,907	1,849	1,174	0,712	0,636
Culiacán	14,5	8,331	5,778	3,355	2,151	1,375	0,839	0,747
Durango	14,5	7,362	5,073	2,921	1,861	1,183	0,716	0,636
Cd. Victoria	14,5	9,447	6,597	3,866	2,495	1,605	0,986	0,881
Chihuahua	14,5	6,722	4,644	2,682	1,711	1,086	0,651	0,565
Monterrey	14,5	7,708	5,344	3,101	1,987	1,267	0,768	0,675
Cd. Juárez	14,5	5,375	3,694	2,118	1,343	0,846	0,499	0,422
Torreón	14,5	7,113	4,907	2,828	1,803	1,145	0,691	0,608
N. Laredo	14,5	8,073	5,627	3,287	2,116	1,355	0,821	0,717
Zona 2								
Tampico	14,5	9,847	6,881	4,036	2,607	1,68	1,035	0,93
Matamoros	14,5	9,744	6,841	4,036	2,617	1,689	1,037	0,917
Reynosa	14,5	9,719	6,822	4,024	2,609	1,684	1,033	0,914
Cd. Mante, Tamp.	14,5	9,777	6,83	4,004	2,586	1,665	1,026	0,921
Jalapa	14,5	9,286	6,454	3,76	2,417	1,551	0,954	0,861
Zona 3								
México DF	14,5	6,587	4,5	2,562	1,62	1,022	0,616	0,55

León	14,5	7,474	5,14	2,952	1,878	1,192	0,724	0,649
Pachuca	14,5	7,06	4,844	2,773	1,76	1,115	0,675	0,602
Tulancingo	14,5	6,792	4,652	2,658	1,684	1,065	0,643	0,572
Queretaro	14,5	7,417	5,098	2,926	1,861	1,181	0,717	0,642
Guanajuato	14,5	7,114	4,881	2,795	1,774	1,124	0,681	0,608
Oaxaca	14,5	7,794	5,361	3,08	1,961	1,246	0,76	0,685
Iguala	14,5	9,2	6,373	3,696	2,37	1,518	0,935	0,851
Chilpancingo	14,5	8,407	5,795	3,339	2,131	1,358	0,833	0,756
Cuernavaca	14,5	7,93	5,46	3,142	2,002	1,274	0,777	0,701
Morelia	14,5	7,252	4,973	2,846	1,806	1,144	0,695	0,624
Veracruz	14,5	11,57	8,129	4,8	3,118	2,021	1,26	1,148
Huehuetla, Guan.	14,5	9,412	6,548	3,819	2,458	1,578	0,971	0,876
Zona 4								
Guadalajara	14,5	6,691	4,572	2,604	1,647	1,04	0,628	0,561
Mazatlán	14,5	8,462	5,86	3,397	2,176	1,391	0,85	0,763
Pto. Vallarta	14,5	8,602	5,943	3,435	2,196	1,402	0,86	0,779
Tepic	14,5	7,521	5,17	2,968	1,888	1,199	0,729	0,654
Colima	14,5	8,143	5,604	3,223	2,054	1,307	0,8	0,725
Manzanillo	14,5	8,759	6,046	3,491	2,231	1,425	0,876	0,798
Pto. Ángel	14,5	8,56	5,907	3,409	2,178	1,39	0,853	0,774
Acapulco	14,5	12,48	8,755	5,162	3,352	2,175	1,367	1,267
Uruapan	14,5	7,814	5,372	3,085	1,964	1,248	0,761	0,687
Laz. Cárdenas	14,5	8,774	6,054	3,494	2,232	1,425	0,877	0,8
Zamora	14,5	6,624	4,522	2,573	1,626	1,026	0,619	0,554
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	14,5	11,12	7,785	4,58	2,968	1,919	1,194	1,089
Villa Hermosa	14,5	11,87	8,36	4,953	3,225	2,094	1,306	1,187
Tapachula	14,5	11,7	8,21	4,845	3,147	2,04	1,273	1,164
Coatzacoalcos	14,5	15,68	11,14	6,677	4,389	2,881	1,833	1,706
Huixtla, Chiapas	14,5	12,59	8,819	5,193	3,37	2,186	1,375	1,281
Jaltipan de Morelos, Veracruz	14,5	15,26	10,85	6,512	4,284	2,812	1,783	1,646
Zona 6								
Mérida	14,5	11,67	8,264	4,931	3,225	2,099	1,303	1,16
Cancún	14,5	11,6	8,238	4,934	3,235	2,109	1,305	1,151
Chetumal	14,5	11,61	8,209	4,889	3,194	2,077	1,29	1,152
Campeche	14,5	11,71	8,272	4,923	3,214	2,09	1,299	1,165
Zona 7								

Tabla b.6 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación Zhao- Crane para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ku.

Resultados de la combinación Zhao – ITU

Los márgenes de atenuación obtenidos con la combinación Zhao – ITU , se muestran en las tablas b.7 y b.8.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	12,2	5,172	3,533	2,009	1,265	0,791	0,46	0,382
Mexicali	12,2	5,187	3,543	2,014	1,268	0,793	0,461	0,384
Hermosillo	12,2	5,132	3,479	1,959	1,226	0,763	0,446	0,378
La Paz, B.C.S.	12,2	5,443	3,671	2,055	1,282	0,797	0,47	0,409
Pto. Escondido	12,2	5,648	3,794	2,113	1,314	0,816	0,484	0,429
Ensenada	12,2	5,177	3,532	2,005	1,261	0,788	0,459	0,383
Santa Ana, B.C.	12,2	5,004	3,388	1,904	1,19	0,74	0,432	0,366
San José del Cabo	12,2	5,456	3,675	2,054	1,28	0,795	0,469	0,41
N.Casas Grandes, Chi.	12,2	4,316	2,909	1,625	1,011	0,625	0,361	0,302
Cerros Salsipuedes, B.C.	12,2	4,007	2,662	1,46	0,897	0,55	0,318	0,274
Zona 1								
Saltillo	12,2	7,648	5,259	3,019	1,918	1,214	0,729	0,637
Zacatecas	12,2	6,379	4,331	2,445	1,536	0,962	0,572	0,503
San L. Potosí	12,2	7,305	4,99	2,84	1,794	1,131	0,679	0,6
Aguascalientes	12,2	7,316	4,993	2,839	1,792	1,129	0,678	0,601
Culiacán	12,2	9,686	6,715	3,897	2,498	1,596	0,973	0,867
Durango	12,2	7,306	4,997	2,849	1,801	1,136	0,681	0,6
Cd. Victoria	12,2	9,28	6,428	3,727	2,386	1,523	0,925	0,82
Chihuahua	12,2	7,885	5,448	3,146	2,008	1,275	0,765	0,663
Monterrey	12,2	8,989	6,231	3,615	2,315	1,477	0,895	0,787
Cd. Juárez	12,2	8,312	5,787	3,375	2,168	1,383	0,83	0,71
Torreón	12,2	8,318	5,737	3,307	2,108	1,339	0,808	0,711
N. Laredo	12,2	9,411	6,557	3,83	2,464	1,578	0,956	0,835
Zona 2								
Tampico	12,2	9,664	6,698	3,887	2,491	1,592	0,97	0,864
Matamoros	12,2	9,556	6,655	3,884	2,498	1,6	0,971	0,852
Reynosa	12,2	9,533	6,637	3,873	2,49	1,594	0,968	0,849
Cd. Mante, Tamp.	12,2	9,597	6,65	3,857	2,471	1,579	0,962	0,857
Jalapa	12,2	7,841	5,369	3,066	1,942	1,227	0,74	0,658
Zona 3								
México DF	12,2	8,709	5,983	3,432	2,182	1,384	0,841	0,755
León	12,2	7,427	5,068	2,882	1,82	1,147	0,69	0,613
Pachuca	12,2	9,214	6,353	3,661	2,335	1,487	0,906	0,812
Tulancingo	12,2	8,91	6,135	3,529	2,248	1,429	0,869	0,778
Queretaro	12,2	9,624	6,646	3,839	2,453	1,564	0,956	0,86
Guanajuato	12,2	7,088	4,827	2,737	1,725	1,085	0,651	0,577
Oaxaca	12,2	10,08	6,965	4,026	2,574	1,644	1,008	0,913
Iguala	12,2	11,74	8,162	4,759	3,063	1,97	1,22	1,114
Chilpancingo	12,2	10,81	7,482	4,336	2,779	1,779	1,097	1

Cuernavaca	12,2	10,23	7,077	4,096	2,622	1,676	1,029	0,931
Morelia	12,2	9,46	6,519	3,755	2,395	1,525	0,932	0,841
Veracruz	12,2	12,59	8,815	5,182	3,355	2,168	1,345	1,222
Huehuetla, Guan.	12,2	11,99	8,376	4,91	3,172	2,045	1,265	1,146
Zona 4								
Guadalajara	12,2	10,25	7,093	4,107	2,63	1,681	1,032	0,934
Mazatlán	12,2	9,829	6,804	3,942	2,524	1,613	0,986	0,884
Pto. Vallarta	12,2	9,981	6,893	3,981	2,545	1,624	0,996	0,902
Tepic	12,2	8,775	6,032	3,462	2,202	1,398	0,85	0,762
Colima	12,2	12,24	8,522	4,976	3,208	2,066	1,283	1,177
Manzanillo	12,2	13,11	9,153	5,364	3,468	2,24	1,397	1,287
Pto. Ángel	12,2	12,83	8,956	5,247	3,39	2,188	1,363	1,252
Acapulco	12,2	13,07	9,117	5,339	3,449	2,227	1,389	1,282
Uruapan	12,2	10,11	6,984	4,035	2,58	1,647	1,011	0,917
Laz. Cárdenas	12,2	13,13	9,162	5,367	3,468	2,239	1,398	1,29
Zamora	12,2	10,17	7,034	4,068	2,603	1,663	1,021	0,925
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	12,2	11,67	8,129	4,751	3,063	1,971	1,218	1,105
Villa Hermosa	12,2	12,43	8,707	5,123	3,319	2,144	1,328	1,201
Tapachula	12,2	12,25	8,557	5,016	3,241	2,09	1,296	1,178
Coatzacoalcos	12,2	12,86	8,986	5,272	3,409	2,202	1,371	1,255
Huixtla, Chiapas	12,2	13,18	9,187	5,373	3,469	2,239	1,399	1,296
Jaltipan de Morelos, Veracruz	12,2	12,5	8,743	5,136	3,323	2,146	1,331	1,209
Zona 6								
Mérida	12,2	12,22	8,608	5,102	3,319	2,15	1,325	1,174
Cancún	12,2	12,14	8,582	5,106	3,331	2,16	1,328	1,165
Chetumal	12,2	12,16	8,552	5,059	3,288	2,127	1,312	1,166
Campeche	12,2	12,26	8,616	5,093	3,308	2,14	1,321	1,179
Zona 7								

Tabla b.7 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación Zhao- ITU para la frecuencia descendente un enlace satelital en la banda Ku.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	14,5	6,062	4,202	2,435	1,556	0,987	0,585	0,493
Mexicali	14,5	6,08	4,213	2,442	1,56	0,989	0,587	0,495
Hermosillo	14,5	5,969	4,104	2,355	1,495	0,944	0,562	0,484
La Paz, B.C.S.	14,5	6,283	4,297	2,449	1,549	0,977	0,586	0,517
Pto. Escondido	14,5	6,451	4,391	2,489	1,568	0,988	0,596	0,535
Ensenada	14,5	6,061	4,196	2,428	1,55	0,982	0,583	0,493
Santa Ana, B.C.	14,5	5,809	3,988	2,284	1,448	0,913	0,543	0,467
San José del Cabo	14,5	6,28	4,289	2,44	1,542	0,972	0,584	0,517
N.Casas Grandes,	14,5	4,971	3,397	1,933	1,219	0,764	0,449	0,381

Chi.									
Cerros Salsipuedes, B.C.	14,5	4,556	3,066	1,711	1,065	0,662	0,39	0,34	
Zona 1									
Saltillo	14,5	9,078	6,337	3,711	2,394	1,538	0,942	0,836	
Zacatecas	14,5	7,546	5,2	2,995	1,909	1,214	0,737	0,657	
San L. Potosí	14,5	8,645	5,995	3,48	2,232	1,428	0,874	0,784	
Aguascalientes	14,5	8,656	5,997	3,478	2,229	1,425	0,873	0,786	
Culiacán	14,5	11,55	8,129	4,814	3,134	2,033	1,265	1,144	
Durango	14,5	8,651	6,006	3,492	2,242	1,435	0,878	0,785	
Cd. Victoria	14,5	11,06	7,779	4,602	2,992	1,939	1,202	1,082	
Chihuahua	14,5	9,382	6,582	3,879	2,513	1,62	0,991	0,873	
Monterrey	14,5	10,72	7,543	4,466	2,905	1,881	1,163	1,038	
Cd. Juárez	14,5	9,925	7,017	4,177	2,724	1,765	1,08	0,939	
Torreón	14,5	9,89	6,926	4,073	2,636	1,7	1,047	0,935	
N. Laredo	14,5	11,25	7,96	4,745	3,101	2,016	1,247	1,106	
Zona 2									
Tampico	14,5	11,52	8,108	4,801	3,124	2,027	1,261	1,141	
Matamoros	14,5	11,42	8,077	4,811	3,143	2,043	1,267	1,128	
Reynosa	14,5	11,39	8,054	4,796	3,132	2,036	1,262	1,124	
Cd. Mante, Tamp.	14,5	11,44	8,048	4,764	3,099	2,01	1,25	1,13	
Jalapa	14,5	9,286	6,454	3,76	2,417	1,551	0,954	0,861	
Zona 3									
México DF	14,5	10,37	7,231	4,232	2,732	1,76	1,091	0,994	
León	14,5	8,786	6,087	3,53	2,263	1,448	0,888	0,801	
Pachuca	14,5	10,97	7,679	4,516	2,925	1,891	1,175	1,07	
Tulancingo	14,5	10,61	7,415	4,353	2,815	1,817	1,127	1,024	
Queretaro	14,5	11,46	8,036	4,736	3,073	1,99	1,241	1,133	
Guanajuato	14,5	8,384	5,796	3,352	2,144	1,369	0,837	0,754	
Oaxaca	14,5	12	8,421	4,967	3,225	2,091	1,309	1,204	
Iguala	14,5	14	9,885	5,882	3,845	2,51	1,586	1,471	
Chilpancingo	14,5	12,87	9,047	5,35	3,482	2,264	1,424	1,319	
Cuernavaca	14,5	12,19	8,558	5,055	3,285	2,132	1,335	1,228	
Morelia	14,5	11,26	7,88	4,631	2,999	1,939	1,209	1,108	
Veracruz	14,5	15,07	10,71	6,427	4,226	2,773	1,756	1,62	
Huehuetla, Guan.	14,5	14,34	10,17	6,084	3,992	2,613	1,65	1,518	
Zona 4									
Guadalajara	14,5	12,21	8,579	5,069	3,295	2,139	1,34	1,231	
Mazatlán	14,5	11,71	8,228	4,865	3,163	2,052	1,28	1,165	
Pto. Vallarta	14,5	11,86	8,317	4,901	3,181	2,061	1,289	1,185	
Tepic	14,5	10,41	7,262	4,252	2,745	1,77	1,097	0,999	
Colima	14,5	14,6	10,32	6,152	4,027	2,633	1,669	1,555	
Manzanillo	14,5	15,65	11,1	6,638	4,357	2,858	1,82	1,702	
Pto. Ángel	14,5	15,32	10,86	6,494	4,261	2,793	1,775	1,656	
Acapulco	14,5	15,6	11,05	6,603	4,332	2,84	1,809	1,694	
Uruapan	14,5	12,04	8,443	4,978	3,231	2,095	1,312	1,208	
Laz. Cárdenas	14,5	15,67	11,11	6,639	4,356	2,857	1,82	1,705	

Zamora	14,5	12,12	8,505	5,02	3,261	2,116	1,325	1,219
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	14,5	13,93	9,857	5,88	3,85	2,516	1,587	1,462
Villa Hermosa	14,5	14,88	10,58	6,356	4,182	2,744	1,735	1,593
Tapachula	14,5	14,64	10,39	6,214	4,078	2,671	1,69	1,56
Coatzacoalcos	14,5	15,37	10,9	6,529	4,288	2,812	1,787	1,662
Huixtla, Chiapas	14,5	15,72	11,12	6,639	4,352	2,853	1,819	1,712
Jaltipan de Morelos, Veracruz	14,5	14,95	10,62	6,367	4,185	2,744	1,738	1,603
Zona 6								
Mérida	14,5	14,66	10,49	6,346	4,194	2,759	1,736	1,562
Cancún	14,5	14,58	10,47	6,358	4,212	2,775	1,741	1,552
Chetumal	14,5	14,58	10,42	6,29	4,152	2,729	1,718	1,551
Campeche	14,5	14,69	10,49	6,33	4,177	2,745	1,729	1,567
Zona 7								

Tabla b.8 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación Zhao-ITU para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ku.

Resultados de la combinación ITU-R – Crane

Los márgenes de atenuación obtenidos con la combinación ITU-R – Crane , se muestran en las tablas b.9 y b.10.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	12,2	3,021	2,306	1,573	1,154	0,832	0,524	0,362
Mexicali	12,2	3,029	2,312	1,578	1,157	0,834	0,526	0,363
Hermosillo	12,2	2,699	2,06	1,406	1,031	0,743	0,469	0,324
La Paz, B.C.S.	12,2	2,614	1,995	1,362	0,999	0,72	0,454	0,314
Pto. Escondido	12,2	2,345	1,79	1,221	0,896	0,646	0,407	0,281
Ensenada	12,2	2,983	2,277	1,554	1,14	0,821	0,518	0,358
Santa Ana, B.C.	12,2	2,543	1,941	1,325	0,972	0,7	0,442	0,305
San José del Cabo	12,2	2,524	1,927	1,315	0,965	0,695	0,438	0,303
N.Casas Grandes, Chi.	12,2	1,872	1,429	0,975	0,715	0,515	0,325	0,225
Cerros Salsipuedes, B.C.	12,2	1,296	0,989	0,675	0,495	0,357	0,225	0,155
Zona 1								
Saltillo	12,2	2,744	2,094	1,429	1,048	0,755	0,476	0,329
Zacatecas	12,2	2,171	1,657	1,131	0,829	0,598	0,377	0,26
San L. Potosí	12,2	3,085	2,355	1,607	1,179	0,849	0,536	0,37
Aguascalientes	12,2	3,04	2,32	1,584	1,162	0,837	0,528	0,365
Culiacán	12,2	4,469	3,411	2,328	1,708	1,23	0,776	0,536

Durango	12,2	3,161	2,413	1,647	1,208	0,87	0,549	0,379
Cd. Victoria	12,2	5,675	4,332	2,956	2,169	1,562	0,985	0,681
Chihuahua	12,2	3,111	2,374	1,62	1,189	0,856	0,54	0,373
Monterrey	12,2	4,023	3,071	2,096	1,537	1,108	0,699	0,483
Cd. Juárez	12,2	2,18	1,664	1,136	0,833	0,6	0,379	0,262
Torreón	12,2	3,312	2,528	1,725	1,266	0,912	0,575	0,397
N. Laredo	12,2	4,599	3,511	2,396	1,757	1,266	0,799	0,552
Zona 2								
Tampico	12,2	6,047	4,616	3,15	2,311	1,665	1,05	0,726
Matamoros	12,2	6,343	4,842	3,304	2,424	1,746	1,101	0,761
Reynosa	12,2	6,304	4,812	3,284	2,409	1,735	1,095	0,756
Cd. Mante, Tamp.	12,2	5,965	4,553	3,107	2,279	1,642	1,036	0,716
Jalapa	12,2	4,761	3,634	2,48	1,819	1,311	0,827	0,571
Zona 3								
México DF	12,2	2,283	1,743	1,189	0,872	0,629	0,396	0,274
León	12,2	3,108	2,372	1,619	1,188	0,856	0,54	0,373
Pachuca	12,2	2,735	2,087	1,424	1,045	0,753	0,475	0,328
Tulancingo	12,2	2,5	1,908	1,302	0,955	0,688	0,434	0,3
Queretaro	12,2	3,049	2,327	1,588	1,165	0,839	0,529	0,366
Guanajuato	12,2	2,773	2,117	1,444	1,06	0,763	0,481	0,333
Oaxaca	12,2	3,302	2,521	1,72	1,262	0,909	0,573	0,396
Iguala	12,2	4,685	3,576	2,441	1,79	1,29	0,814	0,562
Chiilpancingo	12,2	3,784	2,888	1,971	1,446	1,042	0,657	0,454
Cuernavaca	12,2	3,457	2,639	1,801	1,321	0,952	0,6	0,415
Morelia	12,2	2,824	2,155	1,471	1,079	0,777	0,49	0,339
Veracruz	12,2	7,672	5,856	3,996	2,931	2,112	1,332	0,921
Huehuetla, Guan.	12,2	5,296	4,042	2,759	2,023	1,458	0,92	0,635
Zona 4								
Guadalajara	12,2	2,543	1,941	1,325	0,972	0,7	0,442	0,305
Mazatlán	12,2	4,433	3,384	2,309	1,694	1,221	0,77	0,532
Pto. Vallarta	12,2	4,259	3,251	2,218	1,627	1,172	0,739	0,511
Tepic	12,2	3,314	2,53	1,726	1,266	0,912	0,575	0,398
Colima	12,2	3,676	2,806	1,915	1,405	1,012	0,638	0,441
Manzanillo	12,2	4,22	3,221	2,198	1,613	1,162	0,733	0,506
Pto. Ángel	12,2	4,112	3,139	2,142	1,571	1,132	0,714	0,493
Acapulco	12,2	7,92	6,046	4,126	3,026	2,18	1,375	0,95
Uruapan	12,2	3,287	2,509	1,712	1,256	0,905	0,571	0,394
Laz. Cárdenas	12,2	4,172	3,185	2,173	1,594	1,149	0,724	0,501
Zamora	12,2	2,466	1,882	1,285	0,942	0,679	0,428	0,296
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	12,2	6,847	5,226	3,567	2,616	1,885	1,189	0,822
Villa Hermosa	12,2	8,146	6,218	4,244	3,113	2,243	1,415	0,978
Tapachula	12,2	7,603	5,803	3,96	2,905	2,093	1,32	0,912
Coatzacoalcos	12,2	11,81	9,012	6,15	4,511	3,25	2,05	1,417
Huixtla, Chiapas	12,2	7,734	5,904	4,029	2,955	2,129	1,343	0,928
Jaltipan de Morelos, Veracruz	12,2	11,65	8,889	6,066	4,45	3,206	2,022	1,397

Zona 6								
Mérida	12,2	8,512	6,498	4,434	3,253	2,343	1,478	1,021
Cancún	12,2	8,641	6,596	4,501	3,302	2,379	1,5	1,037
Chetumal	12,2	8,334	6,361	4,341	3,184	2,294	1,447	1
Campeche	12,2	8,376	6,394	4,363	3,201	2,306	1,454	1,005
Zona 7								

Tabla b.9 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación ITU-R- Crane para la frecuencia descendente un enlace satelital en la banda Ku.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad							
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%	
Tijuana	14,5	4,37	3,336	2,276	1,67	1,203	0,759	0,524	
Mexicali	14,5	4,382	3,345	2,283	1,674	1,206	0,761	0,526	
Hermosillo	14,5	3,905	2,98	2,034	1,492	1,075	0,678	0,469	
La Paz, B.C.S.	14,5	3,782	2,887	1,97	1,445	1,041	0,657	0,454	
Pto. Escondido	14,5	3,393	2,59	1,767	1,296	0,934	0,589	0,407	
Ensenada	14,5	4,316	3,294	2,248	1,649	1,188	0,749	0,518	
Santa Ana, B.C.	14,5	3,679	2,808	1,917	1,406	1,013	0,639	0,442	
San José del Cabo	14,5	3,652	2,788	1,903	1,396	1,006	0,634	0,438	
N.Casas Grandes, Chi.	14,5	2,709	2,068	1,411	1,035	0,746	0,47	0,325	
Cerros Salsipuedes, B.C.	14,5	1,875	1,431	0,976	0,716	0,516	0,325	0,225	
Zona 1									
Saltillo	14,5	3,94	3,008	2,052	1,506	1,085	0,684	0,473	
Zacatecas	14,5	3,104	2,369	1,617	1,186	0,855	0,539	0,372	
San L. Potosí	14,5	4,411	3,367	2,298	1,686	1,214	0,766	0,529	
Aguascalientes	14,5	4,347	3,318	2,264	1,661	1,197	0,755	0,522	
Culiacán	14,5	6,418	4,899	3,343	2,452	1,767	1,114	0,77	
Durango	14,5	4,52	3,45	2,355	1,727	1,244	0,785	0,542	
Cd. Victoria	14,5	8,115	6,194	4,227	3,101	2,234	1,409	0,974	
Chihuahua	14,5	4,467	3,41	2,327	1,707	1,23	0,776	0,536	
Monterrey	14,5	5,778	4,411	3,01	2,208	1,591	1,003	0,693	
Cd. Juárez	14,5	3,154	2,407	1,643	1,205	0,868	0,548	0,378	
Torreón	14,5	4,757	3,631	2,478	1,818	1,31	0,826	0,571	
N. Laredo	14,5	6,605	5,042	3,441	2,524	1,818	1,147	0,793	
Zona 2									
Tampico	14,5	8,647	6,6	4,504	3,304	2,38	1,501	1,038	
Matamoros	14,5	9,07	6,923	4,725	3,466	2,497	1,575	1,088	
Reynosa	14,5	9,014	6,88	4,695	3,444	2,481	1,565	1,082	
Cd. Mante, Tamp.	14,5	8,53	6,511	4,443	3,259	2,348	1,481	1,024	
Jalapa	14,5	6,782	5,177	3,533	2,591	1,867	1,178	0,814	
Zona 3									
México DF	14,5	3,265	2,492	1,701	1,248	0,899	0,567	0,392	

León	14,5	4,444	3,392	2,315	1,698	1,224	0,772	0,533
Pachuca	14,5	3,91	2,985	2,037	1,494	1,076	0,679	0,469
Tulancingo	14,5	3,575	2,729	1,862	1,366	0,984	0,621	0,429
Queretaro	14,5	4,36	3,328	2,271	1,666	1,2	0,757	0,523
Guanajuato	14,5	3,965	3,027	2,065	1,515	1,092	0,689	0,476
Oaxaca	14,5	4,722	3,604	2,46	1,804	1,3	0,82	0,567
Iguala	14,5	6,699	5,114	3,49	2,56	1,844	1,163	0,804
Chilpancingo	14,5	5,411	4,13	2,819	2,067	1,49	0,94	0,649
Cuernavaca	14,5	4,943	3,773	2,575	1,889	1,361	0,858	0,593
Morelia	14,5	4,037	3,082	2,103	1,543	1,112	0,701	0,484
Veracruz	14,5	10,93	8,341	5,692	4,175	3,008	1,897	1,311
Huehuetla, Guan.	14,5	7,572	5,78	3,944	2,893	2,085	1,315	0,909
Zona 4								
Guadalajara	14,5	3,653	2,788	1,903	1,396	1,006	0,634	0,438
Mazatlán	14,5	6,367	4,86	3,317	2,433	1,753	1,106	0,764
Pto. Vallarta	14,5	6,116	4,668	3,186	2,337	1,684	1,062	0,734
Tepic	14,5	4,76	3,633	2,479	1,819	1,31	0,826	0,571
Colima	14,5	5,28	4,03	2,75	2,017	1,454	0,917	0,634
Manzanillo	14,5	6,061	4,626	3,157	2,316	1,669	1,052	0,727
Pto. Ángel	14,5	5,905	4,508	3,076	2,256	1,626	1,025	0,709
Acapulco	14,5	11,27	8,603	5,871	4,306	3,103	1,957	1,352
Uruapan	14,5	4,7	3,588	2,449	1,796	1,294	0,816	0,564
Laz. Cárdenas	14,5	5,992	4,574	3,121	2,29	1,65	1,04	0,719
Zamora	14,5	3,541	2,703	1,845	1,353	0,975	0,615	0,425
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	14,5	9,743	7,437	5,075	3,723	2,682	1,692	1,169
Villa Hermosa	14,5	11,59	8,848	6,038	4,429	3,191	2,013	1,391
Tapachula	14,5	10,82	8,258	5,636	4,134	2,978	1,879	1,298
Coatzacoalcos	14,5	16,7	12,75	8,7	6,382	4,598	2,9	2,004
Huixtla, Chiapas	14,5	11,01	8,401	5,733	4,205	3,03	1,911	1,321
Jaltipan de Morelos, Veracruz	14,5	16,47	12,57	8,581	6,295	4,535	2,861	1,977
Zona 6								
Mérida	14,5	12,11	9,246	6,31	4,628	3,335	2,103	1,454
Cancún	14,5	12,3	9,386	6,405	4,699	3,385	2,135	1,476
Chetumal	14,5	11,86	9,052	6,177	4,531	3,265	2,059	1,423
Campeche	14,5	11,92	9,098	6,209	4,554	3,281	2,07	1,43
Zona 7								

Tabla b.10 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación ITU-R- Crane para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ku.

Resultados de la combinación ITU-R – ITU

Los márgenes de atenuación obtenidos con la combinación ITU-R – ITU , se muestran en las tablas b.11 y b.12.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	12,2	2,874	2,193	1,497	1,098	0,791	0,499	0,345
Mexicali	12,2	2,881	2,199	1,501	1,101	0,793	0,5	0,346
Hermosillo	12,2	2,567	1,959	1,337	0,981	0,707	0,446	0,308
La Paz, B.C.S.	12,2	2,486	1,897	1,295	0,95	0,684	0,432	0,298
Pto. Escondido	12,2	2,229	1,701	1,161	0,852	0,614	0,387	0,267
Ensenada	12,2	2,838	2,166	1,478	1,084	0,781	0,493	0,341
Santa Ana, B.C.	12,2	2,418	1,846	1,26	0,924	0,666	0,42	0,29
San José del Cabo	12,2	2,4	1,832	1,25	0,917	0,661	0,417	0,288
N.Casas Grandes, Chi.	12,2	1,78	1,359	0,927	0,68	0,49	0,309	0,214
Cerros Salsipuedes, B.C.	12,2	1,231	0,94	0,641	0,47	0,339	0,214	0,148
Zona 1								
Saltillo	12,2	4,947	3,776	2,577	1,89	1,362	0,859	0,594
Zacatecas	12,2	2,881	2,199	1,501	1,101	0,793	0,5	0,346
San L. Potosí	12,2	4,08	3,114	2,125	1,559	1,123	0,708	0,49
Aguascalientes	12,2	4,022	3,07	2,095	1,537	1,107	0,698	0,483
Culiacán	12,2	7,941	6,062	4,137	3,034	2,186	1,379	0,953
Durango	12,2	4,178	3,189	2,176	1,596	1,15	0,725	0,501
Cd. Victoria	12,2	7,418	5,662	3,864	2,834	2,042	1,288	0,89
Chihuahua	12,2	5,576	4,256	2,904	2,131	1,535	0,968	0,669
Monterrey	12,2	7,158	5,464	3,729	2,735	1,971	1,243	0,859
Cd. Juárez	12,2	6,597	5,035	3,436	2,521	1,816	1,145	0,792
Torreón	12,2	5,941	4,535	3,095	2,27	1,636	1,032	0,713
N. Laredo	12,2	8,112	6,192	4,226	3,1	2,233	1,409	0,973
Zona 2								
Tampico	12,2	7,898	6,028	4,114	3,018	2,174	1,371	0,948
Matamoros	12,2	8,249	6,297	4,297	3,152	2,271	1,432	0,99
Reynosa	12,2	8,2	6,259	4,271	3,133	2,257	1,424	0,984
Cd. Mante, Tamp.	12,2	7,793	5,949	4,06	2,978	2,146	1,353	0,935
Jalapa	12,2	4,761	3,634	2,48	1,819	1,311	0,827	0,571
Zona 3								
México DF	12,2	4,754	3,629	2,476	1,816	1,309	0,825	0,57
León	12,2	4,112	3,139	2,142	1,571	1,132	0,714	0,493
Pachuca	12,2	5,647	4,31	2,942	2,158	1,555	0,981	0,678
Tulancingo	12,2	5,181	3,955	2,699	1,98	1,426	0,9	0,622
Queretaro	12,2	6,269	4,786	3,266	2,396	1,726	1,089	0,752
Guanajuato	12,2	3,674	2,804	1,914	1,404	1,011	0,638	0,441
Oaxaca	12,2	6,782	5,176	3,533	2,591	1,867	1,178	0,814
Iguala	12,2	9,445	7,21	4,92	3,609	2,6	1,64	1,133
Chilpancingo	12,2	7,737	5,906	4,03	2,957	2,13	1,344	0,928

Cuernavaca	12,2	7,08	5,404	3,688	2,705	1,949	1,229	0,85
Morelia	12,2	5,837	4,455	3,04	2,23	1,607	1,013	0,7
Veracruz	12,2	11,53	8,798	6,004	4,404	3,173	2,001	1,383
Huehuetla, Guan.	12,2	10,5	8,015	5,47	4,012	2,891	1,823	1,26
Zona 4								
Guadalajara	12,2	7,145	5,454	3,722	2,73	1,967	1,241	0,857
Mazatlán	12,2	7,898	6,029	4,114	3,018	2,174	1,371	0,948
Pto. Vallarta	12,2	7,626	5,821	3,972	2,914	2,099	1,324	0,915
Tepic	12,2	5,974	4,56	3,112	2,283	1,645	1,037	0,717
Colima	12,2	10,12	7,723	5,27	3,866	2,785	1,757	1,214
Manzanillo	12,2	11,5	8,776	5,989	4,393	3,165	1,996	1,38
Pto. Ángel	12,2	11,2	8,549	5,834	4,279	3,083	1,945	1,344
Acapulco	12,2	11,28	8,614	5,878	4,312	3,107	1,96	1,354
Uruapan	12,2	6,758	5,158	3,52	2,582	1,86	1,173	0,811
Laz. Cárdenas	12,2	11,4	8,7	5,937	4,355	3,138	1,979	1,368
Zamora	12,2	6,947	5,303	3,619	2,654	1,912	1,206	0,834
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	12,2	9,757	7,447	5,082	3,728	2,686	1,694	1,171
Villa Hermosa	12,2	11,45	8,743	5,967	4,377	3,153	1,989	1,375
Tapachula	12,2	10,77	8,224	5,613	4,117	2,966	1,871	1,293
Coatzacoalcos	12,2	11,47	8,757	5,976	4,384	3,158	1,992	1,377
Huixtla, Chiapas	12,2	11,07	8,447	5,764	4,228	3,047	1,922	1,328
Jaltipan de Morelos, Veracruz	12,2	11,32	8,642	5,898	4,326	3,117	1,966	1,359
Zona 6								
Mérida	12,2	11,81	9,018	6,154	4,514	3,253	2,051	1,418
Cancún	12,2	11,92	9,102	6,212	4,557	3,283	2,071	1,431
Chetumal	12,2	11,6	8,857	6,045	4,434	3,195	2,015	1,392
Campeche	12,2	11,68	8,913	6,082	4,462	3,215	2,028	1,401
Zona 7								

Tabla b.11 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación ITU-R- ITU para la frecuencia descendente un enlace satelital en la banda Ku.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	14,5	4,16	3,176	2,167	1,59	1,145	0,722	0,499
Mexicali	14,5	4,172	3,184	2,173	1,594	1,148	0,724	0,501
Hermosillo	14,5	3,716	2,836	1,936	1,42	1,023	0,645	0,446
La Paz, B.C.S.	14,5	3,598	2,747	1,874	1,375	0,991	0,625	0,432
Pto. Escondido	14,5	3,227	2,463	1,681	1,233	0,888	0,56	0,387
Ensenada	14,5	4,109	3,136	2,14	1,57	1,131	0,713	0,493
Santa Ana, B.C.	14,5	3,501	2,672	1,824	1,338	0,964	0,608	0,42
San José del Cabo	14,5	3,475	2,652	1,81	1,328	0,957	0,603	0,417
N.Casas Grandes, Chi.	14,5	2,577	1,967	1,342	0,985	0,709	0,447	0,309

Cerros Salsipuedes, B.C.	14,5	1,782	1,361	0,929	0,681	0,491	0,31	0,214
Zona 1								
Saltillo	14,5	7,046	5,378	3,67	2,692	1,94	1,223	0,846
Zacatecas	14,5	4,104	3,132	2,138	1,568	1,13	0,713	0,492
San L. Potosí	14,5	5,812	4,436	3,027	2,221	1,6	1,009	0,697
Aguascalientes	14,5	5,729	4,373	2,984	2,189	1,577	0,995	0,688
Culiacán	14,5	11,31	8,634	5,892	4,322	3,114	1,964	1,357
Durango	14,5	5,951	4,542	3,1	2,274	1,638	1,033	0,714
Cd. Victoria	14,5	10,57	8,065	5,504	4,037	2,909	1,835	1,268
Chihuahua	14,5	7,942	6,062	4,137	3,035	2,186	1,379	0,953
Monterrey	14,5	10,2	7,783	5,311	3,896	2,807	1,77	1,223
Cd. Juárez	14,5	9,396	7,172	4,894	3,59	2,587	1,631	1,127
Torreón	14,5	8,462	6,459	4,408	3,233	2,33	1,469	1,015
N. Laredo	14,5	11,55	8,819	6,019	4,415	3,181	2,006	1,386
Zona 2								
Tampico	14,5	11,25	8,587	5,86	4,298	3,097	1,953	1,35
Matamoros	14,5	11,75	8,969	6,121	4,49	3,235	2,04	1,41
Reynosa	14,5	11,68	8,915	6,084	4,463	3,215	2,028	1,402
Cd. Mante, Tamp.	14,5	11,1	8,473	5,782	4,241	3,056	1,927	1,332
Jalapa	14,5	6,782	5,177	3,533	2,591	1,867	1,178	0,814
Zona 3								
México DF	14,5	6,728	5,136	3,505	2,571	1,852	1,168	0,807
León	14,5	5,858	4,471	3,051	2,238	1,613	1,017	0,703
Pachuca	14,5	7,992	6,101	4,163	3,054	2,2	1,388	0,959
Tulancingo	14,5	7,333	5,597	3,82	2,802	2,019	1,273	0,88
Queretaro	14,5	8,873	6,773	4,622	3,39	2,443	1,541	1,065
Guanajuato	14,5	5,233	3,994	2,726	1,999	1,441	0,909	0,628
Oaxaca	14,5	9,598	7,326	5	3,667	2,642	1,667	1,152
Iguala	14,5	13,37	10,2	6,964	5,108	3,68	2,321	1,604
Chilpancingo	14,5	10,95	8,359	5,704	4,184	3,015	1,901	1,314
Cuernavaca	14,5	10,02	7,649	5,22	3,829	2,759	1,74	1,202
Morelia	14,5	8,26	6,305	4,303	3,156	2,274	1,434	0,991
Veracruz	14,5	16,31	12,45	8,498	6,234	4,491	2,833	1,958
Huehuetla, Guan.	14,5	14,86	11,34	7,742	5,679	4,092	2,581	1,783
Zona 4								
Guadalajara	14,5	10,11	7,719	5,268	3,864	2,784	1,756	1,214
Mazatlán	14,5	11,25	8,587	5,86	4,299	3,097	1,953	1,35
Pto. Vallarta	14,5	10,86	8,291	5,658	4,15	2,99	1,886	1,303
Tepic	14,5	8,509	6,495	4,432	3,251	2,342	1,477	1,021
Colima	14,5	14,32	10,93	7,459	5,472	3,942	2,486	1,718
Manzanillo	14,5	16,27	12,42	8,476	6,217	4,48	2,825	1,953
Pto. Ángel	14,5	15,85	12,1	8,257	6,057	4,364	2,752	1,902
Acapulco	14,5	15,97	12,19	8,32	6,103	4,397	2,773	1,917
Uruapan	14,5	9,565	7,301	4,982	3,655	2,633	1,661	1,148
Laz. Cárdenas	14,5	16,13	12,31	8,403	6,164	4,441	2,801	1,936
Zamora	14,5	9,832	7,505	5,122	3,757	2,707	1,707	1,18

Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	14,5	13,81	10,54	7,193	5,276	3,802	2,398	1,657
Villa Hermosa	14,5	16,21	12,37	8,445	6,195	4,463	2,815	1,945
Tapachula	14,5	15,25	11,64	7,943	5,827	4,198	2,648	1,83
Coatzacoalcos	14,5	16,24	12,39	8,458	6,204	4,47	2,819	1,948
Huixtla, Chiapas	14,5	15,66	11,95	8,158	5,984	4,312	2,72	1,879
Jaltipan de Morelos, Veracruz	14,5	16,02	12,23	8,347	6,123	4,411	2,782	1,923
Zona 6								
Mérida	14,5	16,72	12,76	8,71	6,389	4,603	2,903	2,007
Cancún	14,5	16,88	12,88	8,791	6,449	4,646	2,931	2,025
Chetumal	14,5	16,42	12,54	8,555	6,275	4,521	2,852	1,971
Campeche	14,5	16,53	12,61	8,609	6,315	4,55	2,87	1,983
Zona 7								

Tabla b.12 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación ITU-R- ITU para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ku.

Resultados de la combinación Crane – Crane

Los márgenes de atenuación obtenidos con la combinación Crane – Crane , se muestran en las tablas b.13 y b.14.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	12,2	4,109	2,508	1,426	0,972	0,554	0,194	0,124
Mexicali	12,2	4,115	2,511	1,427	0,973	0,555	0,194	0,124
Hermosillo	12,2	3,929	2,368	1,324	0,891	0,496	0,164	0,101
La Paz, B.C.S.	12,2	3,974	2,364	1,298	0,86	0,467	0,142	0,083
Pto. Escondido	12,2	3,961	2,315	1,238	0,802	0,416	0,11	0,057
Ensenada	12,2	4,066	2,476	1,404	0,955	0,542	0,188	0,119
Santa Ana, B.C.	12,2	3,679	2,205	1,223	0,817	0,45	0,144	0,087
San José del Cabo	12,2	4,032	2,393	1,31	0,866	0,467	0,141	0,081
N.Casas Grandes, Chi.	12,2	2,84	1,669	0,9	0,588	0,31	0,086	0,047
Cerros Salsipuedes, B.C.	12,2	2,469	1,392	0,704	0,433	0,201	0,03	0,004
Zona 1								
Saltillo	12,2	4,297	3,064	1,72	1,121	0,714	0,326	0,143
Zacatecas	12,2	4,478	3,069	1,784	1,115	0,614	0,254	0,094
San L. Potosi	12,2	5,563	3,866	2,304	1,48	0,854	0,392	0,177
Aguascalientes	12,2	5,502	3,815	2,265	1,449	0,83	0,375	0,165
Culiacán	12,2	6,471	4,695	2,731	1,84	1,22	0,61	0,307

Durango	12,2	5,191	3,6	2,137	1,368	0,783	0,354	0,156
Cd. Victoria	12,2	8,181	5,823	3,615	2,423	1,49	0,771	0,413
Chihuahua	12,2	4,441	3,184	1,807	1,191	0,769	0,362	0,167
Monterrey	12,2	5,87	4,255	2,47	1,661	1,099	0,547	0,274
Cd. Juárez	12,2	2,848	1,68	0,911	0,598	0,318	0,092	0,051
Torreón	12,2	4,979	3,575	2,036	1,346	0,872	0,414	0,194
N. Laredo	12,2	6,336	4,621	2,716	1,845	1,236	0,632	0,327
Zona 2								
Tampico	12,2	9,018	6,438	4,017	2,706	1,676	0,877	0,477
Matamoros	12,2	8,824	6,326	3,973	2,693	1,683	0,894	0,495
Reynosa	12,2	8,765	6,281	3,942	2,671	1,668	0,885	0,489
Cd. Mante, Tamp.	12,2	8,898	6,349	3,958	2,663	1,647	0,861	0,467
Jalapa	12,2	8,405	6,331	3,975	2,734	1,646	0,727	0,358
Zona 3								
México DF	12,2	4,72	3,23	1,872	1,165	0,637	0,26	0,092
León	12,2	5,412	3,744	2,213	1,409	0,801	0,356	0,152
Pachuca	12,2	5,425	3,756	2,223	1,418	0,808	0,361	0,156
Tulancingo	12,2	5,164	3,565	2,099	1,331	0,751	0,329	0,137
Queretaro	12,2	5,752	3,994	2,376	1,524	0,876	0,4	0,178
Guanajuato	12,2	5,029	3,463	2,03	1,281	0,716	0,308	0,123
Oaxaca	12,2	6,182	4,297	2,561	1,646	0,95	0,436	0,197
Iguala	12,2	7,518	5,278	3,202	2,096	1,245	0,605	0,299
Chilpancingo	12,2	6,674	4,646	2,778	1,791	1,039	0,482	0,221
Cuernavaca	12,2	6,086	4,229	2,52	1,619	0,933	0,428	0,193
Morelia	12,2	5,498	3,796	2,236	1,418	0,801	0,351	0,146
Veracruz	12,2	11,45	8,725	5,599	3,931	2,448	1,161	0,622
Huehuetla, Guan.	12,2	8,371	5,939	3,668	2,445	1,493	0,762	0,402
Zona 4								
Guadalajara	12,2	4,604	3,258	1,8	1,156	0,721	0,313	0,125
Mazatlán	12,2	6,724	4,874	2,831	1,905	1,261	0,628	0,315
Pto. Vallarta	12,2	6,68	4,818	2,771	1,847	1,209	0,589	0,285
Tepic	12,2	5,242	3,742	2,106	1,377	0,879	0,404	0,18
Colima	12,2	5,852	4,183	2,36	1,547	0,991	0,459	0,207
Manzanillo	12,2	6,515	4,679	2,667	1,764	1,144	0,544	0,256
Pto. Ángel	12,2	6,664	4,799	2,749	1,827	1,192	0,575	0,275
Acapulco	12,2	12,16	9,206	5,859	3,811	2,333	1,068	0,499
Uruapan	12,2	5,839	4,04	2,389	1,522	0,865	0,385	0,165
Laz. Cárdenas	12,2	6,62	4,753	2,708	1,791	1,16	0,552	0,259
Zamora	12,2	4,526	3,196	1,758	1,124	0,697	0,298	0,116
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	12,2	11,18	8,485	5,422	3,543	2,182	1,012	0,482
Villa Hermosa	12,2	12,01	9,155	5,901	3,894	2,43	1,157	0,571
Tapachula	12,2	12,02	9,141	5,869	3,855	2,391	1,125	0,546
Coatzacoalcos	12,2	17,58	13,85	9,328	6,218	3,643	1,366	0,576
Huixtla, Chiapas	12,2	12,03	9,081	5,75	3,718	2,256	1,014	0,462
Jaltipan de Morelos, Veracruz	12,2	17,89	14,12	9,555	6,405	3,787	1,451	0,63

Zona 6								
Mérida	12,2	12,79	9,815	6,407	4,286	2,723	1,343	0,691
Cancún	12,2	12,52	9,623	6,296	4,222	2,691	1,335	0,691
Chetumal	12,2	12,5	9,581	6,237	4,16	2,633	1,289	0,657
Campeche	12,2	12,68	9,711	6,319	4,212	2,665	1,303	0,664
Zona 7								

Tabla b.13 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación Crane-Crane para la frecuencia descendente un enlace satelital en la banda Ku.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	14,5	5,936	3,646	2,089	1,431	0,822	0,292	0,188
Mexicali	14,5	5,944	3,651	2,091	1,433	0,823	0,292	0,187
Hermosillo	14,5	5,676	3,444	1,941	1,312	0,737	0,247	0,153
La Paz, B.C.S.	14,5	5,741	3,439	1,903	1,268	0,693	0,215	0,127
Pto. Escondido	14,5	5,723	3,368	1,816	1,184	0,62	0,168	0,088
Ensenada	14,5	5,873	3,6	2,056	1,406	0,805	0,283	0,181
Santa Ana, B.C.	14,5	5,314	3,206	1,792	1,204	0,669	0,217	0,132
San José del Cabo	14,5	5,824	3,481	1,921	1,277	0,695	0,213	0,124
N.Casas Grandes, Chi.	14,5	4,102	2,428	1,321	0,867	0,461	0,131	0,072
Cerros Salsipuedes, B.C.	14,5	3,569	2,028	1,035	0,641	0,301	0,047	0,009
Zona 1								
Saltillo	14,5	6,167	4,417	2,498	1,639	1,05	0,484	0,215
Zacatecas	14,5	6,402	4,41	2,583	1,624	0,902	0,378	0,142
San L. Potosí	14,5	7,952	5,553	3,333	2,154	1,252	0,581	0,265
Aguascalientes	14,5	7,865	5,481	3,277	2,109	1,217	0,557	0,248
Culiacán	14,5	9,286	6,766	3,965	2,685	1,79	0,903	0,459
Durango	14,5	7,421	5,171	3,092	1,99	1,149	0,526	0,235
Cd. Victoria	14,5	11,7	8,363	5,225	3,521	2,179	1,138	0,615
Chihuahua	14,5	6,373	4,589	2,625	1,74	1,129	0,538	0,251
Monterrey	14,5	8,425	6,133	3,587	2,424	1,613	0,81	0,409
Cd. Juárez	14,5	4,114	2,444	1,337	0,882	0,473	0,139	0,078
Torreón	14,5	7,146	5,153	2,957	1,965	1,28	0,615	0,291
N. Laredo	14,5	9,094	6,66	3,942	2,693	1,814	0,935	0,488
Zona 2								
Tampico	14,5	12,89	9,247	5,806	3,931	2,45	1,294	0,71
Matamoros	14,5	12,62	9,086	5,742	3,913	2,461	1,319	0,736
Reynosa	14,5	12,53	9,021	5,698	3,88	2,438	1,305	0,727
Cd. Mante,Tamp.	14,5	12,72	9,119	5,72	3,87	2,409	1,269	0,694
Jalapa	14,5	11,97	9,052	5,719	3,953	2,396	1,07	0,532
Zona 3								
México DF	14,5	6,748	4,641	2,71	1,698	0,937	0,387	0,141

León	14,5	7,736	5,378	3,202	2,051	1,175	0,529	0,229
Pachuca	14,5	7,756	5,395	3,216	2,063	1,185	0,536	0,235
Tulancingo	14,5	7,382	5,121	3,037	1,938	1,102	0,489	0,206
Queretaro	14,5	8,223	5,737	3,437	2,218	1,285	0,593	0,268
Guanajuato	14,5	7,19	4,976	2,938	1,865	1,052	0,458	0,186
Oaxaca	14,5	8,837	6,172	3,705	2,395	1,392	0,646	0,296
Iguala	14,5	10,75	7,58	4,629	3,048	1,823	0,895	0,446
Chilpancingo	14,5	9,54	6,674	4,018	2,606	1,522	0,714	0,332
Cuernavaca	14,5	8,7	6,075	3,645	2,355	1,368	0,634	0,289
Morelia	14,5	7,859	5,453	3,235	2,065	1,175	0,522	0,221
Veracruz	14,5	16,32	12,48	8,054	5,682	3,561	1,705	0,921
Huehuetla, Guan.	14,5	11,97	8,53	5,302	3,554	2,184	1,125	0,599
Zona 4								
Guadalajara	14,5	6,608	4,698	2,616	1,691	1,062	0,467	0,19
Mazatlán	14,5	9,649	7,026	4,111	2,78	1,85	0,931	0,471
Pto. Vallarta	14,5	9,586	6,945	4,023	2,697	1,775	0,873	0,427
Tepec	14,5	7,522	5,394	3,059	2,011	1,292	0,601	0,27
Colima	14,5	8,398	6,029	3,428	2,26	1,457	0,682	0,311
Manzanillo	14,5	9,349	6,744	3,873	2,576	1,68	0,808	0,383
Pto. Ángel	14,5	9,564	6,917	3,992	2,668	1,75	0,853	0,412
Acapulco	14,5	17,31	13,15	8,422	5,51	3,394	1,57	0,742
Uruapan	14,5	8,347	5,803	3,456	2,215	1,269	0,572	0,249
Laz. Cárdenas	14,5	9,5	6,852	3,933	2,615	1,704	0,819	0,388
Zamora	14,5	6,496	4,609	2,555	1,644	1,027	0,444	0,176
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	14,5	15,92	12,12	7,794	5,122	3,175	1,487	0,715
Villa Hermosa	14,5	17,1	13,08	8,483	5,628	3,534	1,7	0,846
Tapachula	14,5	17,11	13,06	8,435	5,572	3,478	1,653	0,81
Coatzacoalcos	14,5	24,91	19,67	13,32	8,93	5,27	2,001	0,854
Huixtla, Chiapas	14,5	17,12	12,97	8,265	5,375	3,284	1,492	0,688
Jaltipan de Morelos, Veracruz	14,5	25,34	20,06	13,65	9,199	5,478	2,126	0,933
Zona 6								
Mérida	14,5	18,22	14,03	9,21	6,194	3,96	1,971	1,023
Cancún	14,5	17,84	13,76	9,051	6,102	3,913	1,958	1,023
Chetumal	14,5	17,81	13,69	8,966	6,013	3,829	1,892	0,974
Campeche	14,5	18,05	13,88	9,083	6,088	3,875	1,913	0,983
Zona 7								

Tabla b.14 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación Crane- Crane para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ku.

Resultados de la combinación Crane – ITU

Los márgenes de atenuación obtenidos con la combinación Crane – ITU , se muestran en las tablas b.15 y b.16.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad				
		99.99%	99.97%	99.9%	99.7%	99%
Tijuana	12,2	3,933	2,148	1,063	0,41	0,089
Mexicali	12,2	3,938	2,151	1,064	0,41	0,089
Hermosillo	12,2	3,757	2,02	0,977	0,361	0,07
La Paz, B.C.S.	12,2	3,795	2,008	0,947	0,334	0,055
Pto. Escondido	12,2	3,777	1,953	0,888	0,289	0,033
Ensenada	12,2	3,89	2,119	1,045	0,4	0,086
Santa Ana, B.C.	12,2	3,515	1,877	0,898	0,325	0,059
San José del Cabo	12,2	3,85	2,031	0,954	0,333	0,053
N.Casas Grandes, Chi.	12,2	2,709	1,411	0,65	0,217	0,029
Cerros Salsipuedes, B.C.	12,2	2,348	1,159	0,486	0,127	0
Zona 1						
Saltillo	12,2	7,503	4,668	2,45	1,121	0,326
Zacatecas	12,2	5,893	3,571	1,784	0,747	0,163
San L. Potosí	12,2	7,259	4,471	2,304	1,022	0,272
Aguascalientes	12,2	7,191	4,417	2,265	0,996	0,258
Culiacán	12,2	11,03	7,001	3,803	1,84	0,61
Durango	12,2	6,784	4,168	2,137	0,94	0,243
Cd. Victoria	12,2	10,51	6,667	3,615	1,744	0,575
Chihuahua	12,2	7,697	4,818	2,556	1,191	0,362
Monterrey	12,2	10,02	6,353	3,444	1,661	0,547
Cd. Juárez	12,2	8,012	5,055	2,718	1,294	0,414
Torreón	12,2	8,612	5,4	2,874	1,346	0,414
N. Laredo	12,2	10,72	6,847	3,757	1,845	0,632
Zona 2						
Tampico	12,2	11,57	7,363	4,017	1,956	0,658
Matamoros	12,2	11,29	7,222	3,973	1,959	0,676
Reynosa	12,2	11,22	7,172	3,942	1,941	0,668
Cd. Mante, Tamp.	12,2	11,42	7,263	3,958	1,924	0,645
Jalapa	12,2	8,405	5,222	2,734	1,246	0,358
Zona 3						
México DF	12,2	9,632	6,432	3,23	1,165	0,244
León	12,2	7,083	4,338	2,213	0,964	0,242
Pachuca	12,2	10,89	7,336	3,756	1,418	0,342
Tulancingo	12,2	10,41	6,995	3,565	1,331	0,311
Queretaro	12,2	11,5	7,762	3,994	1,524	0,379
Guanajuato	12,2	6,601	4,021	2,03	0,867	0,204
Oaxaca	12,2	12,34	8,336	4,297	1,646	0,413
Iguala	12,2	14,79	10,07	5,278	2,096	0,577
Chilpancingo	12,2	13,29	8,989	4,646	1,791	0,457

Cuernavaca	12,2	12,16	8,208	4,229	1,619	0,405
Morelia	12,2	11,08	7,447	3,796	1,418	0,332
Veracruz	12,2	17,17	11,81	6,337	2,633	0,8
Huehuetla, Guan.	12,2	16,21	11,12	5,939	2,445	0,729
Zona 4						
Guadalajara	12,2	12,41	8,388	4,334	1,67	0,426
Mazatlán	12,2	11,47	7,276	3,946	1,905	0,628
Pto. Vallarta	12,2	11,48	7,237	3,886	1,847	0,589
Tepic	12,2	9,136	5,692	2,995	1,377	0,404
Colima	12,2	15,44	10,51	5,518	2,196	0,607
Manzanillo	12,2	17,01	11,62	6,148	2,485	0,712
Pto. Ángel	12,2	17,3	11,85	6,292	2,564	0,748
Acapulco	12,2	17,26	11,79	6,232	2,516	0,719
Uruapan	12,2	11,73	7,898	4,04	1,522	0,364
Laz. Cárdenas	12,2	17,29	11,82	6,247	2,524	0,722
Zamora	12,2	12,25	8,268	4,259	1,63	0,408
Zona 5						
Tuxtla Gtrez.	12,2	15,84	10,85	5,764	2,351	0,687
Villa Hermosa	12,2	16,93	11,66	6,265	2,613	0,8
Tapachula	12,2	16,98	11,66	6,234	2,574	0,771
Coatzacoalcos	12,2	17,05	11,69	6,218	2,543	0,748
Huixtla, Chiapas	12,2	17,12	11,66	6,12	2,437	0,675
Jaltipan de Morelos, Veracruz	12,2	17,35	11,94	6,405	2,663	0,81
Zona 6						
Mérida	12,2	17,89	12,42	6,789	2,919	0,947
Cancún	12,2	17,49	12,16	6,669	2,883	0,945
Chetumal	12,2	17,52	12,14	6,612	2,825	0,906
Campeche	12,2	17,76	12,31	6,699	2,859	0,915
Zona 7						

Tabla b.15 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación Crane- ITU para la frecuencia descendente un enlace satelital en la banda Ku.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad				
		99.99%	99.97%	99.9%	99.7%	99%
Tijuana	14,5	5,684	3,13	1,563	0,61	0,136
Mexicali	14,5	5,692	3,134	1,565	0,61	0,136
Hermosillo	14,5	5,429	2,944	1,438	0,539	0,107
La Paz, B.C.S.	14,5	5,486	2,926	1,395	0,498	0,085
Pto. Escondido	14,5	5,461	2,848	1,309	0,433	0,052
Ensenada	14,5	5,623	3,088	1,536	0,595	0,13
Santa Ana, B.C.	14,5	5,081	2,735	1,322	0,485	0,091

San José del Cabo	14,5	5,564	2,96	1,405	0,497	0,082
N.Casas Grandes, Chi.	14,5	3,916	2,057	0,957	0,325	0,045
Cerros Salsipuedes, B.C.	14,5	3,396	1,692	0,718	0,192	0,001
Zona 1						
Saltillo	14,5	10,69	6,692	3,542	1,639	0,484
Zacatecas	14,5	8,394	5,12	2,583	1,094	0,245
San L. Potosí	14,5	10,34	6,41	3,333	1,495	0,405
Aguascalientes	14,5	10,24	6,332	3,277	1,457	0,385
Culiacán	14,5	15,71	10,04	5,496	2,685	0,903
Durango	14,5	9,663	5,975	3,092	1,375	0,363
Cd. Victoria	14,5	14,98	9,559	5,225	2,545	0,851
Chihuahua	14,5	10,97	6,907	3,695	1,74	0,538
Monterrey	14,5	14,28	9,108	4,978	2,424	0,81
Cd. Juárez	14,5	11,42	7,247	3,928	1,889	0,614
Torreón	14,5	12,27	7,742	4,154	1,965	0,615
N. Laredo	14,5	15,28	9,817	5,43	2,693	0,935
Zona 2						
Tampico	14,5	16,48	10,56	5,806	2,854	0,974
Matamoros	14,5	16,09	10,36	5,742	2,858	1
Reynosa	14,5	15,98	10,28	5,698	2,832	0,989
Cd. Mante, Tamp.	14,5	16,27	10,41	5,72	2,808	0,954
Jalapa	14,5	11,97	7,486	3,953	1,821	0,532
Zona 3						
México DF	14,5	13,64	9,158	4,641	1,698	0,364
León	14,5	10,09	6,22	3,202	1,41	0,361
Pachuca	14,5	15,43	10,44	5,395	2,063	0,507
Tulancingo	14,5	14,74	9,96	5,121	1,938	0,462
Queretaro	14,5	16,29	11,05	5,737	2,218	0,562
Guanajuato	14,5	9,402	5,766	2,938	1,27	0,305
Oaxaca	14,5	17,48	11,87	6,172	2,395	0,613
Iguala	14,5	20,96	14,34	7,58	3,048	0,853
Chilpancingo	14,5	18,83	12,8	6,674	2,606	0,678
Cuernavaca	14,5	17,22	11,69	6,075	2,355	0,602
Morelia	14,5	15,69	10,6	5,453	2,065	0,493
Veracruz	14,5	24,34	16,83	9,102	3,826	1,181
Huehuetla, Guan.	14,5	22,97	15,84	8,53	3,554	1,077
Zona 4						
Guadalajara	14,5	17,57	11,94	6,226	2,429	0,631
Mazatlán	14,5	16,35	10,43	5,704	2,78	0,931
Pto. Vallarta	14,5	16,35	10,37	5,618	2,697	0,873
Tepic	14,5	13,01	8,16	4,33	2,011	0,601
Colima	14,5	21,87	14,97	7,925	3,194	0,899
Manzanillo	14,5	24,1	16,55	8,829	3,613	1,053
Pto. Ángel	14,5	24,52	16,87	9,036	3,727	1,105
Acapulco	14,5	24,45	16,79	8,95	3,658	1,063

Uruapan	14,5	16,62	11,24	5,803	2,215	0,541
Laz. Cárdenas	14,5	24,5	16,82	8,971	3,668	1,068
Zamora	14,5	17,34	11,77	6,118	2,371	0,605
Zona 5						
Tuxtla Gtrez.	14,5	22,44	15,45	8,278	3,418	1,016
Villa Hermosa	14,5	23,99	16,6	8,998	3,797	1,18
Tapachula	14,5	24,06	16,61	8,953	3,74	1,139
Coatzacoalcos	14,5	24,16	16,64	8,93	3,697	1,105
Huixtla, Chiapas	14,5	24,25	16,6	8,79	3,544	0,999
Jaltipan de Morelos, Veracruz	14,5	24,59	17	9,199	3,869	1,195
Zona 6						
Mérida	14,5	25,36	17,7	9,752	4,241	1,397
Cancún	14,5	24,8	17,33	9,581	4,189	1,393
Chetumal	14,5	24,83	17,3	9,497	4,104	1,335
Campeche	14,5	25,18	17,53	9,622	4,153	1,349
Zona 7						

Tabla b.16 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación Crane- ITU para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ku.

Resultados de la combinación España – Crane

Los márgenes de atenuación obtenidos con la combinación España – Crane , se muestran en las tablas b.17 y b.18.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	12,2	3,085	1,874	1,035	0,686	0,374	0,122	0,077
Mexicali	12,2	3,088	1,877	1,036	0,687	0,375	0,123	0,077
Hermosillo	12,2	2,866	1,731	0,952	0,63	0,343	0,112	0,07
La Paz, B.C.S.	12,2	2,839	1,713	0,941	0,623	0,339	0,111	0,069
Pto. Escondido	12,2	2,727	1,642	0,9	0,595	0,324	0,106	0,066
Ensenada	12,2	3,062	1,859	1,026	0,68	0,371	0,121	0,076
Santa Ana, B.C.	12,2	2,753	1,658	0,91	0,601	0,327	0,107	0,067
San José del Cabo	12,2	2,78	1,675	0,919	0,608	0,331	0,108	0,068
N.Casas Grandes, Chi.	12,2	2,187	1,298	0,705	0,464	0,251	0,082	0,051
Cerros Salsipuedes, B.C.	12,2	1,772	1,041	0,56	0,367	0,198	0,064	0,04
Zona 1								
Saltillo	12,2	3,259	2,381	1,378	0,918	0,601	0,296	0,15
Zacatecas	12,2	3,096	2,202	1,349	0,889	0,535	0,27	0,144
San L. Potosí	12,2	3,848	2,771	1,719	1,141	0,691	0,351	0,188

Aguascalientes	12,2	3,817	2,748	1,704	1,131	0,684	0,348	0,186
Culiacán	12,2	4,451	3,317	1,968	1,328	0,877	0,436	0,222
Durango	12,2	3,848	2,771	1,719	1,141	0,691	0,351	0,188
Cd. Victoria	12,2	5,506	4,078	2,608	1,764	1,085	0,559	0,301
Chihuahua	12,2	3,473	2,547	1,48	0,988	0,648	0,32	0,162
Monterrey	12,2	4,173	3,095	1,826	1,228	0,809	0,402	0,204
Cd. Juárez	12,2	2,432	1,453	0,792	0,522	0,283	0,092	0,058
Torreón	12,2	3,677	2,705	1,579	1,057	0,694	0,343	0,173
N. Laredo	12,2	4,528	3,379	2,008	1,356	0,896	0,446	0,227
Zona 2								
Tampico	12,2	5,734	4,264	2,739	1,857	1,145	0,591	0,318
Matamoros	12,2	5,867	4,373	2,817	1,913	1,181	0,61	0,329
Reynosa	12,2	5,839	4,35	2,8	1,901	1,173	0,606	0,327
Cd. Mante, Tamp.	12,2	5,678	4,218	2,707	1,834	1,13	0,583	0,314
Jalapa	12,2	5,393	4,219	2,768	1,952	1,209	0,564	0,3
Zona 3								
México DF	12,2	3,306	2,36	1,451	0,958	0,577	0,292	0,156
León	12,2	3,889	2,803	1,74	1,156	0,7	0,356	0,19
Pachuca	12,2	3,645	2,616	1,617	1,072	0,648	0,329	0,176
Tulancingo	12,2	3,464	2,479	1,528	1,01	0,61	0,309	0,165
Queretaro	12,2	3,863	2,783	1,727	1,147	0,694	0,353	0,189
Guanajuato	12,2	3,64	2,613	1,615	1,07	0,647	0,328	0,175
Oaxaca	12,2	4,147	3,002	1,872	1,247	0,757	0,386	0,206
Iguala	12,2	4,996	3,668	2,324	1,562	0,956	0,49	0,263
Chilpancingo	12,2	4,447	3,235	2,029	1,355	0,825	0,421	0,226
Cuernavaca	12,2	4,199	3,042	1,899	1,266	0,769	0,392	0,21
Morelia	12,2	3,713	2,668	1,652	1,095	0,662	0,336	0,18
Veracruz	12,2	6,975	5,576	3,767	2,705	1,705	0,809	0,434
Huehuetla, Guan.	12,2	5,333	3,938	2,511	1,694	1,04	0,535	0,288
Zona 4								
Guadalajara	12,2	3,188	2,327	1,345	0,895	0,586	0,288	0,146
Mazatlán	12,2	4,442	3,31	1,964	1,325	0,875	0,435	0,221
Pto. Vallarta	12,2	4,358	3,243	1,92	1,294	0,854	0,424	0,215
Tepic	12,2	3,735	2,75	1,607	1,076	0,707	0,349	0,177
Colima	12,2	4,008	2,965	1,743	1,17	0,77	0,382	0,193
Manzanillo	12,2	4,349	3,236	1,916	1,291	0,852	0,423	0,215
Pto. Ángel	12,2	4,353	3,239	1,918	1,292	0,853	0,424	0,215
Acapulco	12,2	7,176	5,742	3,895	2,633	1,658	0,785	0,385
Uruapan	12,2	4,058	2,933	1,826	1,215	0,737	0,375	0,201
Laz. Cárdenas	12,2	4,336	3,225	1,909	1,286	0,849	0,422	0,214
Zamora	12,2	3,144	2,293	1,324	0,881	0,576	0,284	0,143
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	12,2	6,79	5,405	3,64	2,448	1,534	0,723	0,354
Villa Hermosa	12,2	7,359	5,903	4,019	2,724	1,718	0,816	0,401
Tapachula	12,2	7,153	5,722	3,88	2,622	1,65	0,781	0,383
Coatzacoalcos	12,2	9,585	8,058	5,897	4,161	2,546	0,985	0,427

Huixtla, Chiapas	12,2	7,111	5,685	3,852	2,601	1,636	0,775	0,38
Jaltipan de Morelos, Veracruz	12,2	9,622	8,093	5,927	4,184	2,561	0,992	0,43
Zona 6								
Mérida	12,2	7,551	6,073	4,15	2,82	1,783	0,849	0,418
Cancún	12,2	7,655	6,166	4,221	2,873	1,819	0,867	0,427
Chetumal	12,2	7,515	6,041	4,125	2,802	1,771	0,842	0,414
Campeche	12,2	7,484	6,014	4,104	2,787	1,761	0,837	0,412
Zona 7								

Tabla b.17 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación España-Crane para la frecuencia descendente un enlace satelital en la banda Ku.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad							
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%	
Tijuana	14,5	4,464	2,733	1,522	1,015	0,559	0,185	0,117	
Mexicali	14,5	4,468	2,736	1,524	1,016	0,559	0,186	0,117	
Hermosillo	14,5	4,146	2,524	1,4	0,932	0,512	0,17	0,107	
La Paz, B.C.S.	14,5	4,107	2,498	1,385	0,922	0,506	0,168	0,106	
Pto. Escondido	14,5	3,946	2,393	1,324	0,88	0,483	0,16	0,101	
Ensenada	14,5	4,43	2,711	1,509	1,006	0,554	0,184	0,116	
Santa Ana, B.C.	14,5	3,984	2,418	1,338	0,89	0,488	0,162	0,102	
San José del Cabo	14,5	4,021	2,443	1,352	0,899	0,494	0,163	0,103	
N.Casas Grandes, Chi.	14,5	3,165	1,893	1,036	0,686	0,375	0,124	0,078	
Cerros Salsipuedes, B.C.	14,5	2,563	1,517	0,824	0,544	0,296	0,097	0,061	
Zona 1									
Saltillo	14,5	4,68	3,437	2,005	1,344	0,885	0,44	0,224	
Zacatecas	14,5	4,428	3,166	1,953	1,294	0,784	0,4	0,215	
San L. Potosí	14,5	5,502	3,983	2,489	1,662	1,014	0,52	0,28	
Aguascalientes	14,5	5,458	3,95	2,467	1,647	1,004	0,515	0,278	
Culiacán	14,5	6,393	4,787	2,864	1,943	1,291	0,649	0,332	
Durango	14,5	5,502	3,983	2,489	1,662	1,014	0,52	0,28	
Cd. Victoria	14,5	7,873	5,862	3,776	2,569	1,591	0,827	0,449	
Chihuahua	14,5	4,988	3,675	2,154	1,446	0,954	0,475	0,243	
Monterrey	14,5	5,993	4,467	2,656	1,797	1,192	0,597	0,306	
Cd. Juárez	14,5	3,518	2,118	1,165	0,772	0,423	0,14	0,088	
Torreón	14,5	5,281	3,904	2,298	1,546	1,021	0,51	0,26	
N. Laredo	14,5	6,503	4,876	2,921	1,984	1,319	0,663	0,34	
Zona 2									
Tampico	14,5	8,199	6,129	3,965	2,705	1,679	0,875	0,475	
Matamoros	14,5	8,39	6,286	4,078	2,786	1,732	0,903	0,491	
Reynosa	14,5	8,349	6,253	4,054	2,769	1,721	0,897	0,488	
Cd. Mante, Tamp.	14,5	8,118	6,063	3,918	2,671	1,657	0,863	0,469	

Jalapa	14,5	7,681	6,035	3,986	2,826	1,762	0,831	0,446
Zona 3								
México DF	14,5	4,728	3,392	2,1	1,395	0,847	0,433	0,233
León	14,5	5,561	4,029	2,519	1,683	1,027	0,527	0,284
Pachuca	14,5	5,212	3,76	2,342	1,561	0,95	0,487	0,262
Tulancingo	14,5	4,954	3,564	2,212	1,472	0,894	0,458	0,246
Queretaro	14,5	5,524	4	2,501	1,67	1,019	0,523	0,282
Guanajuato	14,5	5,205	3,756	2,339	1,558	0,948	0,486	0,262
Oaxaca	14,5	5,93	4,315	2,711	1,816	1,11	0,571	0,308
Iguala	14,5	7,144	5,273	3,364	2,275	1,402	0,726	0,393
Chilpancingo	14,5	6,358	4,65	2,937	1,974	1,21	0,624	0,337
Cuernavaca	14,5	6,004	4,373	2,75	1,843	1,127	0,58	0,313
Morelia	14,5	5,309	3,835	2,391	1,595	0,971	0,498	0,268
Veracruz	14,5	9,935	7,975	5,424	3,916	2,486	1,193	0,645
Huehuetla, Guan.	14,5	7,625	5,661	3,635	2,467	1,526	0,792	0,429
Zona 4								
Guadalajara	14,5	4,579	3,358	1,957	1,31	0,862	0,429	0,219
Mazatlán	14,5	6,38	4,777	2,857	1,938	1,288	0,647	0,332
Pto. Vallarta	14,5	6,259	4,68	2,794	1,894	1,258	0,631	0,323
Tepic	14,5	5,364	3,969	2,339	1,575	1,041	0,519	0,265
Colima	14,5	5,756	4,279	2,536	1,712	1,134	0,567	0,29
Manzanillo	14,5	6,246	4,67	2,787	1,889	1,255	0,629	0,322
Pto. Ángel	14,5	6,252	4,674	2,79	1,891	1,256	0,63	0,323
Acapulco	14,5	10,21	8,206	5,604	3,813	2,417	1,157	0,574
Uruapan	14,5	5,802	4,215	2,644	1,77	1,081	0,555	0,3
Laz. Cárdenas	14,5	6,228	4,655	2,777	1,882	1,25	0,627	0,321
Zamora	14,5	4,515	3,309	1,927	1,29	0,848	0,422	0,215
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	14,5	9,663	7,724	5,237	3,544	2,236	1,066	0,527
Villa Hermosa	14,5	10,47	8,436	5,782	3,943	2,505	1,202	0,597
Tapachula	14,5	10,18	8,176	5,582	3,796	2,406	1,152	0,571
Coatzacoalcos	14,5	13,56	11,44	8,425	5,981	3,688	1,447	0,635
Huixtla, Chiapas	14,5	10,12	8,123	5,541	3,766	2,386	1,141	0,566
Jaltipan de Morelos, Veracruz	14,5	13,61	11,49	8,467	6,015	3,711	1,457	0,639
Zona 6								
Mérida	14,5	10,75	8,679	5,97	4,083	2,6	1,251	0,621
Cancún	14,5	10,89	8,811	6,073	4,16	2,653	1,278	0,635
Chetumal	14,5	10,69	8,633	5,935	4,057	2,582	1,241	0,617
Campeche	14,5	10,65	8,594	5,904	4,034	2,567	1,234	0,613
Zona 7								

Tabla b.18 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación España-Crane para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ku.

Resultados de la combinación España – ITU

Los márgenes de atenuación obtenidos con la combinación España – ITU , se muestran en las tablas b.19 y b.20.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad				
		99.99%	99.97%	99.9%	99.7%	99%
Tijuana	12,2	2,955	1,596	0,756	0,27	0,055
Mexicali	12,2	2,958	1,598	0,756	0,271	0,055
Hermosillo	12,2	2,743	1,472	0,694	0,247	0,05
La Paz, B.C.S.	12,2	2,717	1,457	0,686	0,245	0,05
Pto. Escondido	12,2	2,609	1,395	0,655	0,233	0,047
Ensenada	12,2	2,932	1,583	0,749	0,268	0,055
Santa Ana, B.C.	12,2	2,635	1,409	0,663	0,236	0,048
San José del Cabo	12,2	2,66	1,424	0,67	0,239	0,049
N.Casas Grandes, Chi.	12,2	2,09	1,099	0,511	0,181	0,037
Cerros Salsipuedes, B.C.	12,2	1,691	0,879	0,405	0,143	0,029
Zona 1						
Saltillo	12,2	5,341	3,514	1,929	0,918	0,296
Zacatecas	12,2	3,953	2,526	1,349	0,63	0,2
San L. Potosí	12,2	4,858	3,163	1,719	0,813	0,261
Aguascalientes	12,2	4,821	3,137	1,704	0,805	0,258
Culiacán	12,2	6,998	4,774	2,716	1,328	0,436
Durango	12,2	4,857	3,163	1,719	0,813	0,261
Cd. Victoria	12,2	6,784	4,606	2,608	1,27	0,416
Chihuahua	12,2	5,649	3,741	2,067	0,988	0,32
Monterrey	12,2	6,623	4,481	2,528	1,228	0,402
Cd. Juárez	12,2	6,204	4,159	2,325	1,121	0,365
Torreón	12,2	5,938	3,958	2,2	1,057	0,343
N. Laredo	12,2	7,1	4,854	2,769	1,356	0,446
Zona 2						
Tampico	12,2	7,042	4,809	2,739	1,34	0,44
Matamoros	12,2	7,192	4,928	2,817	1,381	0,455
Reynosa	12,2	7,161	4,903	2,8	1,373	0,452
Cd. Mante, Tamp.	12,2	6,979	4,759	2,707	1,323	0,434
Jalapa	12,2	5,393	3,552	1,952	0,93	0,3
Zona 3						
México DF	12,2	6,091	4,333	2,36	0,958	0,28
León	12,2	4,906	3,198	1,74	0,823	0,264
Pachuca	12,2	6,616	4,749	2,616	1,072	0,314
Tulancingo	12,2	6,338	4,528	2,479	1,01	0,296
Queretaro	12,2	6,946	5,015	2,783	1,147	0,338

Guanajuato	12,2	4,61	2,986	1,615	0,761	0,244
Oaxaca	12,2	7,367	5,358	3,002	1,247	0,369
Iguala	12,2	8,566	6,365	3,668	1,562	0,469
Chilpancingo	12,2	7,8	5,717	3,235	1,355	0,403
Cuernavaca	12,2	7,443	5,421	3,042	1,266	0,375
Morelia	12,2	6,72	4,832	2,668	1,095	0,322
Veracruz	12,2	9,466	7,149	4,215	1,833	0,557
Huehuetla, Guan.	12,2	9,019	6,756	3,938	1,694	0,512
Zona 4						
Guadalajara	12,2	7,4	5,385	3,019	1,255	0,371
Mazatlán	12,2	6,986	4,765	2,71	1,325	0,435
Pto. Vallarta	12,2	6,873	4,676	2,653	1,294	0,424
Tepic	12,2	6,019	4,018	2,237	1,076	0,349
Colima	12,2	8,798	6,564	3,805	1,629	0,491
Manzanillo	12,2	9,337	7,034	4,134	1,792	0,544
Pto. Ángel	12,2	9,343	7,04	4,137	1,793	0,544
Acapulco	12,2	9,305	7,007	4,114	1,782	0,541
Uruapan	12,2	7,236	5,25	2,933	1,215	0,359
Laz. Cárdenas	12,2	9,317	7,017	4,121	1,785	0,542
Zamora	12,2	7,32	5,319	2,977	1,235	0,365
Zona 5						
Tuxtla Gtrez.	12,2	8,869	6,626	3,848	1,65	0,497
Villa Hermosa	12,2	9,509	7,187	4,242	1,846	0,562
Tapachula	12,2	9,279	6,983	4,098	1,773	0,538
Coatzacoalcos	12,2	9,381	7,073	4,161	1,805	0,548
Huixtla, Chiapas	12,2	9,231	6,942	4,068	1,759	0,533
Jaltipan de Morelos, Veracruz	12,2	9,418	7,106	4,184	1,817	0,552
Zona 6						
Mérida	12,2	9,722	7,377	4,379	1,916	0,585
Cancún	12,2	9,837	7,48	4,453	1,954	0,598
Chetumal	12,2	9,682	7,341	4,353	1,903	0,581
Campeche	12,2	9,648	7,311	4,331	1,891	0,577
Zona 7						

Tabla b.19 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación España-ITU para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ku.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad				
		99.99%	99.97%	99.9%	99.7%	99%
Tijuana	14,5	4,278	2,333	1,116	0,405	0,084
Mexicali	14,5	4,282	2,335	1,117	0,406	0,084
Hermosillo	14,5	3,971	2,152	1,025	0,371	0,077
La Paz, B.C.S.	14,5	3,933	2,129	1,014	0,367	0,076

Pto. Escondido	14,5	3,778	2,038	0,968	0,35	0,073
Ensenada	14,5	4,245	2,313	1,106	0,401	0,084
Santa Ana, B.C.	14,5	3,814	2,059	0,979	0,354	0,073
San José del Cabo	14,5	3,851	2,081	0,989	0,358	0,074
N.Casas Grandes, Chi.	14,5	3,026	1,607	0,755	0,271	0,056
Cerros Salsipuedes, B.C.	14,5	2,448	1,284	0,599	0,214	0,044
Zona 1						
Saltillo	14,5	7,608	5,041	2,793	1,344	0,44
Zacatecas	14,5	5,63	3,623	1,953	0,922	0,298
San L. Potosí	14,5	6,919	4,537	2,489	1,19	0,388
Aguascalientes	14,5	6,867	4,5	2,467	1,178	0,384
Culiacán	14,5	9,968	6,848	3,933	1,943	0,649
Durango	14,5	6,919	4,537	2,489	1,19	0,388
Cd. Victoria	14,5	9,663	6,607	3,776	1,859	0,619
Chihuahua	14,5	8,046	5,367	2,992	1,446	0,475
Monterrey	14,5	9,434	6,427	3,66	1,797	0,597
Cd. Juárez	14,5	8,836	5,965	3,366	1,641	0,542
Torreón	14,5	8,458	5,677	3,185	1,546	0,51
N. Laredo	14,5	10,11	6,963	4,008	1,984	0,663
Zona 2						
Tampico	14,5	10,03	6,898	3,965	1,961	0,655
Matamoros	14,5	10,24	7,068	4,078	2,022	0,676
Reynosa	14,5	10,2	7,032	4,054	2,009	0,672
Cd. Mante, Tamp.	14,5	9,94	6,826	3,918	1,935	0,646
Jalapa	14,5	7,681	5,095	2,826	1,361	0,446
Zona 3						
México DF	14,5	8,621	6,168	3,392	1,395	0,414
León	14,5	6,988	4,588	2,519	1,205	0,393
Pachuca	14,5	9,363	6,761	3,76	1,561	0,466
Tulancingo	14,5	8,97	6,446	3,564	1,472	0,438
Queretaro	14,5	9,831	7,14	4	1,67	0,5
Guanajuato	14,5	6,566	4,283	2,339	1,114	0,362
Oaxaca	14,5	10,43	7,628	4,315	1,816	0,546
Iguala	14,5	12,12	9,061	5,273	2,275	0,695
Chilpancingo	14,5	11,04	8,138	4,65	1,974	0,597
Cuernavaca	14,5	10,53	7,717	4,373	1,843	0,555
Morelia	14,5	9,511	6,88	3,835	1,595	0,476
Veracruz	14,5	13,4	10,18	6,059	2,669	0,826
Huehuetla, Guan.	14,5	12,77	9,619	5,661	2,467	0,758
Zona 4						
Guadalajara	14,5	10,47	7,667	4,34	1,828	0,55
Mazatlán	14,5	9,951	6,834	3,924	1,938	0,647
Pto. Vallarta	14,5	9,79	6,707	3,841	1,894	0,631
Tepic	14,5	8,573	5,764	3,239	1,575	0,519
Colima	14,5	12,45	9,346	5,47	2,372	0,727

Manzanillo	14,5	13,21	10,01	5,942	2,609	0,806
Pto. Ángel	14,5	13,22	10,02	5,947	2,612	0,807
Acapulco	14,5	13,17	9,975	5,913	2,595	0,801
Uruapan	14,5	10,24	7,475	4,215	1,77	0,532
Laz. Cárdenas	14,5	13,19	9,989	5,924	2,6	0,803
Zamora	14,5	10,36	7,573	4,279	1,799	0,541
Zona 5						
Tuxtla Gtrez.	14,5	12,55	9,433	5,531	2,402	0,737
Villa Hermosa	14,5	13,46	10,23	6,098	2,689	0,832
Tapachula	14,5	13,13	9,942	5,89	2,583	0,797
Coatzacoalcos	14,5	13,28	10,07	5,981	2,629	0,812
Huixtla, Chiapas	14,5	13,07	9,883	5,848	2,562	0,79
Jaltipan de Morelos, Veracruz	14,5	13,33	10,12	6,015	2,646	0,818
Zona 6						
Mérida	14,5	13,76	10,5	6,294	2,79	0,867
Cancún	14,5	13,92	10,65	6,401	2,846	0,886
Chetumal	14,5	13,7	10,45	6,257	2,771	0,86
Campeche	14,5	13,66	10,41	6,225	2,755	0,855
Zona 7						

Tabla b.20 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación España-ITU para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ku.

Resultados de la combinación Korea – Crane

Los márgenes de atenuación obtenidos con la combinación Korea – Crane , se muestran en las tablas b.21 y b.22.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	12,2	3,575	2,379	1,509	1,118	0,729	0,341	0,25
Mexicali	12,2	3,587	2,388	1,516	1,123	0,732	0,342	0,251
Hermosillo	12,2	3,182	2,135	1,366	1,017	0,667	0,314	0,23
La Paz, B.C.S.	12,2	3,098	2,096	1,353	1,012	0,667	0,316	0,232
Pto. Escondido	12,2	2,771	1,886	1,225	0,919	0,608	0,289	0,213
Ensenada	12,2	3,531	2,353	1,495	1,108	0,723	0,339	0,248
Santa Ana, B.C.	12,2	2,982	2,001	1,281	0,954	0,625	0,294	0,216
San José del Cabo	12,2	2,987	2,024	1,309	0,979	0,646	0,306	0,225
N.Casas Grandes, Chi.	12,2	2,135	1,429	0,912	0,678	0,444	0,209	0,153
Cerros Salsipuedes, B.C.	12,2	1,48	1,003	0,648	0,485	0,32	0,152	0,112

Zona 1								
Saltillo	12,2	2,661	2,074	1,368	1,017	0,752	0,461	0,291
Zacatecas	12,2	1,861	1,433	0,996	0,737	0,515	0,323	0,212
San L. Potosí	12,2	2,688	2,07	1,438	1,065	0,745	0,467	0,306
Aguascalientes	12,2	2,647	2,039	1,418	1,05	0,736	0,461	0,303
Culiacán	12,2	4,51	3,52	2,329	1,734	1,286	0,79	0,5
Durango	12,2	2,758	2,123	1,473	1,089	0,761	0,477	0,312
Cd. Victoria	12,2	5,202	4	2,771	2,046	1,428	0,892	0,584
Chihuahua	12,2	3,038	2,363	1,552	1,15	0,849	0,519	0,327
Monterrey	12,2	4,022	3,133	2,065	1,534	1,134	0,695	0,438
Cd. Juárez	12,2	2,504	1,671	1,064	0,79	0,516	0,242	0,177
Torreón	12,2	3,256	2,539	1,676	1,246	0,922	0,566	0,357
N. Laredo	12,2	4,667	3,628	2,383	1,765	1,302	0,796	0,501
Zona 2								
Tampico	12,2	5,576	4,29	2,976	2,199	1,536	0,961	0,629
Matamoros	12,2	5,925	4,547	3,138	2,309	1,605	0,999	0,652
Reynosa	12,2	5,882	4,514	3,116	2,293	1,594	0,993	0,648
Cd. Mante, Tamp.	12,2	5,492	4,226	2,931	2,166	1,513	0,947	0,62
Jalapa	12,2	3,842	3,121	2,222	1,699	1,192	0,695	0,452
Zona 3								
México DF	12,2	1,964	1,514	1,054	0,782	0,548	0,344	0,226
León	12,2	2,71	2,088	1,453	1,077	0,755	0,474	0,311
Pachuca	12,2	2,369	1,825	1,27	0,941	0,659	0,414	0,271
Tulancingo	12,2	2,157	1,662	1,156	0,857	0,6	0,376	0,247
Queretaro	12,2	2,656	2,047	1,424	1,056	0,74	0,464	0,305
Guanajuato	12,2	2,404	1,853	1,289	0,955	0,669	0,42	0,276
Oaxaca	12,2	2,888	2,227	1,552	1,152	0,809	0,508	0,334
Iguala	12,2	4,187	3,231	2,253	1,673	1,174	0,739	0,485
Chilpancingo	12,2	3,332	2,572	1,795	1,333	0,937	0,59	0,388
Cuernavaca	12,2	3,031	2,338	1,629	1,208	0,848	0,533	0,35
Morelia	12,2	2,45	1,89	1,317	0,977	0,685	0,431	0,283
Veracruz	12,2	6,503	5,282	3,76	2,874	2,017	1,176	0,764
Huehuetla, Guan.	12,2	4,8	3,697	2,57	1,903	1,332	0,836	0,548
Zona 4								
Guadalajara	12,2	2,466	1,93	1,284	0,959	0,713	0,44	0,279
Mazatlán	12,2	4,466	3,49	2,314	1,726	1,281	0,789	0,499
Pto. Vallarta	12,2	4,265	3,339	2,222	1,661	1,236	0,763	0,484
Tepic	12,2	3,261	2,552	1,696	1,267	0,941	0,581	0,368
Colima	12,2	3,64	2,852	1,9	1,422	1,059	0,654	0,415
Manzanillo	12,2	4,218	3,306	2,204	1,649	1,228	0,759	0,482
Pto. Ángel	12,2	4,104	3,215	2,142	1,602	1,193	0,737	0,467
Acapulco	12,2	6,475	5,264	3,768	2,754	1,941	1,138	0,699
Uruapan	12,2	2,874	2,217	1,546	1,148	0,806	0,507	0,333
Laz. Cárdenas	12,2	4,164	3,265	2,177	1,63	1,214	0,751	0,477
Zamora	12,2	2,388	1,87	1,244	0,93	0,692	0,427	0,271

Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	12,2	5,564	4,521	3,227	2,351	1,651	0,964	0,59
Villa Hermosa	12,2	6,804	5,526	3,939	2,864	2,007	1,168	0,714
Tapachula	12,2	6,256	5,083	3,628	2,643	1,856	1,083	0,664
Coatzacoalcos	12,2	8,869	7,418	5,513	4,063	2,731	1,354	0,759
Huixtla, Chiapas	12,2	6,277	5,105	3,657	2,676	1,888	1,11	0,682
Jaltipan de Morelos, Veracruz	12,2	8,833	7,392	5,491	4,042	2,71	1,337	0,747
Zona 6								
Mérida	12,2	7,268	5,896	4,185	3,026	2,107	1,216	0,739
Cancún	12,2	7,449	6,04	4,278	3,084	2,14	1,229	0,744
Chetumal	12,2	7,071	5,737	4,076	2,95	2,056	1,188	0,723
Campeche	12,2	7,097	5,76	4,094	2,966	2,07	1,198	0,729
Zona 7								

Tabla b.21 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación Korea-Crane para la frecuencia descendente un enlace satelital en la banda Ku.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	14,5	5,172	3,468	2,22	1,653	1,087	0,516	0,381
Mexicali	14,5	5,19	3,481	2,229	1,661	1,092	0,519	0,383
Hermosillo	14,5	4,603	3,112	2,009	1,504	0,995	0,475	0,351
La Paz, B.C.S.	14,5	4,482	3,056	1,99	1,497	0,995	0,478	0,354
Pto. Escondido	14,5	4,009	2,75	1,802	1,359	0,907	0,438	0,324
Ensenada	14,5	5,108	3,43	2,199	1,64	1,079	0,513	0,379
Santa Ana, B.C.	14,5	4,314	2,918	1,884	1,411	0,933	0,446	0,33
San José del Cabo	14,5	4,322	2,951	1,924	1,449	0,964	0,464	0,343
N.Casas Grandes, Chi.	14,5	3,088	2,083	1,342	1,003	0,662	0,316	0,233
Cerros Salsipuedes, B.C.	14,5	2,141	1,462	0,953	0,717	0,477	0,23	0,17
Zona 1								
Saltillo	14,5	3,822	2,993	1,99	1,488	1,107	0,685	0,437
Zacatecas	14,5	2,661	2,06	1,441	1,073	0,756	0,478	0,316
San L. Potosi	14,5	3,844	2,976	2,082	1,551	1,093	0,691	0,457
Aguascalientes	14,5	3,785	2,932	2,053	1,53	1,079	0,683	0,452
Culiacán	14,5	6,477	5,08	3,388	2,538	1,893	1,174	0,749
Durango	14,5	3,944	3,051	2,133	1,586	1,117	0,706	0,466
Cd. Victoria	14,5	7,439	5,75	4,012	2,98	2,094	1,321	0,872
Chihuahua	14,5	4,363	3,41	2,258	1,683	1,25	0,771	0,49
Monterrey	14,5	5,776	4,521	3,004	2,244	1,67	1,033	0,658
Cd. Juárez	14,5	3,623	2,437	1,565	1,168	0,77	0,366	0,27
Torreón	14,5	4,676	3,664	2,438	1,824	1,358	0,841	0,536
N. Laredo	14,5	6,702	5,236	3,467	2,583	1,917	1,183	0,752

Zona 2								
Tampico	14,5	7,973	6,167	4,308	3,203	2,254	1,423	0,94
Matamoros	14,5	8,472	6,536	4,543	3,363	2,355	1,479	0,973
Reynosa	14,5	8,41	6,488	4,511	3,34	2,339	1,47	0,967
Cd. Mante, Tamp.	14,5	7,853	6,074	4,243	3,155	2,219	1,402	0,926
Jalapa	14,5	5,473	4,465	3,2	2,459	1,738	1,025	0,672
Zona 3								
México DF	14,5	2,808	2,177	1,526	1,139	0,804	0,51	0,338
León	14,5	3,874	3,002	2,104	1,569	1,107	0,701	0,464
Pachuca	14,5	3,387	2,624	1,838	1,37	0,967	0,612	0,405
Tulancingo	14,5	3,085	2,389	1,674	1,248	0,88	0,557	0,369
Queretaro	14,5	3,797	2,942	2,062	1,538	1,085	0,688	0,455
Guanajuato	14,5	3,437	2,663	1,866	1,391	0,982	0,622	0,412
Oaxaca	14,5	4,129	3,202	2,247	1,678	1,186	0,753	0,499
Iguala	14,5	5,988	4,644	3,261	2,436	1,722	1,094	0,725
Chilpancingo	14,5	4,765	3,697	2,598	1,942	1,374	0,873	0,579
Cuernavaca	14,5	4,334	3,36	2,358	1,76	1,243	0,789	0,522
Morelia	14,5	3,504	2,716	1,906	1,423	1,005	0,638	0,422
Veracruz	14,5	9,263	7,556	5,415	4,161	2,94	1,733	1,136
Huehuetla, Guan.	14,5	6,864	5,315	3,721	2,772	1,954	1,237	0,818
Zona 4								
Guadalajara	14,5	3,542	2,786	1,868	1,404	1,05	0,654	0,419
Mazatlán	14,5	6,413	5,037	3,367	2,526	1,886	1,173	0,749
Pto. Vallarta	14,5	6,125	4,819	3,233	2,431	1,819	1,134	0,726
Tepic	14,5	4,684	3,683	2,467	1,854	1,386	0,863	0,552
Colima	14,5	5,227	4,116	2,765	2,081	1,559	0,973	0,623
Manzanillo	14,5	6,057	4,771	3,206	2,414	1,808	1,129	0,723
Pto. Ángel	14,5	5,894	4,64	3,116	2,345	1,756	1,095	0,701
Acapulco	14,5	9,214	7,523	5,421	3,986	2,83	1,678	1,041
Uruapan	14,5	4,109	3,187	2,238	1,672	1,182	0,75	0,497
Laz. Cárdenas	14,5	5,981	4,712	3,168	2,386	1,788	1,116	0,715
Zamora	14,5	3,43	2,699	1,81	1,361	1,018	0,635	0,406
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	14,5	7,918	6,46	4,643	3,403	2,407	1,42	0,878
Villa Hermosa	14,5	9,682	7,897	5,667	4,146	2,926	1,721	1,063
Tapachula	14,5	8,902	7,263	5,22	3,826	2,706	1,597	0,988
Coatzacoalcos	14,5	12,55	10,53	7,876	5,841	3,957	1,989	1,128
Huixtla, Chiapas	14,5	8,932	7,295	5,261	3,874	2,753	1,635	1,016
Jaltipan de Morelos, Veracruz	14,5	12,5	10,5	7,845	5,81	3,926	1,965	1,111
Zona 6								
Mérida	14,5	10,34	8,426	6,021	4,381	3,072	1,792	1,1
Cancún	14,5	10,6	8,632	6,155	4,465	3,12	1,811	1,108
Chetumal	14,5	10,06	8,199	5,864	4,271	2,998	1,751	1,076
Campeche	14,5	10,1	8,231	5,891	4,294	3,018	1,765	1,086
Zona 7								

Tabla b.22 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación Korea-Crane para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ku.

Resultados de la combinación Korea – ITU

Los márgenes de atenuación obtenidos con la combinación Korea – ITU , se muestran en las tablas b.23 y b.24.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad				
		99.99%	99.97%	99.9%	99.7%	99%
Tijuana	12,2	3,447	2,097	1,198	0,582	0,201
Mexicali	12,2	3,459	2,105	1,203	0,585	0,202
Hermosillo	12,2	3,07	1,887	1,089	0,534	0,185
La Paz, B.C.S.	12,2	2,991	1,857	1,082	0,535	0,187
Pto. Escondido	12,2	2,677	1,674	0,982	0,489	0,171
Ensenada	12,2	3,405	2,075	1,188	0,578	0,2
Santa Ana, B.C.	12,2	2,877	1,769	1,021	0,501	0,174
San José del Cabo	12,2	2,885	1,794	1,047	0,519	0,181
N.Casas Grandes, Chi.	12,2	2,059	1,262	0,726	0,355	0,123
Cerros Salsipuedes, B.C.	12,2	1,429	0,889	0,519	0,257	0,09
Zona 1						
Saltillo	12,2	4,021	2,829	1,762	1,017	0,461
Zacatecas	12,2	2,256	1,59	0,996	0,578	0,264
San L. Potosí	12,2	3,258	2,297	1,438	0,835	0,382
Aguascalientes	12,2	3,207	2,263	1,418	0,825	0,377
Culiacán	12,2	6,803	4,794	2,995	1,734	0,79
Durango	12,2	3,343	2,356	1,473	0,854	0,389
Cd. Victoria	12,2	6,308	4,442	2,771	1,602	0,728
Chihuahua	12,2	4,6	3,231	2,004	1,15	0,519
Monterrey	12,2	6,079	4,276	2,661	1,534	0,695
Cd. Juárez	12,2	5,589	3,917	2,415	1,375	0,614
Torreón	12,2	4,918	3,462	2,158	1,246	0,566
N. Laredo	12,2	7,067	4,964	3,078	1,765	0,796
Zona 2						
Tampico	12,2	6,76	4,763	2,976	1,723	0,785
Matamoros	12,2	7,19	5,054	3,138	1,803	0,815
Reynosa	12,2	7,137	5,017	3,116	1,791	0,809
Cd. Mante, Tamp.	12,2	6,658	4,691	2,931	1,697	0,773
Jalapa	12,2	3,842	2,711	1,699	0,988	0,452

Zona 3						
México DF	12,2	3,232	2,436	1,514	0,782	0,334
León	12,2	3,283	2,317	1,453	0,846	0,387
Pachuca	12,2	3,899	2,939	1,825	0,941	0,401
Tulancingo	12,2	3,55	2,676	1,662	0,857	0,365
Queretaro	12,2	4,37	3,294	2,047	1,056	0,451
Guanajuato	12,2	2,912	2,055	1,289	0,75	0,344
Oaxaca	12,2	4,752	3,581	2,227	1,152	0,493
Iguala	12,2	6,891	5,192	3,231	1,673	0,717
Chilpancingo	12,2	5,483	4,131	2,572	1,333	0,572
Cuernavaca	12,2	4,988	3,759	2,338	1,208	0,517
Morelia	12,2	4,032	3,039	1,89	0,977	0,418
Veracruz	12,2	8,833	6,659	4,134	2,129	0,907
Huehuetla, Guan.	12,2	7,9	5,956	3,697	1,903	0,811
Zona 4						
Guadalajara	12,2	5,041	3,799	2,362	1,221	0,522
Mazatlán	12,2	6,728	4,745	2,971	1,726	0,789
Pto. Vallarta	12,2	6,414	4,53	2,847	1,661	0,763
Tepic	12,2	4,908	3,464	2,175	1,267	0,581
Colima	12,2	7,433	5,6	3,487	1,808	0,776
Manzanillo	12,2	8,612	6,488	4,041	2,096	0,9
Pto. Ángel	12,2	8,382	6,316	3,931	2,037	0,874
Acapulco	12,2	8,401	6,329	3,943	2,047	0,88
Uruapan	12,2	4,729	3,563	2,217	1,148	0,492
Laz. Cárdenas	12,2	8,501	6,404	3,99	2,071	0,89
Zamora	12,2	4,881	3,678	2,288	1,183	0,507
Zona 5						
Tuxtla Gtrez.	12,2	7,215	5,438	3,379	1,742	0,744
Villa Hermosa	12,2	8,819	6,65	4,125	2,119	0,9
Tapachula	12,2	8,112	6,114	3,799	1,959	0,836
Coatzacoalcos	12,2	8,668	6,532	4,063	2,102	0,9
Huixtla, Chiapas	12,2	8,147	6,135	3,826	1,991	0,858
Jaltipan de Morelos, Veracruz	12,2	8,634	6,509	4,042	2,082	0,887
Zona 6						
Mérida	12,2	9,411	7,103	4,386	2,226	0,934
Cancún	12,2	9,64	7,28	4,484	2,263	0,942
Chetumal	12,2	9,157	6,91	4,27	2,173	0,914
Campeche	12,2	9,193	6,936	4,29	2,186	0,921
Zona 7						

Tabla b.23 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación Korea-ITU para la frecuencia descendente un enlace satelital en la banda Ku.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad				
		99.99%	99.97%	99.9%	99.7%	99%
Tijuana	14,5	4,99	3,065	1,77	0,872	0,307
Mexicali	14,5	5,008	3,077	1,778	0,876	0,309
Hermosillo	14,5	4,445	2,757	1,609	0,8	0,284
La Paz, B.C.S.	14,5	4,331	2,714	1,599	0,802	0,286
Pto. Escondido	14,5	3,876	2,447	1,451	0,732	0,262
Ensenada	14,5	4,929	3,033	1,755	0,866	0,306
Santa Ana, B.C.	14,5	4,166	2,585	1,509	0,75	0,266
San José del Cabo	14,5	4,176	2,622	1,547	0,777	0,277
N.Casas Grandes, Chi.	14,5	2,981	1,844	1,073	0,532	0,188
Cerros Salsipuedes, B.C.	14,5	2,069	1,299	0,766	0,385	0,137
Zona 1						
Saltillo	14,5	5,727	4,059	2,551	1,488	0,685
Zacatecas	14,5	3,213	2,281	1,441	0,846	0,392
San L. Potosí	14,5	4,64	3,295	2,082	1,222	0,567
Aguascalientes	14,5	4,568	3,246	2,053	1,207	0,561
Culiacán	14,5	9,69	6,876	4,336	2,538	1,174
Durango	14,5	4,762	3,38	2,133	1,25	0,579
Cd. Victoria	14,5	8,985	6,372	4,012	2,345	1,083
Chihuahua	14,5	6,551	4,635	2,902	1,683	0,771
Monterrey	14,5	8,659	6,134	3,853	2,244	1,033
Cd. Juárez	14,5	7,961	5,619	3,496	2,012	0,913
Torreón	14,5	7,004	4,965	3,124	1,824	0,841
N. Laredo	14,5	10,07	7,12	4,456	2,583	1,183
Zona 2						
Tampico	14,5	9,628	6,832	4,308	2,522	1,167
Matamoros	14,5	10,24	7,249	4,543	2,639	1,211
Reynosa	14,5	10,17	7,196	4,511	2,621	1,203
Cd. Mante, Tamp.	14,5	9,483	6,729	4,243	2,484	1,149
Jalapa	14,5	5,473	3,888	2,459	1,445	0,672
Zona 3						
México DF	14,5	4,574	3,468	2,177	1,139	0,495
León	14,5	4,676	3,323	2,104	1,238	0,576
Pachuca	14,5	5,518	4,184	2,624	1,37	0,595
Tulancingo	14,5	5,025	3,81	2,389	1,248	0,541
Queretaro	14,5	6,185	4,69	2,942	1,538	0,668
Guanajuato	14,5	4,148	2,948	1,866	1,098	0,511
Oaxaca	14,5	6,725	5,098	3,202	1,678	0,731
Iguala	14,5	9,752	7,391	4,644	2,436	1,062
México DF	14,5	4,574	3,468	2,177	1,139	0,495
Chilpancingo	14,5	7,76	5,881	3,697	1,942	0,848
Cuernavaca	14,5	7,059	5,351	3,36	1,76	0,766
Morelia	14,5	5,707	4,326	2,716	1,423	0,619
Veracruz	14,5	12,5	9,48	5,943	3,1	1,343

Zona 4						
Guadalajara	14,5	7,135	5,408	3,396	1,778	0,774
Mazatlán	14,5	9,583	6,806	4,302	2,526	1,173
Pto. Vallarta	14,5	9,135	6,498	4,122	2,431	1,134
Tepic	14,5	6,99	4,97	3,148	1,854	0,863
Colima	14,5	10,52	7,973	5,012	2,633	1,149
Manzanillo	14,5	12,19	9,236	5,808	3,053	1,334
Pto. Ángel	14,5	11,86	8,991	5,651	2,967	1,294
Acapulco	14,5	11,89	9,01	5,668	2,982	1,304
Uruapan	14,5	6,692	5,072	3,187	1,672	0,729
Laz. Cárdenas	14,5	12,03	9,117	5,735	3,017	1,319
Zamora	14,5	6,908	5,236	3,288	1,723	0,75
Zona 5						
Tuxtla Gtrez.	14,5	10,21	7,742	4,857	2,538	1,102
Villa Hermosa	14,5	12,48	9,467	5,929	3,086	1,334
Tapachula	14,5	11,48	8,704	5,46	2,853	1,238
Coatzacoalcos	14,5	12,27	9,299	5,841	3,061	1,333
Huixtla, Chiapas	14,5	11,53	8,735	5,5	2,9	1,271
Jaltipán de Morelos, Veracruz	14,5	12,22	9,266	5,81	3,032	1,314
Zona 6						
Mérida	14,5	13,32	10,11	6,304	3,243	1,383
Cancún	14,5	13,64	10,36	6,446	3,295	1,396
Chetumal	14,5	12,96	9,838	6,138	3,164	1,353
Campeche	14,5	13,01	9,875	6,166	3,184	1,365
Zona 7						

Tabla b.24 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación Korea-ITU para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ku.

Resultados obtenidos en banda Ka.

El análisis se realizó para las frecuencias de 20.2 GHz y 27.5 GHz, que son la frecuencia descendente y ascendente respectivamente para un enlace en la banda Ka, empleando el satélite ACTS de la NASA ubicado en la posición orbital de 100 W, los parámetros geográficos de cada ciudad mostrados en la tabla 5.1 y los márgenes de precipitación pluvial obtenidos para cada modelo anteriormente.

Resultados de la combinación DAH – Crane

Los resultados obtenidos correspondientes al margen de atenuación para cada ciudad utilizando el modelo de atenuación DAH junto con el modelo de precipitación pluvial Global de Crane en función de la disponibilidad para la frecuencia descendente de la banda Ka se muestran en las tablas de la b.25 y b.26

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	20,2	12,33	9,343	6,163	4,331	2,94	1,66	1,016
Mexicali	20,2	12,314	9,328	6,151	4,321	2,933	1,656	1,015
Hermosillo	20,2	12,23	9,359	6,251	4,427	3,019	1,693	1,006
La Paz, B.C.S.	20,2	13,263	10,34	7,065	5,08	3,5	1,948	1,11
Pto. Escondido	20,2	13,043	10,48	7,441	5,482	3,831	2,089	1,088
Ensenada	20,2	12,386	9,403	6,218	4,377	2,974	1,677	1,022
Santa Ana, B.C.	20,2	11,896	9,105	6,081	4,307	2,936	1,643	0,973
San José del Cabo	20,2	13,272	10,38	7,125	5,137	3,545	1,969	1,111
N.Casas Grandes, Chi.	20,2	9,253	6,994	4,597	3,218	2,172	1,206	0,719
Cerros Salsipuedes, B.C.	20,2	9,0709	7,007	4,732	3,37	2,298	1,257	0,702
Zona 1								
Saltillo	20,2	14,331	11,16	7,617	5,475	3,775	2,113	1,219
Zacatecas	20,2	15,331	12,07	8,354	6,061	4,205	2,347	1,322
San L. Potosi	20,2	17,548	13,9	9,704	7,082	4,94	2,768	1,556
Aguascalientes	20,2	17,524	13,9	9,709	7,091	4,947	2,771	1,554
Culiacán	20,2	18,748	14,74	10,2	7,404	5,151	2,912	1,686
Durango	20,2	17,086	13,44	9,292	6,74	4,682	2,632	1,507
Cd. Victoria	20,2	22,451	17,83	12,49	9,143	6,409	3,641	2,095
Chihuahua	20,2	14,084	10,85	7,302	5,202	3,567	2,009	1,193
Monterrey	20,2	17,308	13,54	9,309	6,726	4,663	2,632	1,531

Cd. Juárez	20,2	9,9506	7,51	4,927	3,447	2,328	1,3	0,785
Torreón	20,2	15,723	12,27	8,405	6,057	4,187	2,353	1,363
N. Laredo	20,2	17,956	13,98	9,556	6,881	4,762	2,702	1,6
Zona 2								
Tampico	20,2	23,671	18,92	13,37	9,846	6,931	3,933	2,234
Matamoros	20,2	22,788	17,97	12,48	9,093	6,356	3,63	2,133
Reynosa	20,2	22,642	17,84	12,38	9,01	6,294	3,595	2,117
Cd. Mante, Tamp.	20,2	23,418	18,68	13,16	9,677	6,803	3,863	2,205
Jalapa	20,2	23,033	18,57	13,26	9,832	6,946	3,913	2,161
Zona 3								
México DF	20,2	16,253	12,97	9,133	6,701	4,684	2,6	1,419
León	20,2	17,838	14,19	9,956	7,291	5,096	2,851	1,587
Pachuca	20,2	17,153	13,68	9,623	7,058	4,936	2,751	1,514
Tulancingo	20,2	16,606	13,23	9,297	6,813	4,76	2,649	1,456
Queretaro	20,2	17,806	14,19	9,98	7,319	5,121	2,861	1,584
Guanajuato	20,2	17,089	13,58	9,516	6,961	4,86	2,714	1,507
Oaxaca	20,2	19,142	15,48	11,09	8,235	5,809	3,229	1,728
Iguala	20,2	21,949	17,75	12,72	9,447	6,678	3,744	2,039
Chilpancingo	20,2	20,202	16,34	11,71	8,697	6,14	3,424	1,845
Cuernavaca	20,2	19,102	15,35	10,91	8,053	5,662	3,161	1,724
Morelia	20,2	17,49	13,97	9,854	7,24	5,069	2,825	1,55
Veracruz	20,2	28,561	23,21	16,74	12,51	8,901	5,056	2,802
Huehuetla, Guan.	20,2	22,605	18,16	12,9	9,536	6,722	3,792	2,113
Zona 4								
Guadalajara	20,2	15,234	12,08	8,434	6,153	4,283	2,378	1,312
Mazatlán	20,2	19,236	15,22	10,61	7,742	5,405	3,048	1,739
Pto. Vallarta	20,2	19,389	15,49	10,92	8,03	5,632	3,159	1,755
Tepic	20,2	16,991	13,47	9,416	6,876	4,795	2,68	1,497
Colima	20,2	18,317	14,68	10,39	7,658	5,374	2,997	1,639
Manzanillo	20,2	19,639	15,78	11,22	8,286	5,83	3,259	1,783
Pto. Ángel	20,2	20,032	16,3	11,77	8,787	6,222	3,454	1,826
Acapulco	20,2	30,321	24,9	18,2	13,72	9,819	5,56	3,012
Uruapan	20,2	18,642	14,94	10,58	7,795	5,472	3,055	1,674
Laz. Cárdenas	20,2	19,78	15,96	11,41	8,457	5,963	3,326	1,798
Zamora	20,2	15,161	12,05	8,438	6,168	4,298	2,382	1,304
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	20,2	28,567	23,57	17,32	13,1	9,385	5,279	2,803
Villa Hermosa	20,2	29,887	24,42	17,74	13,31	9,503	5,394	2,96
Tapachula	20,2	29,957	24,75	18,23	13,8	9,905	5,583	2,968
Coatzacoalcos	20,2	38,301	31,45	23	17,36	12,47	7,165	3,993
Huixtla, Chiapas	20,2	30,688	25,37	18,7	14,17	10,18	5,742	3,056
Jaltipan de Morelos, Veracruz	20,2	38,257	31,51	23,13	17,5	12,59	7,218	3,987
Zona 6								
Mérida	20,2	29,294	23,66	16,93	12,59	8,932	5,102	2,889
Cancún	20,2	29,2	23,55	16,82	12,49	8,859	5,064	2,878
Chetumal	20,2	29,563	24,08	17,42	13,04	9,292	5,282	2,921

Campeche	20,2	29,471	23,9	17,2	12,83	9,126	5,2	2,91
Zona 7								

Tabla b.25 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación DAH-Crane para la frecuencia descendente un enlace satelital en la banda Ka.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	27,5	22,389	17,284	11,685	8,365	5,786	3,347	2,088
Mexicali	27,5	22,382	17,273	11,674	8,356	5,778	3,343	2,088
Hermosillo	27,5	22,425	17,489	11,976	8,644	6,008	3,453	2,092
La Paz, B.C.S.	27,5	24,542	19,499	13,669	10,02	7,036	4,018	2,333
Pto. Escondido	27,5	25,643	21,043	15,362	11,56	8,249	4,625	2,46
Ensenada	27,5	22,523	17,421	11,808	8,467	5,862	3,388	2,103
Santa Ana, B.C.	27,5	21,781	16,988	11,633	8,396	5,832	3,346	2,02
San José del Cabo	27,5	24,606	19,618	13,813	10,15	7,142	4,07	2,34
N.Casas Grandes, Chi.	27,5	17,145	13,211	8,9064	6,356	4,373	2,492	1,513
Cerros Salsipuedes, B.C.	27,5	17,532	13,824	9,5926	6,974	4,853	2,728	1,554
Zona 1								
Saltillo	27,5	26,168	20,76	14,528	10,64	7,475	4,289	2,521
Zacatecas	27,5	27,883	22,363	15,867	11,73	8,29	4,742	2,722
San L. Potosí	27,5	32,044	25,868	18,51	13,77	9,783	5,62	3,219
Aguascalientes	27,5	32,006	25,86	18,524	13,79	9,801	5,627	3,215
Culiacán	27,5	34,367	27,545	19,537	14,45	10,25	5,94	3,503
Durango	27,5	31,061	24,886	17,639	13,04	9,226	5,316	3,101
Cd. Victoria	27,5	41,115	33,269	23,889	17,83	12,73	7,418	4,35
Chihuahua	27,5	25,538	20,035	13,825	10,03	7,008	4,045	2,448
Monterrey	27,5	31,694	25,274	17,81	13,11	9,264	5,361	3,177
Cd. Juárez	27,5	18,171	13,975	9,3994	6,7	4,61	2,639	1,623
Torreón	27,5	28,738	22,855	16,047	11,78	8,3	4,783	2,823
N. Laredo	27,5	32,793	26,025	18,23	13,38	9,432	5,487	3,311
Zona 2								
Tampico	27,5	43,514	35,455	25,684	19,28	13,83	8,048	4,658
Matamoros	27,5	41,574	33,411	23,788	17,66	12,57	7,361	4,408
Reynosa	27,5	41,289	33,152	23,576	17,48	12,45	7,287	4,372
Cd. Mante, Tamp.	27,5	43,005	34,964	25,259	18,93	13,56	7,896	4,592
Jalapa	27,5	42,163	34,645	25,361	19,16	13,79	7,968	4,484
Zona 3								
México DF	27,5	29,759	24,199	17,471	13,06	9,304	5,296	2,944
León	27,5	32,637	26,456	19,031	14,2	10,12	5,802	3,291
Pachuca	27,5	31,408	25,52	18,409	13,76	9,806	5,603	3,142
Tulancingo	27,5	30,385	24,666	17,772	13,27	9,449	5,391	3,019
México DF	27,5	29,759	24,199	17,471	13,06	9,304	5,296	2,944

Queretaro	27,5	32,609	26,484	19,096	14,27	10,17	5,829	3,288
Guanajuato	27,5	31,244	25,302	18,175	13,55	9,639	5,518	3,123
Oaxaca	27,5	35,29	29,092	21,376	16,17	11,63	6,63	3,617
Iguala	27,5	40,544	33,419	24,558	18,6	13,4	7,705	4,277
Chilpancingo	27,5	37,287	30,742	22,594	17,1	12,31	7,04	3,866
Cuernavaca	27,5	35,131	28,769	20,961	15,78	11,31	6,471	3,598
Morelia	27,5	32,057	26,098	18,872	14,13	10,08	5,761	3,221
Veracruz	27,5	52,619	43,585	32,243	24,55	17,81	10,37	5,859
Zona 4								
Guadalajara	27,5	28,051	22,665	16,232	12,07	8,562	4,876	2,742
Mazatlán	27,5	35,392	28,544	20,405	15,17	10,8	6,244	3,63
Pto. Vallarta	27,5	35,852	29,192	21,12	15,83	11,31	6,508	3,687
Tepic	27,5	31,292	25,293	18,126	13,49	9,59	5,497	3,129
Colima	27,5	33,924	27,714	20,131	15,12	10,82	6,188	3,449
Manzanillo	27,5	36,431	29,847	21,761	16,39	11,75	6,741	3,759
Pto. Ángel	27,5	37,382	31,023	22,987	17,49	12,63	7,194	3,878
Acapulco	27,5	56,125	46,984	35,226	27,06	19,75	11,47	6,333
Uruapan	27,5	34,233	27,958	20,302	15,24	10,91	6,244	3,487
Laz. Cárdenas	27,5	36,789	30,273	22,194	16,77	12,06	6,9	3,804
Zamora	27,5	27,951	22,639	16,262	12,12	8,604	4,891	2,73
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	27,5	52,735	44,341	33,424	25,76	18,82	10,86	5,875
Villa Hermosa	27,5	55,038	45,833	34,138	26,11	19	11,06	6,186
Tapachula	27,5	55,383	46,639	35,227	27,19	19,89	11,5	6,232
Coatzacoalcos	27,5	70,448	58,959	44,213	34,01	24,91	14,67	8,333
Huixtla, Chiapas	27,5	56,986	48,029	36,317	28,05	20,54	11,89	6,451
Jaltipan de Morelos, Veracruz	27,5	70,36	59,063	44,458	34,28	25,14	14,78	8,321
Zona 6								
Mérida	27,5	53,518	44,036	32,309	24,47	17,7	10,37	5,98
Cancún	27,5	53,17	43,683	31,989	24,2	17,49	10,25	5,933
Chetumal	27,5	54,139	44,932	33,324	25,42	18,46	10,76	6,064
Campeche	27,5	53,989	44,62	32,918	25,03	18,14	10,6	6,044
Zona 7								

Tabla b.26 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación DAH-Crane para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ka.

Resultados de la combinación DAH – ITU

Los márgenes de atenuación obtenidos con la combinación DAH – ITU , se muestran en las tablas b.27 y b.28.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	20,2	11,91	9,015	5,938	4,168	2,827	1,593	0,975
Mexicali	20,2	11,894	9	5,926	4,159	2,82	1,59	0,973
Hermosillo	20,2	11,812	9,029	6,022	4,26	2,902	1,625	0,965
La Paz, B.C.S.	20,2	12,813	9,975	6,808	4,89	3,365	1,871	1,065
Pto. Escondido	20,2	12,498	10,03	7,108	5,229	3,649	1,986	1,033
Ensenada	20,2	11,964	9,073	5,991	4,212	2,859	1,61	0,98
Santa Ana, B.C.	20,2	11,487	8,782	5,858	4,144	2,822	1,577	0,933
San José del Cabo	20,2	12,82	10,02	6,865	4,945	3,408	1,891	1,065
N.Casas Grandes, Chi.	20,2	8,8502	6,68	4,382	3,064	2,065	1,145	0,681
Cerros Salsipuedes, B.C.	20,2	8,6793	6,695	4,513	3,21	2,185	1,193	0,665
Zona 1								
Saltillo	20,2	21,222	16,73	11,61	8,445	5,894	3,353	1,958
Zacatecas	20,2	18,5	14,65	10,22	7,457	5,204	2,927	1,659
San L. Potosí	20,2	21,083	16,8	11,81	8,672	6,083	3,435	1,942
Aguascalientes	20,2	21,056	16,79	11,82	8,684	6,094	3,439	1,939
Culiacán	20,2	27,213	21,65	15,21	11,17	7,863	4,514	2,643
Durango	20,2	20,526	16,23	11,31	8,252	5,766	3,266	1,88
Cd. Victoria	20,2	26,711	21,33	15,04	11,08	7,806	4,467	2,584
Chihuahua	20,2	20,838	16,24	11,12	8,016	5,563	3,184	1,915
Monterrey	20,2	25,272	20,01	13,97	10,21	7,165	4,108	2,417
Cd. Juárez	20,2	21,299	16,46	11,14	7,984	5,52	3,181	1,966
Torreón	20,2	23,122	18,26	12,71	9,27	6,485	3,704	2,171
N. Laredo	20,2	26,117	20,58	14,28	10,4	7,285	4,198	2,515
Zona 2								
Tampico	20,2	28,127	22,61	16,08	11,91	8,429	4,817	2,751
Matamoros	20,2	27,075	21,47	15,02	11	7,728	4,445	2,627
Reynosa	20,2	26,906	21,32	14,89	10,9	7,655	4,404	2,607
Cd. Mante, Tamp.	20,2	27,831	22,32	15,84	11,71	8,276	4,733	2,716
Jalapa	20,2	23,033	18,57	13,26	9,832	6,946	3,913	2,161
Zona 3								
México DF	20,2	26,28	21,29	15,29	11,39	8,08	4,576	2,534
León	20,2	21,43	17,15	12,12	8,927	6,276	3,538	1,981
Pachuca	20,2	27,562	22,3	16	11,91	8,455	4,805	2,684
Tulancingo	20,2	26,765	21,64	15,51	11,54	8,182	4,644	2,591
Queretaro	20,2	28,492	23,04	16,52	12,3	8,73	4,973	2,794
Guanajuato	20,2	20,563	16,44	11,61	8,539	5,996	3,374	1,885
Oaxaca	20,2	30,609	25,12	18,35	13,82	9,895	5,608	3,046
Iguala	20,2	34,567	28,35	20,7	15,6	11,18	6,388	3,528
Chilpancingo	20,2	32,121	26,36	19,25	14,51	10,39	5,908	3,229
Cuernavaca	20,2	30,451	24,82	17,98	13,47	9,612	5,47	3,027
Morelia	20,2	28,07	22,76	16,37	12,2	8,671	4,928	2,744
Veracruz	20,2	37,404	30,65	22,36	16,85	12,09	6,943	3,88
Huehuetla, Guan.	20,2	35,362	28,8	20,85	15,62	11,17	6,419	3,626

Zona 4								
Guadalajara	20,2	29,934	24,24	17,4	12,97	9,218	5,263	2,965
Mazatlán	20,2	27,907	22,34	15,82	11,67	8,244	4,722	2,725
Pto. Vallarta	20,2	28,194	22,79	16,32	12,14	8,613	4,906	2,758
Tepic	20,2	24,93	20,01	14,21	10,5	7,41	4,207	2,378
Colima	20,2	35,243	28,83	20,97	15,77	11,29	6,472	3,611
Manzanillo	20,2	37,448	30,71	22,41	16,89	12,13	6,963	3,886
Pto. Ángel	20,2	38,467	31,95	23,7	18,05	13,05	7,44	4,014
Acapulco	20,2	38,164	31,57	23,29	17,68	12,75	7,287	3,976
Uruapan	20,2	29,756	24,2	17,47	13,06	9,302	5,295	2,944
Laz. Cárdenas	20,2	37,814	31,14	22,86	17,29	12,44	7,126	3,932
Zamora	20,2	29,862	24,24	17,46	13,03	9,275	5,287	2,957
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	20,2	36,097	29,99	22,26	16,95	12,24	6,952	3,717
Villa Hermosa	20,2	37,561	30,91	22,66	17,13	12,32	7,057	3,9
Tapachula	20,2	37,758	31,42	23,36	17,82	12,88	7,329	3,925
Coatzacoalcos	20,2	37,552	30,82	22,52	16,98	12,2	7	3,899
Huixtla, Chiapas	20,2	38,688	32,21	23,97	18,3	13,24	7,54	4,042
Jaltipan de Morelos, Veracruz	20,2	37,507	30,87	22,64	17,12	12,31	7,052	3,893
Zona 6								
Mérida	20,2	36,745	29,88	21,59	16,16	11,55	6,661	3,798
Cancún	20,2	36,612	29,73	21,44	16,03	11,45	6,607	3,781
Chetumal	20,2	37,116	30,44	22,23	16,76	12,03	6,902	3,844
Campeche	20,2	36,99	30,21	21,94	16,49	11,81	6,793	3,829
Zona 7								

Tabla b.27 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación DAH-ITU para la frecuencia descendente un enlace satelital en la banda Ka.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	27,5	21,654	16,699	11,274	8,063	5,5704	3,218	2,006
Mexicali	27,5	21,646	16,688	11,263	8,053	5,5632	3,214	2,005
Hermosillo	27,5	21,684	16,893	11,552	8,329	5,7826	3,319	2,009
La Paz, B.C.S.	27,5	23,734	18,837	13,187	9,656	6,7734	3,862	2,241
Pto. Escondido	27,5	24,581	20,146	14,682	11,03	7,8631	4,401	2,338
Ensenada	27,5	21,783	16,832	11,392	8,161	5,6441	3,258	2,02
Santa Ana, B.C.	27,5	21,058	16,407	11,22	8,089	5,6133	3,216	1,939
San José del Cabo	27,5	23,793	18,95	13,324	9,784	6,8752	3,912	2,247
N.Casas Grandes, Chi.	27,5	16,556	12,743	8,5786	6,116	4,2031	2,391	1,451
Cerros Salsipuedes, B.C.	27,5	16,787	13,219	9,1563	6,648	4,62	2,592	1,475
Zona 1								
Saltillo	27,5	38,392	30,824	21,915	16,24	11,549	6,733	4,004

Zacatecas	27,5	33,506	27,027	19,322	14,36	10,211	5,886	3,398
San L. Potosi	27,5	38,353	31,135	22,445	16,78	11,996	6,943	4
Aguascalientes	27,5	38,314	31,13	22,466	16,81	12,02	6,952	3,995
Culiacán	27,5	49,5	40,128	28,893	21,62	15,503	9,123	5,442
Durango	27,5	37,165	29,943	21,381	15,89	11,309	6,565	3,85
Cd. Victoria	27,5	48,762	39,668	28,685	21,52	15,455	9,066	5,345
Chihuahua	27,5	37,407	29,696	20,817	15,29	10,807	6,336	3,881
Monterrey	27,5	45,9	37,028	26,494	19,74	14,103	8,287	4,968
Cd. Juárez	27,5	38,009	29,911	20,74	15,13	10,651	6,287	3,956
Torreón	27,5	41,89	33,709	24,039	17,86	12,729	7,45	4,449
N. Laredo	27,5	47,305	37,974	27,005	20,04	14,295	8,442	5,152
Zona 2								
Tampico	27,5	51,555	42,229	30,805	23,25	16,765	9,824	5,716
Matamoros	27,5	49,234	39,776	28,518	21,28	15,234	8,981	5,407
Reynosa	27,5	48,904	39,474	28,269	21,08	15,081	8,893	5,363
Cd. Mante, Tamp.	27,5	50,956	41,649	30,299	22,82	16,439	9,64	5,636
Jalapa	27,5	42,163	34,645	25,361	19,16	13,794	7,968	4,484
Zona 3								
México DF	27,5	47,715	39,376	28,988	21,99	15,899	9,227	5,206
León	27,5	39,065	31,845	23,078	17,32	12,405	7,168	4,089
Pachuca	27,5	50,059	41,271	30,349	23,02	16,643	9,694	5,517
Tulancingo	27,5	48,566	40,007	29,388	22,27	16,088	9,358	5,319
Queretaro	27,5	51,766	42,654	31,346	23,77	17,19	10,04	5,745
Guanajuato	27,5	37,453	30,502	22,076	16,55	11,841	6,829	3,887
Oaxaca	27,5	56,033	46,864	35,096	26,94	19,652	11,42	6,321
Iguala	27,5	63,456	53,041	39,704	30,49	22,278	13,05	7,345
Chilpancingo	27,5	58,89	49,251	36,885	28,32	20,676	12,05	6,712
Cuernavaca	27,5	55,6	46,187	34,295	26,18	19,034	11,1	6,262
Morelia	27,5	51,043	42,161	31,078	23,61	17,091	9,955	5,648
Veracruz	27,5	68,708	57,387	42,923	32,96	24,104	14,2	8,085
Huehuetla, Guan.	27,5	64,725	53,725	39,867	30,45	22,181	13,07	7,523
Zona 4								
Guadalajara	27,5	54,436	44,903	33,049	25,09	18,17	10,63	6,104
Mazatlán	27,5	50,967	41,575	30,171	22,69	16,329	9,587	5,638
Pto. Vallarta	27,5	51,768	42,638	31,318	23,74	17,166	10,03	5,745
Tepic	27,5	45,555	37,255	27,115	20,42	14,686	8,549	4,923
Colima	27,5	64,598	53,844	40,164	30,78	22,464	13,2	7,505
Manzanillo	27,5	68,795	57,491	43,029	33,05	24,181	14,24	8,098
Pto. Ángel	27,5	71,133	60,229	45,828	35,58	26,208	15,33	8,431
Acapulco	27,5	70,486	59,427	44,976	34,8	25,576	14,99	8,338
Uruapan	27,5	54,232	44,933	33,253	25,33	18,383	10,73	6,077
Laz. Cárdenas	27,5	69,671	58,485	44,021	33,94	24,887	14,62	8,222
Zamora	27,5	54,38	44,97	33,201	25,25	18,312	10,7	6,097
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	27,5	66,469	56,295	42,842	33,26	24,471	14,25	7,768
Villa Hermosa	27,5	69,006	57,872	43,508	33,52	24,563	14,43	8,128

Tapachula	27,5	69,643	59,068	45,039	35,01	25,801	15,06	8,218
Coatzacoalcos	27,5	69,08	57,779	43,293	33,28	24,358	14,34	8,138
Huixtla, Chiapas	27,5	71,689	60,855	46,453	36,14	26,657	15,58	8,511
Jaltipan de Morelos, Veracruz	27,5	68,991	57,878	43,531	33,54	24,586	14,44	8,125
Zona 6								
Mérida	27,5	66,95	55,475	41,078	31,34	22,821	13,49	7,836
Cancún	27,5	66,478	54,999	40,647	30,97	22,534	13,33	7,77
Chetumal	27,5	67,792	56,66	42,414	32,58	23,831	14,02	7,955
Campeche	27,5	67,587	56,251	41,886	32,07	23,406	13,8	7,926
Zona 7								

Tabla b.28 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación DAH-ITU para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ka.

Resultados de la combinación Zhao – Crane

Los márgenes de atenuación obtenidos con la combinación Zhao – Crane , se muestran en las tablas b.29 y b.30.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	20,2	13,243	9,702	6,048	4,081	2,728	1,721	1,501
Mexicali	20,2	13,253	9,699	6,039	4,072	2,72	1,718	1,502
Hermosillo	20,2	12,248	8,853	5,425	3,618	2,399	1,516	1,356
La Paz, B.C.S.	20,2	11,934	8,548	5,179	3,429	2,261	1,434	1,31
Pto. Escondido	20,2	10,255	7,201	4,254	2,768	1,802	1,142	1,075
Ensenada	20,2	13,163	9,626	5,988	4,034	2,694	1,701	1,489
Santa Ana, B.C.	20,2	11,783	8,51	5,211	3,472	2,299	1,449	1,289
San José del Cabo	20,2	11,567	8,259	4,984	3,29	2,165	1,372	1,258
N.Casas Grandes, Chi.	20,2	9,1964	6,564	3,957	2,606	1,705	1,059	0,933
Cerros Salsipuedes, B.C.	20,2	6,7862	4,73	2,764	1,781	1,144	0,702	0,627
Zona 1								
Saltillo	20,2	12,217	8,751	5,303	3,511	2,317	1,473	1,351
Zacatecas	20,2	11,883	8,47	5,101	3,364	2,213	1,408	1,303
San L. Potosí	20,2	14,408	10,35	6,299	4,187	2,779	1,789	1,676
Aguascalientes	20,2	14,314	10,28	6,25	4,153	2,755	1,773	1,661
Culiacán	20,2	17,249	12,56	7,777	5,234	3,51	2,278	2,119
Durango	20,2	14,729	10,63	6,501	4,337	2,885	1,856	1,725
Cd. Victoria	20,2	21,193	15,53	9,702	6,576	4,446	2,927	2,773

Chihuahua	20,2	13,418	9,71	5,962	3,984	2,648	1,686	1,527
Monterrey	20,2	15,849	11,49	7,078	4,745	3,17	2,046	1,898
Cd. Juárez	20,2	10,32	7,418	4,513	2,992	1,97	1,23	1,084
Torreón	20,2	13,937	10,05	6,141	4,093	2,718	1,741	1,605
N. Laredo	20,2	17,255	12,6	7,826	5,278	3,544	2,296	2,12
Zona 2								
Tampico	20,2	22,214	16,28	10,18	6,901	4,672	3,088	2,949
Matamoros	20,2	22,527	16,61	10,46	7,126	4,839	3,191	3,003
Reynosa	20,2	22,442	16,55	10,42	7,1	4,821	3,178	2,988
Cd. Mante, Tamp.	20,2	22	16,13	10,08	6,838	4,628	3,056	2,912
Jalapa	20,2	20,692	15,07	9,339	6,297	4,243	2,798	2,688
Zona 3								
México DF	20,2	12,051	8,558	5,13	3,373	2,216	1,415	1,327
León	20,2	14,483	10,39	6,318	4,197	2,784	1,795	1,687
Pachuca	20,2	13,343	9,528	5,753	3,803	2,512	1,613	1,516
Tulancingo	20,2	12,668	9,025	5,432	3,582	2,36	1,51	1,417
Queretaro	20,2	14,28	10,23	6,209	4,119	2,73	1,759	1,656
Guanajuato	20,2	13,524	9,674	5,854	3,876	2,563	1,645	1,543
Oaxaca	20,2	14,894	10,66	6,452	4,276	2,834	1,835	1,75
Iguala	20,2	18,887	13,68	8,412	5,641	3,781	2,483	2,386
Chilpancingo	20,2	16,351	11,75	7,157	4,764	3,171	2,065	1,977
Cuernavaca	20,2	15,403	11,06	6,722	4,468	2,968	1,924	1,828
Morelia	20,2	13,651	9,754	5,894	3,899	2,577	1,657	1,562
Veracruz	20,2	28,225	20,85	13,16	9,001	6,151	4,135	4,031
Huehuetla, Guan.	20,2	20,405	14,87	9,216	6,215	4,186	2,757	2,639
Zona 4								
Guadalajara	20,2	11,609	8,245	4,942	3,249	2,133	1,357	1,264
Mazatlán	20,2	17,219	12,5	7,717	5,183	3,472	2,256	2,115
Pto. Vallarta	20,2	16,813	12,15	7,453	4,985	3,329	2,166	2,05
Tepic	20,2	14,005	10,05	6,102	4,051	2,684	1,726	1,615
Colima	20,2	15,082	10,82	6,579	4,371	2,902	1,878	1,779
Manzanillo	20,2	16,731	12,06	7,378	4,925	3,285	2,14	2,037
Pto. Ángel	20,2	16,259	11,66	7,089	4,713	3,134	2,042	1,962
Acapulco	20,2	29,895	22,07	13,93	9,531	6,52	4,407	4,345
Uruapan	20,2	14,994	10,76	6,535	4,341	2,881	1,864	1,765
Laz. Cárdenas	20,2	16,568	11,92	7,272	4,846	3,228	2,104	2,011
Zamora	20,2	11,332	8,031	4,801	3,15	2,064	1,312	1,225
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	20,2	26,82	19,7	12,35	8,407	5,722	3,843	3,771
Villa Hermosa	20,2	29,913	22,15	14,03	9,614	6,586	4,444	4,349
Tapachula	20,2	28,838	21,25	13,39	9,14	6,242	4,21	4,146
Coatzacoalcos	20,2	44,858	33,82	21,94	15,32	10,69	7,394	7,38
Huixtla, Chiapas	20,2	29,61	21,82	13,73	9,378	6,408	4,333	4,291
Jaltipan de Morelos, Veracruz	20,2	44,438	33,48	21,7	15,14	10,56	7,302	7,29
Zona 6								
Mérida	20,2	30,022	22,34	14,24	9,806	6,735	4,531	4,369

Cancún	20,2	29,948	22,33	14,27	9,84	6,764	4,544	4,355
Chetumal	20,2	29,799	22,12	14,06	9,662	6,627	4,462	4,327
Campeche	20,2	29,972	22,26	14,16	9,731	6,677	4,497	4,36
Zona 7								

Tabla b.29 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación Zhao - Crane para la frecuencia descendente un enlace satelital en la banda Ka.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	27,5	18,46	13,91	9,001	6,247	4,295	2,813	2,524
Mexicali	27,5	18,498	13,926	9,002	6,243	4,29	2,812	2,53
Hermosillo	27,5	17,552	13,065	8,325	5,719	3,904	2,566	2,363
La Paz, B.C.S.	27,5	17,494	12,919	8,15	5,562	3,783	2,498	2,353
Pto. Escondido	27,5	16,113	11,702	7,228	4,864	3,275	2,17	2,113
Ensenada	27,5	18,401	13,844	8,94	6,196	4,256	2,79	2,513
Santa Ana, B.C.	27,5	16,933	12,598	8,021	5,506	3,754	2,46	2,255
San José del Cabo	27,5	17,111	12,602	7,922	5,394	3,661	2,418	2,286
N.Casas Grandes, Chi.	27,5	13,659	10,058	6,317	4,292	2,897	1,875	1,703
Cerros Salsipuedes, B.C.	27,5	10,643	7,6715	4,687	3,123	2,075	1,331	1,23
Zona 1								
Saltillo	27,5	19,539	14,487	9,188	6,298	4,302	2,863	2,718
Zacatecas	27,5	19,542	14,437	9,116	6,23	4,249	2,834	2,718
San L. Potosí	27,5	23,528	17,514	11,17	7,694	5,289	3,57	3,464
Aguascalientes	27,5	23,389	17,401	11,09	7,636	5,248	3,541	3,437
Culiacán	27,5	26,895	20,247	13,1	9,117	6,322	4,287	4,125
Durango	27,5	23,93	17,882	11,46	7,92	5,458	3,68	3,541
Cd. Victoria	27,5	33,838	25,667	16,78	11,77	8,239	5,676	5,566
Chihuahua	27,5	21,143	15,827	10,16	7,024	4,829	3,216	3,013
Monterrey	27,5	24,876	18,657	12,01	8,328	5,754	3,884	3,725
Cd. Juárez	27,5	15,055	11,155	7,063	4,827	3,276	2,13	1,934
Torreón	27,5	22,074	16,467	10,53	7,259	4,988	3,343	3,187
N. Laredo	27,5	26,79	20,217	13,12	9,149	6,351	4,299	4,104
Zona 2								
Tampico	27,5	35,485	26,924	17,61	12,36	8,662	5,993	5,923
Matamoros	27,5	35,684	27,222	17,93	12,64	8,882	6,126	5,966
Reynosa	27,5	35,546	27,119	17,86	12,59	8,848	6,101	5,936
Cd. Mante, Tamp.	27,5	35,127	26,655	17,44	12,24	8,576	5,927	5,845
Jalapa	27,5	33,84	25,537	16,59	11,59	8,091	5,593	5,567
Zona 3								
México DF	27,5	19,927	14,671	9,224	6,288	4,283	2,868	2,789
León	27,5	23,691	17,618	11,22	7,725	5,309	3,588	3,495
Pachuca	27,5	21,945	16,242	10,28	7,045	4,822	3,246	3,163

Tulancingo	27,5	20,88	15,418	9,731	6,652	4,543	3,049	2,964
Queretaro	27,5	23,4	17,379	11,05	7,598	5,218	3,525	3,439
Guanajuato	27,5	22,193	16,452	10,44	7,161	4,907	3,303	3,21
Oaxaca	27,5	24,525	18,187	11,55	7,932	5,449	3,7	3,657
Iguala	27,5	30,71	23,034	14,84	10,31	7,161	4,927	4,904
Chilpancingo	27,5	26,81	19,967	12,75	8,794	6,067	4,142	4,108
Cuernavaca	27,5	25,242	18,775	11,97	8,242	5,674	3,856	3,797
Morelia	27,5	22,445	16,622	10,53	7,221	4,947	3,336	3,257
Veracruz	27,5	45,625	34,899	23,08	16,34	11,57	8,144	8,223
Huehuetla, Guan.	27,5	32,878	24,801	16,1	11,24	7,842	5,408	5,361
Zona 4								
Guadalajara	27,5	18,833	13,855	8,7	5,924	4,028	2,685	2,59
Mazatlán	27,5	26,978	20,261	13,07	9,079	6,289	4,273	4,141
Pto. Vallarta	27,5	26,606	19,893	12,76	8,833	6,103	4,153	4,067
Tepic	27,5	22,389	16,625	10,57	7,262	4,981	3,352	3,247
Colima	27,5	24,168	17,954	11,42	7,858	5,4	3,658	3,587
Manzanillo	27,5	26,631	19,871	12,72	8,786	6,065	4,133	4,072
Pto. Ángel	27,5	26,231	19,488	12,4	8,538	5,88	4,013	3,992
Acapulco	27,5	48,62	37,188	24,6	17,43	12,35	8,748	8,934
Uruapan	27,5	24,57	18,266	11,63	8,007	5,507	3,735	3,665
Laz. Cárdenas	27,5	26,516	19,749	12,61	8,699	5,999	4,091	4,049
Zamora	27,5	18,448	13,545	8,484	5,767	3,916	2,608	2,522
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	27,5	43,799	33,336	21,91	15,45	10,89	7,667	7,796
Villa Hermosa	27,5	48,416	37,123	24,63	17,48	12,4	8,768	8,885
Tapachula	27,5	46,974	35,867	23,67	16,74	11,85	8,373	8,541
Coatzacoalcos	27,5	72,57	56,663	38,51	27,84	20,12	14,58	15,07
Huixtla, Chiapas	27,5	48,349	36,91	24,35	17,23	12,2	8,645	8,869
Jaltipan de Morelos, Veracruz	27,5	71,93	56,127	38,11	27,54	19,89	14,41	14,9
Zona 6								
Mérida	27,5	48,248	37,176	24,82	17,69	12,58	8,858	8,845
Cancún	27,5	48,022	37,072	24,8	17,7	12,6	8,859	8,791
Chetumal	27,5	48,023	36,92	24,58	17,48	12,42	8,755	8,791
Campeche	27,5	48,281	37,133	24,73	17,6	12,5	8,818	8,853
Zona 7								

Tabla b.30 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación Zhao - Crane para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ka.

Resultados de la combinación Zhao – ITU

Los márgenes de atenuación obtenidos con la combinación ITU-R – ITU , se muestran en las tablas b.31 y b.32.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	20,2	12,964	9,488	5,907	3,982	2,659	1,676	1,46
Mexicali	20,2	12,97	9,483	5,897	3,972	2,651	1,672	1,461
Hermosillo	20,2	11,935	8,616	5,272	3,512	2,325	1,467	1,31
La Paz, B.C.S.	20,2	11,59	8,29	5,014	3,315	2,184	1,383	1,261
Pto. Escondido	20,2	9,8655	6,915	4,076	2,647	1,72	1,088	1,022
Ensenada	20,2	12,879	9,409	5,845	3,934	2,624	1,655	1,447
Santa Ana, B.C.	20,2	11,474	8,277	5,059	3,367	2,227	1,401	1,245
San José del Cabo	20,2	11,219	7,999	4,818	3,176	2,087	1,321	1,209
N.Casas Grandes, Chi.	20,2	8,9001	6,343	3,816	2,509	1,64	1,016	0,894
Cerros Salsipuedes, B.C.	20,2	6,5092	4,528	2,64	1,697	1,088	0,666	0,594
Zona 1								
Saltillo	20,2	21,127	15,52	9,722	6,602	4,468	2,936	2,762
Zacatecas	20,2	15,856	11,45	7,019	4,69	3,127	2,024	1,899
San L. Potosí	20,2	18,976	13,81	8,544	5,752	3,865	2,531	2,401
Aguascalientes	20,2	18,864	13,72	8,484	5,709	3,835	2,511	2,382
Culiacán	20,2	28,333	21,11	13,47	9,274	6,363	4,256	4,051
Durango	20,2	19,32	14,11	8,777	5,929	3,993	2,612	2,458
Cd. Victoria	20,2	27,155	20,13	12,76	8,751	5,984	4	3,833
Chihuahua	20,2	22,655	16,79	10,64	7,286	4,961	3,261	3,025
Monterrey	20,2	26,361	19,57	12,43	8,529	5,833	3,884	3,687
Cd. Juárez	20,2	24,7	18,48	11,86	8,182	5,608	3,693	3,387
Torreón	20,2	23,614	17,44	11,01	7,516	5,114	3,382	3,194
N. Laredo	20,2	28,187	21,05	13,47	9,293	6,383	4,26	4,024
Zona 2								
Tampico	20,2	28,443	21,09	13,38	9,177	6,283	4,216	4,072
Matamoros	20,2	28,654	21,36	13,65	9,403	6,456	4,32	4,111
Reynosa	20,2	28,547	21,28	13,6	9,37	6,433	4,303	4,091
Cd. Mante, Tamp.	20,2	28,165	20,88	13,25	9,09	6,223	4,172	4,02
Jalapa	20,2	20,692	15,07	9,339	6,297	4,243	2,798	2,688
Zona 3								
México DF	20,2	26,048	19,16	12,04	8,202	5,583	3,735	3,63
León	20,2	19,091	13,88	8,577	5,77	3,876	2,541	2,42
Pachuca	20,2	28,315	20,93	13,23	9,054	6,189	4,16	4,048
Tulancingo	20,2	27,111	20	12,61	8,611	5,875	3,938	3,825
Queretaro	20,2	29,944	22,2	14,09	9,672	6,631	4,47	4,354
Guanajuato	20,2	17,913	12,98	7,99	5,359	3,589	2,344	2,227
Oaxaca	20,2	31,333	23,2	14,69	10,08	6,911	4,683	4,62
Iguala	20,2	38,284	28,64	18,39	12,74	8,82	6,045	6,001
Chilpancingo	20,2	33,918	25,21	16,05	11,05	7,605	5,177	5,124

Cuernavaca	20,2	32,083	23,82	15,14	10,41	7,153	4,848	4,765
Morelia	20,2	28,892	21,37	13,51	9,254	6,331	4,261	4,156
Veracruz	20,2	43,332	32,64	21,15	14,75	10,28	7,094	7,054
Huehuetla, Guan.	20,2	40,582	30,51	19,72	13,73	9,544	6,554	6,476
Zona 4								
Guadalajara	20,2	32,243	24	15,31	10,55	7,257	4,913	4,796
Mazatlán	20,2	28,46	21,15	13,46	9,25	6,341	4,248	4,075
Pto. Vallarta	20,2	28,165	20,84	13,19	9,035	6,179	4,148	4,02
Tepic	20,2	23,983	17,64	11,07	7,53	5,115	3,398	3,259
Colima	20,2	39,891	29,94	19,3	13,41	9,312	6,393	6,332
Manzanillo	20,2	43,349	32,65	21,16	14,76	10,28	7,096	7,058
Pto. Ángel	20,2	43,26	32,46	20,94	14,56	10,13	7,004	7,039
Acapulco	20,2	43,345	32,55	21,02	14,63	10,18	7,036	7,057
Uruapan	20,2	31,301	23,23	14,76	10,14	6,961	4,709	4,614
Laz. Cárdenas	20,2	43,386	32,63	21,1	14,7	10,24	7,071	7,066
Zamora	20,2	31,758	23,6	15,02	10,33	7,1	4,805	4,702
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	20,2	39,183	29,29	18,79	13,01	9,014	6,194	6,186
Villa Hermosa	20,2	43,155	32,49	21,04	14,67	10,22	7,051	7,016
Tapachula	20,2	41,924	31,44	20,25	14,07	9,775	6,745	6,756
Coatzacoalcos	20,2	43,394	32,66	21,15	14,74	10,27	7,091	7,067
Huixtla, Chiapas	20,2	43,118	32,32	20,82	14,46	10,05	6,957	7,009
Jaltipan de Morelos, Veracruz	20,2	42,984	32,33	20,92	14,57	10,15	7,002	6,98
Zona 6								
Mérida	20,2	42,974	32,51	21,19	14,83	10,35	7,117	6,978
Cancún	20,2	42,764	32,41	21,17	14,84	10,37	7,116	6,934
Chetumal	20,2	42,795	32,31	20,99	14,66	10,23	7,039	6,94
Campeche	20,2	43,016	32,49	21,12	14,76	10,3	7,088	6,987
Zona 7								

Tabla b.31 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación Zhao - ITU para la frecuencia descendente un enlace satelital en la banda Ka.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	27,5	17,837	13,42	8,666	6,005	4,122	2,694	2,413
Mexicali	27,5	17,873	13,434	8,665	6	4,117	2,693	2,419
Hermosillo	27,5	16,922	12,576	7,995	5,483	3,737	2,45	2,253
La Paz, B.C.S.	27,5	16,841	12,415	7,814	5,324	3,614	2,381	2,239
Pto. Escondido	27,5	15,436	11,189	6,893	4,63	3,111	2,056	1,998
Ensenada	27,5	17,776	13,352	8,605	5,954	4,084	2,671	2,402
Santa Ana, B.C.	27,5	16,32	12,121	7,7	5,276	3,592	2,349	2,149
San José del Cabo	27,5	16,461	12,101	7,589	5,158	3,495	2,302	2,173

N.Casas Grandes, Chi.	27,5	13,118	9,6416	6,041	4,097	2,76	1,782	1,616
Cerros Salsipuedes, B.C.	27,5	10,168	7,3137	4,456	2,963	1,964	1,256	1,159
Zona 1								
Saltillo	27,5	34,22	26,034	17,08	12,02	8,422	5,798	5,649
Zacatecas	27,5	26,049	19,5	12,53	8,677	5,996	4,07	3,956
San L. Potosí	27,5	31,011	23,379	15,16	10,58	7,365	5,055	4,967
Aguascalientes	27,5	30,844	23,242	15,06	10,5	7,311	5,017	4,932
Culiacán	27,5	45,298	34,928	23,33	16,63	11,81	8,267	8,146
Durango	27,5	31,447	23,797	15,51	10,85	7,572	5,191	5,059
Cd. Victoria	27,5	43,636	33,489	22,24	15,78	11,17	7,819	7,758
Chihuahua	27,5	36,401	27,938	18,54	13,14	9,262	6,375	6,123
Monterrey	27,5	42,287	32,497	21,61	15,35	10,87	7,577	7,446
Cd. Juárez	27,5	39,391	30,506	20,48	14,63	10,38	7,152	6,788
Torreón	27,5	38,054	29,106	19,24	13,6	9,582	6,637	6,488
N. Laredo	27,5	44,965	34,75	23,28	16,62	11,81	8,252	8,068
Zona 2								
Tampico	27,5	45,727	35,101	23,31	16,56	11,74	8,248	8,247
Matamoros	27,5	45,776	35,324	23,62	16,84	11,97	8,384	8,258
Reynosa	27,5	45,601	35,191	23,53	16,78	11,93	8,349	8,217
Cd. Mante, Tamp.	27,5	45,263	34,75	23,09	16,4	11,62	8,157	8,138
Jalapa	27,5	33,84	25,537	16,59	11,59	8,091	5,593	5,567
Zona 3								
México DF	27,5	42,676	32,538	21,43	15,13	10,67	7,483	7,536
León	27,5	31,24	23,53	15,24	10,63	7,397	5,083	5,015
Pachuca	27,5	46,265	35,436	23,47	16,64	11,79	8,305	8,374
Tulancingo	27,5	44,343	33,897	22,4	15,85	11,2	7,872	7,922
Queretaro	27,5	48,836	37,517	24,95	17,74	12,6	8,903	8,986
Guanajuato	27,5	29,383	22,066	14,24	9,897	6,869	4,703	4,63
Oaxaca	27,5	51,243	39,309	26,1	18,55	13,18	9,36	9,569
Iguala	27,5	62,216	48,205	32,43	23,27	16,69	11,99	12,33
Chilpancingo	27,5	55,35	42,619	28,44	20,28	14,47	10,32	10,58
Cuernavaca	27,5	52,336	40,256	26,82	19,1	13,6	9,66	9,836
Morelia	27,5	47,203	36,172	23,98	17,01	12,06	8,507	8,596
Veracruz	27,5	70,061	54,657	37,1	26,8	19,34	13,98	14,39
Huehuetla, Guan.	27,5	65,653	51,125	34,62	24,95	17,97	12,92	13,22
Zona 4								
Guadalajara	27,5	52,465	40,457	27,04	19,3	13,76	9,757	9,868
Mazatlán	27,5	45,617	35,096	23,38	16,63	11,8	8,28	8,221
Pto. Vallarta	27,5	45,387	34,779	23,05	16,35	11,58	8,138	8,167
Tepic	27,5	38,851	29,589	19,45	13,71	9,643	6,71	6,666
Colima	27,5	64,646	50,248	33,94	24,43	17,56	12,63	12,96
Manzanillo	27,5	70,093	54,68	37,11	26,81	19,35	13,98	14,4
Pto. Ángel	27,5	70,3	54,65	36,93	26,6	19,17	13,89	14,46
Acapulco	27,5	70,356	54,735	37,02	26,68	19,24	13,93	14,47
Uruapan	27,5	51,054	39,252	26,13	18,6	13,23	9,381	9,523

Laz. Cárdenas	27,5	70,293	54,754	37,09	26,76	19,3	13,97	14,46
Zamora	27,5	51,745	39,835	26,57	18,93	13,48	9,56	9,691
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	27,5	63,783	49,392	33,21	23,82	17,09	12,31	12,73
Villa Hermosa	27,5	69,81	54,434	36,92	26,66	19,23	13,9	14,33
Tapachula	27,5	68,123	52,913	35,71	25,7	18,5	13,37	13,88
Coatzacoalcos	27,5	70,222	54,746	37,13	26,8	19,34	13,99	14,44
Huixtla, Chiapas	27,5	70,188	54,507	36,79	26,48	19,07	13,82	14,43
Jalípan de Morelos, Veracruz	27,5	69,598	54,225	36,74	26,51	19,12	13,82	14,27
Zona 6								
Mérida	27,5	69,173	54,19	36,97	26,79	19,37	13,94	14,16
Cancún	27,5	68,732	53,941	36,88	26,76	19,36	13,92	14,04
Chetumal	27,5	69,019	53,954	36,71	26,56	19,18	13,82	14,11
Campeche	27,5	69,355	54,237	36,92	26,72	19,3	13,92	14,2
Zona 7								

Tabla b.32 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación Zhao - ITU para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ka.

Resultados de la combinación ITU-R – Crane

Los márgenes de atenuación obtenidos con la combinación ITU-R – Crane , se muestran en las tablas b.33 y b.34.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	20,2	9,217	7,035	4,801	3,522	2,537	1,6	1,106
Mexicali	20,2	9,199	7,021	4,792	3,515	2,532	1,597	1,104
Hermosillo	20,2	8,092	6,177	4,215	3,092	2,228	1,405	0,971
La Paz, B.C.S.	20,2	7,817	5,967	4,072	2,987	2,152	1,357	0,938
Pto. Escondido	20,2	6,782	5,177	3,533	2,592	1,867	1,178	0,814
Ensenada	20,2	9,091	6,939	4,735	3,474	2,503	1,578	1,091
Santa Ana, B.C.	20,2	7,691	5,871	4,006	2,939	2,117	1,336	0,923
San José del Cabo	20,2	7,536	5,752	3,926	2,88	2,075	1,309	0,904
N.Casas Grandes, Chi.	20,2	5,572	4,253	2,902	2,129	1,534	0,967	0,669
Cerros Salsipuedes, B.C.	20,2	3,883	2,964	2,023	1,484	1,069	0,674	0,466
Zona 1								
Saltillo	20,2	7,825	5,973	4,076	2,99	2,154	1,359	0,939
Zacatecas	20,2	6,14	4,687	3,199	2,346	1,69	1,066	0,737
San L. Potosí	20,2	8,691	6,634	4,527	3,321	2,393	1,509	1,043

Aguascalientes	20,2	8,597	6,562	4,478	3,285	2,367	1,493	1,032
Culiacán	20,2	12,97	9,901	6,757	4,956	3,571	2,252	1,557
Durango	20,2	9,002	6,871	4,689	3,44	2,478	1,563	1,08
Cd. Victoria	20,2	15,96	12,18	8,315	6,099	4,394	2,772	1,915
Chihuahua	20,2	9,008	6,876	4,692	3,442	2,48	1,564	1,081
Monterrey	20,2	11,47	8,756	5,975	4,383	3,158	1,992	1,377
Cd. Juárez	20,2	6,457	4,929	3,364	2,467	1,778	1,121	0,775
Torreón	20,2	9,518	7,265	4,958	3,637	2,62	1,653	1,142
N. Laredo	20,2	13,09	9,993	6,82	5,002	3,604	2,273	1,571
Zona 2								
Tampico	20,2	16,98	12,96	8,845	6,488	4,675	2,948	2,038
Matamoros	20,2	17,78	13,57	9,262	6,794	4,895	3,087	2,134
Reynosa	20,2	17,7	13,51	9,219	6,762	4,872	3,073	2,124
Cd. Mante, Tamp.	20,2	16,78	12,81	8,743	6,413	4,621	2,914	2,014
Jalapa	20,2	13,16	10,04	6,853	5,027	3,622	2,284	1,579
Zona 3								
México DF	20,2	6,392	4,879	3,329	2,442	1,76	1,11	0,767
León	20,2	8,775	6,698	4,571	3,353	2,416	1,524	1,053
Pachuca	20,2	7,65	5,839	3,985	2,923	2,106	1,328	0,918
Tulancingo	20,2	6,984	5,331	3,638	2,668	1,923	1,213	0,838
Queretaro	20,2	8,577	6,547	4,468	3,277	2,361	1,489	1,029
Guanajuato	20,2	7,817	5,967	4,072	2,987	2,152	1,357	0,938
Oaxaca	20,2	9,204	7,025	4,794	3,517	2,534	1,598	1,104
Iguala	20,2	13,19	10,07	6,872	5,041	3,632	2,291	1,583
Chilpancingo	20,2	10,64	8,12	5,542	4,065	2,929	1,847	1,277
Cuernavaca	20,2	9,702	7,406	5,054	3,707	2,671	1,685	1,164
Morelia	20,2	7,959	6,075	4,146	3,041	2,191	1,382	0,955
Veracruz	20,2	21,32	16,27	11,1	8,146	5,869	3,702	2,558
Huehuetla, Guan.	20,2	14,86	11,35	7,743	5,68	4,092	2,581	1,784
Zona 4								
Guadalajara	20,2	7,306	5,577	3,806	2,792	2,011	1,269	0,877
Mazatlán	20,2	12,84	9,798	6,687	4,905	3,534	2,229	1,54
Pto. Vallarta	20,2	12,3	9,385	6,405	4,698	3,385	2,135	1,475
Tepic	20,2	9,563	7,299	4,981	3,654	2,633	1,66	1,148
Colima	20,2	10,58	8,074	5,51	4,042	2,912	1,837	1,269
Manzanillo	20,2	12,16	9,282	6,334	4,646	3,348	2,112	1,459
Pto. Ángel	20,2	11,65	8,895	6,07	4,453	3,208	2,023	1,398
Acapulco	20,2	22,13	16,89	11,53	8,454	6,091	3,842	2,655
Uruapan	20,2	9,295	7,095	4,842	3,552	2,559	1,614	1,115
Laz. Cárdenas	20,2	11,97	9,137	6,236	4,574	3,296	2,079	1,436
Zamora	20,2	7,062	5,39	3,679	2,698	1,944	1,226	0,847
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	20,2	18,83	14,37	9,808	7,195	5,184	3,27	2,26
Villa Hermosa	20,2	22,48	17,16	11,71	8,589	6,189	3,903	2,698
Tapachula	20,2	20,97	16,01	10,93	8,014	5,774	3,642	2,517
Coatzacoalcos	20,2	32,59	24,88	16,98	12,45	8,973	5,66	3,911

Huixtla, Chiapas	20,2	21,61	16,5	11,26	8,259	5,95	3,753	2,594
Jaltipan de Morelos, Veracruz	20,2	32,09	24,49	16,72	12,26	8,834	5,572	3,851
Zona 6								
Mérida	20,2	23,27	17,76	12,12	8,892	6,407	4,041	2,793
Cancún	20,2	23,46	17,91	12,22	8,963	6,458	4,073	2,815
Chetumal	20,2	22,74	17,36	11,85	8,689	6,261	3,949	2,729
Campeche	20,2	22,96	17,53	11,96	8,774	6,322	3,987	2,756
Zona 7								

Tabla b.33 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación ITU-R - Crane para la frecuencia descendente un enlace satelital en la banda Ka.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	27,5	16,731	12,771	8,715	6,393	4,606	2,905	2,008
Mexicali	27,5	16,698	12,746	8,698	6,38	4,597	2,899	2,004
Hermosillo	27,5	14,689	11,212	7,652	5,613	4,044	2,551	1,763
La Paz, B.C.S.	27,5	14,191	10,832	7,392	5,422	3,907	2,464	1,703
Pto. Escondido	27,5	12,312	9,3981	6,414	4,705	3,39	2,138	1,477
Ensenada	27,5	16,502	12,596	8,596	6,306	4,543	2,865	1,98
Santa Ana, B.C.	27,5	13,962	10,657	7,273	5,335	3,844	2,424	1,675
San José del Cabo	27,5	13,68	10,442	7,126	5,227	3,766	2,375	1,642
N.Casas Grandes, Chi.	27,5	10,114	7,7204	5,269	3,865	2,785	1,756	1,214
Cerros Salsipuedes, B.C.	27,5	7,0485	5,3802	3,672	2,693	1,94	1,224	0,846
Zona 1								
Saltillo	27,5	13,885	10,598	7,233	5,305	3,822	2,411	1,666
Zacatecas	27,5	10,75	8,2053	5,6	4,108	2,959	1,867	1,29
San L. Potosí	27,5	15,215	11,614	7,926	5,814	4,189	2,642	1,826
Aguascalientes	27,5	15,051	11,489	7,84	5,751	4,144	2,613	1,806
Culiacán	27,5	23,016	17,568	11,99	8,794	6,336	3,996	2,762
Durango	27,5	15,759	12,029	8,209	6,022	4,339	2,736	1,891
Cd. Victoria	27,5	27,944	21,33	14,56	10,68	7,693	4,852	3,353
Chihuahua	27,5	15,983	12,2	8,326	6,107	4,4	2,775	1,918
Monterrey	27,5	20,355	15,537	10,6	7,778	5,604	3,534	2,443
Cd. Juárez	27,5	11,722	8,9472	6,106	4,479	3,227	2,035	1,407
Torreón	27,5	16,889	12,891	8,797	6,453	4,65	2,933	2,027
N. Laredo	27,5	23,23	17,732	12,1	8,876	6,395	4,034	2,788
Zona 2								
Tampico	27,5	29,726	22,69	15,48	11,36	8,184	5,162	3,567
Matamoros	27,5	31,127	23,76	16,21	11,89	8,569	5,405	3,735
Reynosa	27,5	30,983	23,65	16,14	11,84	8,53	5,38	3,718
Cd. Mante, Tamp.	27,5	29,384	22,429	15,31	11,23	8,09	5,102	3,526
Jalapa	27,5	22,754	17,369	11,85	8,695	6,264	3,951	2,731

Zona 3								
México DF	27,5	11,19	8,5411	5,829	4,276	3,081	1,943	1,343
León	27,5	15,363	11,726	8,002	5,87	4,229	2,668	1,844
Pachuca	27,5	13,393	10,223	6,976	5,118	3,687	2,326	1,607
Tulancingo	27,5	12,226	9,3322	6,369	4,672	3,366	2,123	1,467
Queretaro	27,5	15,015	11,461	7,821	5,737	4,134	2,607	1,802
Guanajuato	27,5	13,684	10,445	7,128	5,229	3,767	2,376	1,642
Oaxaca	27,5	16,113	12,299	8,393	6,157	4,436	2,798	1,934
Iguala	27,5	23,095	17,629	12,03	8,825	6,358	4,01	2,771
Chilpancingo	27,5	18,624	14,216	9,702	7,116	5,127	3,234	2,235
Cuernavaca	27,5	16,985	12,965	8,848	6,49	4,676	2,949	2,038
Morelia	27,5	13,934	10,636	7,258	5,324	3,836	2,42	1,672
Veracruz	27,5	36,873	28,145	19,21	14,09	10,15	6,403	4,425
Huehuetla, Guan.	27,5	26,024	19,864	13,56	9,944	7,164	4,519	3,123
Zona 4								
Guadalajara	27,5	12,964	9,8955	6,753	4,954	3,569	2,251	1,556
Mazatlán	27,5	22,777	17,386	11,86	8,703	6,271	3,955	2,733
Pto. Vallarta	27,5	21,817	16,653	11,36	8,336	6,006	3,788	2,618
Tepic	27,5	16,968	12,952	8,839	6,484	4,671	2,946	2,036
Colima	27,5	18,769	14,327	9,777	7,172	5,167	3,259	2,252
Manzanillo	27,5	21,577	16,47	11,24	8,245	5,94	3,747	2,589
Pto. Ángel	27,5	20,678	15,783	10,77	7,901	5,693	3,59	2,481
Acapulco	27,5	38,157	29,126	19,88	14,58	10,5	6,626	4,579
Uruapan	27,5	16,272	12,421	8,476	6,218	4,48	2,825	1,953
Laz. Cárdenas	27,5	21,241	16,213	11,06	8,116	5,848	3,688	2,549
Zamora	27,5	12,531	9,5647	6,527	4,788	3,45	2,176	1,504
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	27,5	32,473	24,787	16,92	12,41	8,94	5,639	3,897
Villa Hermosa	27,5	38,768	29,592	20,19	14,81	10,67	6,732	4,652
Tapachula	27,5	36,172	27,611	18,84	13,82	9,958	6,281	4,341
Coatzacoalcos	27,5	55,197	42,132	28,75	21,09	15,2	9,584	6,624
Huixtla, Chiapas	27,5	37,276	28,453	19,42	14,24	10,26	6,473	4,473
Jaltipan de Morelos, Veracruz	27,5	54,342	41,48	28,31	20,76	14,96	9,436	6,521
Zona 6								
Mérida	27,5	40,134	30,634	20,91	15,34	11,05	6,969	4,816
Cancún	27,5	40,455	30,879	21,07	15,46	11,14	7,024	4,855
Chetumal	27,5	39,219	29,936	20,43	14,99	10,8	6,81	4,706
Campeche	27,5	39,602	30,228	20,63	15,13	10,9	6,876	4,752
Zona 7								

Tabla b.34 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación ITU-R - Crane para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ka.

Resultados de la combinación ITU-R – ITU

Los márgenes de atenuación obtenidos con la combinación ITU-R – ITU , se muestran en las tablas b.36 y b.37.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	20,2	8,787	6,707	4,577	3,358	2,419	1,526	1,054
Mexicali	20,2	8,77	6,694	4,568	3,351	2,414	1,523	1,052
Hermosillo	20,2	7,711	5,886	4,017	2,946	2,123	1,339	0,925
La Paz, B.C.S.	20,2	7,448	5,685	3,88	2,846	2,05	1,293	0,894
Pto. Escondido	20,2	6,458	4,93	3,364	2,468	1,778	1,121	0,775
Ensenada	20,2	8,666	6,615	4,514	3,311	2,386	1,505	1,04
Santa Ana, B.C.	20,2	7,329	5,595	3,818	2,801	2,018	1,273	0,88
San José del Cabo	20,2	7,179	5,48	3,74	2,743	1,976	1,247	0,862
N.Casas Grandes, Chi.	20,2	5,307	4,051	2,765	2,028	1,461	0,922	0,637
Cerros Salsipuedes, B.C.	20,2	3,697	2,822	1,926	1,413	1,018	0,642	0,444
Zona 1								
Saltillo	20,2	13,8	10,53	7,187	5,272	3,798	2,396	1,656
Zacatecas	20,2	8,061	6,153	4,199	3,08	2,219	1,4	0,967
San L. Potosi	20,2	11,37	8,682	5,925	4,346	3,131	1,975	1,365
Aguascalientes	20,2	11,25	8,59	5,862	4,3	3,098	1,954	1,35
Culiacán	20,2	22,47	17,15	11,7	8,585	6,186	3,901	2,696
Durango	20,2	11,76	8,98	6,128	4,495	3,239	2,043	1,412
Cd. Victoria	20,2	20,67	15,78	10,77	7,898	5,69	3,589	2,48
Chihuahua	20,2	15,76	12,03	8,208	6,021	4,338	2,736	1,891
Monterrey	20,2	19,97	15,25	10,4	7,632	5,499	3,468	2,397
Cd. Juárez	20,2	18,66	14,24	9,719	7,129	5,136	3,24	2,239
Torreón	20,2	16,68	12,73	8,689	6,374	4,592	2,896	2,002
N. Laredo	20,2	22,61	17,26	11,78	8,64	6,225	3,926	2,713
Zona 2								
Tampico	20,2	21,98	16,78	11,45	8,4	6,052	3,817	2,638
Matamoros	20,2	22,92	17,49	11,94	8,758	6,31	3,98	2,75
Reynosa	20,2	22,81	17,41	11,88	8,717	6,28	3,961	2,738
Cd. Mante, Tamp.	20,2	21,73	16,59	11,32	8,302	5,982	3,773	2,607
Jalapa	20,2	13,16	10,04	6,853	5,027	3,622	2,284	1,579
Zona 3								
México DF	20,2	12,97	9,9	6,756	4,956	3,571	2,252	1,556
León	20,2	11,49	8,77	5,985	4,39	3,163	1,995	1,379
Pachuca	20,2	15,41	11,76	8,028	5,889	4,243	2,676	1,85
Tulancingo	20,2	14,12	10,77	7,353	5,394	3,886	2,451	1,694
Queretaro	20,2	17,19	13,12	8,953	6,567	4,732	2,984	2,062
Guanajuato	20,2	10,25	7,821	5,338	3,915	2,821	1,779	1,23
Oaxaca	20,2	18,51	14,13	9,642	7,073	5,096	3,214	2,221

Iguala	20,2	26,01	19,86	13,55	9,94	7,162	4,517	3,122
Chilpancingo	20,2	21,26	16,23	11,07	8,122	5,852	3,691	2,551
Cuernavaca	20,2	19,4	14,81	10,11	7,414	5,342	3,369	2,329
Morelia	20,2	16,02	12,23	8,346	6,122	4,411	2,782	1,923
Veracruz	20,2	31,77	24,25	16,55	12,14	8,747	5,517	3,813
Huehuetla, Guan.	20,2	28,89	22,05	15,05	11,04	7,953	5,016	3,467
Zona 4								
Guadalajara	20,2	19,71	15,04	10,27	7,531	5,426	3,422	2,365
Mazatlán	20,2	22,3	17,02	11,62	8,522	6,14	3,873	2,676
Pto. Vallarta	20,2	21,49	16,4	11,19	8,212	5,916	3,732	2,579
Tepic	20,2	16,83	12,85	8,766	6,43	4,633	2,922	2,019
Colima	20,2	27,95	21,34	14,56	10,68	7,696	4,854	3,354
Manzanillo	20,2	31,78	24,26	16,55	12,14	8,749	5,518	3,813
Pto. Ángel	20,2	30,99	23,66	16,14	11,84	8,532	5,381	3,719
Acapulco	20,2	31,22	23,83	16,26	11,93	8,596	5,421	3,747
Uruapan	20,2	18,6	14,2	9,689	7,107	5,121	3,23	2,232
Laz. Cárdenas	20,2	31,51	24,05	16,42	12,04	8,676	5,472	3,782
Zamora	20,2	19,13	14,6	9,964	7,309	5,266	3,321	2,295
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	20,2	26,75	20,42	13,94	10,22	7,366	4,646	3,211
Villa Hermosa	20,2	31,51	24,05	16,41	12,04	8,675	5,471	3,781
Tapachula	20,2	29,68	22,65	15,46	11,34	8,17	5,153	3,561
Coatzacoalcos	20,2	31,69	24,19	16,51	12,11	8,725	5,503	3,803
Huixtla, Chiapas	20,2	30,66	23,4	15,97	11,72	8,441	5,324	3,679
Jaltipan de Morelos, Veracruz	20,2	31,2	23,81	16,25	11,92	8,589	5,417	3,744
Zona 6								
Mérida	20,2	32,24	24,61	16,79	12,32	8,876	5,598	3,869
Cancún	20,2	32,37	24,71	16,86	12,37	8,91	5,62	3,884
Chetumal	20,2	31,66	24,17	16,49	12,1	8,717	5,498	3,8
Campeche	20,2	31,95	24,38	16,64	12,21	8,795	5,547	3,833
Zona 7								

Tabla b.36 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación ITU-R - ITU para la frecuencia descendente un enlace satelital en la banda Ka.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	27,5	15,985	12,202	8,327	6,108	4,401	2,776	1,918
Mexicali	27,5	15,953	12,177	8,31	6,096	4,392	2,77	1,914
Hermosillo	27,5	14,028	10,708	7,307	5,36	3,862	2,436	1,683
La Paz, B.C.S.	27,5	13,549	10,342	7,058	5,177	3,73	2,353	1,626
Pto. Escondido	27,5	11,749	8,9682	6,12	4,489	3,235	2,04	1,41
Ensenada	27,5	15,766	12,034	8,212	6,024	4,34	2,738	1,892
Santa Ana, B.C.	27,5	13,333	10,177	6,945	5,095	3,671	2,315	1,6

San José del Cabo	27,5	13,061	9,9692	6,803	4,99	3,596	2,268	1,567
N.Casas Grandes, Chi.	27,5	9,6551	7,3698	5,029	3,689	2,658	1,677	1,159
Cerros Salsipuedes, B.C.	27,5	6,7256	5,1337	3,503	2,57	1,852	1,168	0,807
Zona 1								
Saltillo	27,5	23,864	18,216	12,43	9,119	6,57	4,144	2,864
Zacatecas	27,5	13,943	10,643	7,263	5,328	3,839	2,421	1,673
San L. Potosí	27,5	19,674	15,018	10,25	7,518	5,416	3,416	2,361
Aguascalientes	27,5	19,466	14,859	10,14	7,438	5,359	3,38	2,336
Culiacán	27,5	38,865	29,666	20,24	14,85	10,7	6,748	4,664
Durango	27,5	20,348	15,532	10,6	7,775	5,602	3,533	2,442
Cd. Victoria	27,5	35,751	27,289	18,62	13,66	9,842	6,208	4,29
Chihuahua	27,5	27,256	20,805	14,2	10,41	7,504	4,733	3,271
Monterrey	27,5	34,55	26,372	18	13,2	9,512	5,999	4,146
Cd. Juárez	27,5	32,272	24,634	16,81	12,33	8,885	5,604	3,873
Torreón	27,5	28,853	22,024	15,03	11,02	7,943	5,01	3,462
N. Laredo	27,5	39,112	29,854	20,37	14,94	10,77	6,791	4,693
Zona 2								
Tampico	27,5	38,026	29,026	19,81	14,53	10,47	6,603	4,563
Matamoros	27,5	39,644	30,261	20,65	15,15	10,91	6,884	4,757
Reynosa	27,5	39,46	30,12	20,55	15,08	10,86	6,852	4,735
Cd. Mante, Tamp.	27,5	37,583	28,688	19,58	14,36	10,35	6,526	4,51
Jalapa	27,5	22,754	17,369	11,85	8,695	6,264	3,951	2,731
Zona 3								
México DF	27,5	21,997	16,791	11,46	8,405	6,056	3,82	2,64
León	27,5	19,872	15,169	10,35	7,593	5,471	3,451	2,385
Pachuca	27,5	26,139	19,952	13,62	9,988	7,196	4,539	3,137
Tulancingo	27,5	23,94	18,274	12,47	9,148	6,591	4,157	2,873
Queretaro	27,5	29,148	22,249	15,18	11,14	8,025	5,061	3,498
Guanajuato	27,5	17,724	13,529	9,232	6,772	4,879	3,078	2,127
Oaxaca	27,5	31,394	23,963	16,35	12	8,643	5,451	3,767
Iguala	27,5	44,119	33,676	22,98	16,86	12,15	7,661	5,294
Chilpancingo	27,5	36,051	27,518	18,78	13,78	9,925	6,26	4,326
Cuernavaca	27,5	32,909	25,12	17,14	12,57	9,06	5,714	3,949
Morelia	27,5	27,173	20,741	14,15	10,38	7,481	4,718	3,261
Veracruz	27,5	53,885	41,131	28,07	20,59	14,83	9,357	6,466
Huehuetla, Guan.	27,5	48,996	37,399	25,52	18,72	13,49	8,508	5,879
Zona 4								
Guadalajara	27,5	33,428	25,516	17,41	12,77	9,203	5,804	4,011
Mazatlán	27,5	38,58	29,448	20,1	14,74	10,62	6,699	4,63
Pto. Vallarta	27,5	37,172	28,374	19,36	14,2	10,23	6,454	4,461
Tepic	27,5	29,109	22,219	15,16	11,12	8,014	5,054	3,493
Colima	27,5	47,409	36,187	24,7	18,12	13,05	8,232	5,689
Manzanillo	27,5	53,896	41,139	28,07	20,59	14,84	9,358	6,467
Pto. Ángel	27,5	52,562	40,121	27,38	20,08	14,47	9,127	6,307
Acapulco	27,5	52,953	40,419	27,58	20,23	14,58	9,195	6,354

Uruapan	27,5	31,546	24,079	16,43	12,05	8,685	5,478	3,786
Laz. Cárdenas	27,5	53,445	40,795	27,84	20,42	14,71	9,28	6,413
Zamora	27,5	32,441	24,762	16,9	12,4	8,931	5,633	3,893
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	27,5	45,375	34,635	23,64	17,34	12,49	7,879	5,445
Villa Hermosa	27,5	53,44	40,791	27,84	20,42	14,71	9,279	6,413
Tapachula	27,5	50,329	38,416	26,22	19,23	13,86	8,739	6,039
Coatzacoalcos	27,5	53,752	41,029	28	20,54	14,8	9,333	6,45
Huixtla, Chiapas	27,5	52,001	39,693	27,09	19,87	14,32	9,029	6,24
Jaltipan de Morelos, Veracruz	27,5	52,911	40,387	27,56	20,22	14,57	9,187	6,349
Zona 6								
Mérida	27,5	54,677	41,735	28,48	20,89	15,05	9,494	6,561
Cancún	27,5	54,892	41,899	28,59	20,97	15,11	9,531	6,587
Chetumal	27,5	53,7	40,989	27,97	20,52	14,78	9,324	6,444
Campeche	27,5	54,179	41,355	28,22	20,7	14,92	9,408	6,501
Zona 7								

Tabla b.37 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación ITU-R - ITU para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ka.

Resultados de la combinación Crane – Crane

Los márgenes de atenuación obtenidos con la combinación Crane – Crane , se muestran en las tablas b.38 y b.39.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	20,2	12,588	7,892	4,635	3,234	1,911	0,721	0,477
Mexicali	20,2	12,536	7,851	4,604	3,208	1,892	0,711	0,469
Hermosillo	20,2	11,803	7,295	4,203	2,889	1,664	0,59	0,377
La Paz, B.C.S.	20,2	11,942	7,304	4,148	2,818	1,591	0,534	0,33
Pto. Escondido	20,2	10,991	6,379	3,35	2,124	1,045	0,207	0,07
Ensenada	20,2	12,443	7,785	4,56	3,175	1,869	0,7	0,461
Santa Ana, B.C.	20,2	11,187	6,895	3,958	2,712	1,554	0,544	0,345
San José del Cabo	20,2	12,091	7,379	4,178	2,831	1,591	0,528	0,323
N.Casas Grandes, Chi.	20,2	8,4541	5,089	2,826	1,884	1,027	0,311	0,179
Cerros Salsipuedes, B.C.	20,2	7,5035	4,38	2,321	1,484	0,744	0,162	0,065
Zona 1								
Saltillo	20,2	12,169	8,762	4,995	3,292	2,116	0,978	0,431
Zacatecas	20,2	12,616	8,751	5,169	3,271	1,827	0,768	0,285
San L. Potosí	20,2	15,58	10,93	6,6	4,279	2,489	1,148	0,514

Aguascalientes	20,2	15,495	10,87	6,549	4,24	2,461	1,129	0,5
Culiacán	20,2	18,787	13,83	8,242	5,654	3,823	1,979	1,033
Durango	20,2	14,771	10,39	6,294	4,098	2,4	1,123	0,515
Cd. Victoria	20,2	22,915	16,46	10,34	6,995	4,344	2,27	1,223
Chihuahua	20,2	12,852	9,34	5,43	3,643	2,397	1,17	0,562
Monterrey	20,2	16,639	12,18	7,179	4,877	3,259	1,646	0,832
Cd. Juárez	20,2	8,4202	5,079	2,828	1,89	1,035	0,318	0,185
Torreón	20,2	14,259	10,36	6,018	4,035	2,652	1,292	0,62
N. Laredo	20,2	17,941	13,21	7,881	5,41	3,661	1,899	0,994
Zona 2								
Tampico	20,2	25,215	18,15	11,43	7,756	4,837	2,546	1,384
Matamoros	20,2	24,657	17,83	11,33	7,75	4,889	2,624	1,462
Reynosa	20,2	24,539	17,75	11,28	7,714	4,866	2,613	1,455
Cd. Mante, Tamp.	20,2	24,948	17,96	11,32	7,686	4,797	2,528	1,377
Jalapa	20,2	23,079	17,46	11,02	7,593	4,564	1,982	0,94
Zona 3								
México DF	20,2	13,039	8,965	5,208	3,232	1,743	0,67	0,194
León	20,2	15,192	10,62	6,36	4,09	2,347	1,051	0,445
Pachuca	20,2	15,016	10,46	6,22	3,969	2,247	0,977	0,39
Tulancingo	20,2	14,252	9,888	5,843	3,699	2,067	0,871	0,325
Queretaro	20,2	16,062	11,25	6,759	4,362	2,518	1,143	0,496
Guanajuato	20,2	14,079	9,787	5,805	3,691	2,078	0,891	0,346
Oaxaca	20,2	16,938	11,78	6,99	4,447	2,506	1,077	0,42
Iguala	20,2	20,986	14,83	9,063	5,956	3,54	1,707	0,821
Chilpancingo	20,2	18,556	12,99	7,802	5,032	2,902	1,314	0,568
Cuernavaca	20,2	16,898	11,81	7,077	4,551	2,612	1,171	0,497
Morelia	20,2	15,386	10,72	6,382	4,076	2,312	1,009	0,406
Veracruz	20,2	31,679	24,25	15,66	11,03	6,881	3,248	1,717
Huehuetla, Guan.	20,2	23,356	16,69	10,39	6,966	4,268	2,178	1,138
Zona 4								
Guadalajara	20,2	13,165	9,425	5,307	3,457	2,187	0,971	0,398
Mazatlán	20,2	19,46	14,3	8,507	5,824	3,928	2,023	1,049
Pto. Vallarta	20,2	19,261	14,08	8,279	5,613	3,741	1,878	0,942
Tepic	20,2	15,101	10,92	6,289	4,183	2,721	1,294	0,598
Colima	20,2	16,771	12,13	6,979	4,639	3,016	1,432	0,66
Manzanillo	20,2	18,72	13,61	7,922	5,321	3,505	1,715	0,828
Pto. Ángel	20,2	18,478	13,3	7,578	4,991	3,206	1,478	0,649
Acapulco	20,2	33,828	25,77	16,54	10,83	6,653	3,042	1,401
Uruapan	20,2	16,415	11,47	6,875	4,421	2,538	1,137	0,482
Laz. Cárdenas	20,2	18,855	13,67	7,9	5,273	3,447	1,657	0,779
Zamora	20,2	12,861	9,172	5,123	3,309	2,071	0,893	0,344
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	20,2	30,48	23,12	14,72	9,541	5,782	2,561	1,122
Villa Hermosa	20,2	32,937	25,18	16,27	10,73	6,671	3,124	1,49
Tapachula	20,2	32,884	25,02	16,02	10,45	6,397	2,897	1,315
Coatzacoalcos	20,2	48,428	38,38	26,12	17,58	10,41	3,947	1,664

Huixtla, Chiapas	20,2	33,387	25,32	16,12	10,44	6,324	2,797	1,223
Jaltipan de Morelos, Veracruz	20,2	48,968	38,81	26,42	17,77	10,52	3,993	1,684
Zona 6								
Mérida	20,2	34,917	26,9	17,64	11,83	7,518	3,686	1,869
Cancún	20,2	33,919	26,15	17,17	11,54	7,35	3,62	1,846
Chetumal	20,2	34,001	26,12	17,04	11,36	7,161	3,456	1,717
Campeche	20,2	34,667	26,65	17,41	11,62	7,346	3,561	1,78
Zona 7								

Tabla b.38 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación Crane-Crane para la frecuencia descendente un enlace satelital en la banda Ka.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	27,5	22,745	14,548	8,74	6,191	3,74	1,471	0,99
Mexicali	27,5	22,65	14,472	8,682	6,143	3,704	1,451	0,974
Hermosillo	27,5	21,32	13,45	7,934	5,541	3,268	1,212	0,789
La Paz, B.C.S.	27,5	21,571	13,473	7,839	5,415	3,132	1,104	0,697
Pto. Escondido	27,5	19,887	11,817	6,384	4,132	2,104	0,464	0,182
Ensenada	27,5	22,481	14,351	8,599	6,08	3,661	1,428	0,958
Santa Ana, B.C.	27,5	20,207	12,715	7,473	5,204	3,054	1,118	0,723
San José del Cabo	27,5	21,841	13,613	7,897	5,442	3,134	1,092	0,684
N.Casas Grandes, Chi.	27,5	15,275	9,3974	5,352	3,631	2,033	0,652	0,386
Cerros Salsipuedes, B.C.	27,5	13,573	8,1091	4,419	2,883	1,493	0,358	0,158
Zona 1								
Saltillo	27,5	21,546	15,734	9,19	6,167	4,042	1,935	0,889
Zacatecas	27,5	22,073	15,553	9,4	6,07	3,482	1,531	0,609
San L. Potosí	27,5	27,252	19,419	11,98	7,915	4,717	2,257	1,054
Aguascalientes	27,5	27,103	19,299	11,89	7,844	4,663	2,22	1,029
Culiacán	27,5	33,266	24,805	15,12	10,54	7,245	3,858	2,073
Durango	27,5	25,835	18,447	11,42	7,575	4,543	2,202	1,051
Cd. Victoria	27,5	40,09	29,212	18,72	12,88	8,161	4,386	2,428
Chihuahua	27,5	22,753	16,763	9,974	6,808	4,561	2,297	1,143
Monterrey	27,5	29,458	21,847	13,17	9,1	6,187	3,218	1,676
Cd. Juárez	27,5	15,213	9,3765	5,354	3,641	2,048	0,665	0,397
Torreón	27,5	25,244	18,592	11,06	7,541	5,048	2,538	1,26
N. Laredo	27,5	31,769	23,698	14,46	10,08	6,938	3,701	1,993
Zona 2								
Tampico	27,5	44,119	32,202	20,7	14,27	9,083	4,915	2,744
Matamoros	27,5	43,158	31,654	20,51	14,25	9,171	5,056	2,888
Reynosa	27,5	42,951	31,504	20,41	14,19	9,129	5,033	2,875
Cd. Mante, Tamp.	27,5	43,653	31,872	20,5	14,14	9,007	4,88	2,73

Jalapa	27,5	39,922	30,572	19,68	13,78	8,466	3,818	1,878
Zona 3								
México DF	27,5	22,821	15,946	9,487	6,016	3,341	1,356	0,442
León	27,5	26,575	18,862	11,55	7,573	4,455	2,074	0,924
Pachuca	27,5	26,27	18,578	11,3	7,356	4,275	1,937	0,82
Tulancingo	27,5	24,936	17,574	10,63	6,865	3,941	1,736	0,693
Queretaro	27,5	28,095	19,976	12,27	8,073	4,777	2,251	1,025
Guanajuato	27,5	24,632	17,393	10,55	6,845	3,957	1,771	0,731
Oaxaca	27,5	29,634	20,931	12,71	8,247	4,771	2,14	0,888
Iguala	27,5	36,703	26,33	16,43	11	6,688	3,332	1,662
Chilpancingo	27,5	32,458	23,071	14,17	9,313	5,505	2,589	1,174
Cuernavaca	27,5	29,559	20,982	12,85	8,427	4,959	2,31	1,03
Morelia	27,5	26,916	19,044	11,6	7,554	4,397	2	0,852
Veracruz	27,5	54,828	42,453	27,93	19,97	12,72	6,199	3,37
Huehuetla, Guan.	27,5	40,854	29,617	18,82	12,83	8,031	4,221	2,271
Zona 4								
Guadalajara	27,5	23,316	16,933	9,775	6,487	4,189	1,934	0,833
Mazatlán	27,5	34,457	25,663	15,61	10,86	7,447	3,946	2,107
Pto. Vallarta	27,5	34,099	25,26	15,2	10,48	7,104	3,676	1,901
Tepic	27,5	26,735	19,609	11,56	7,825	5,187	2,55	1,223
Colima	27,5	29,692	21,773	12,83	8,681	5,75	2,823	1,351
Manzanillo	27,5	33,141	24,429	14,55	9,941	6,668	3,368	1,683
Pto. Ángel	27,5	32,718	23,885	13,94	9,351	6,125	2,927	1,341
Acapulco	27,5	58,375	44,993	29,43	19,62	12,31	5,825	2,78
Uruapan	27,5	28,714	20,383	12,49	8,186	4,818	2,244	1,001
Laz. Cárdenas	27,5	33,38	24,529	14,52	9,861	6,566	3,262	1,59
Zamora	27,5	22,781	16,485	9,442	6,219	3,975	1,786	0,73
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	27,5	52,586	40,37	26,2	17,3	10,72	4,921	2,244
Villa Hermosa	27,5	56,851	43,965	28,95	19,44	12,33	5,968	2,943
Tapachula	27,5	56,743	43,68	28,51	18,94	11,84	5,553	2,615
Coatzacoalcos	27,5	82,276	65,868	45,58	31,19	18,89	7,469	3,272
Huixtla, Chiapas	27,5	57,602	44,214	28,69	18,94	11,72	5,376	2,447
Jaltipan de Morelos, Veracruz	27,5	83,194	66,605	46,09	31,54	19,1	7,556	3,31
Zona 6								
Mérida	27,5	60,322	46,995	31,38	21,41	13,87	7,012	3,661
Cancún	27,5	58,606	45,695	30,56	20,88	13,56	6,884	3,614
Chetumal	27,5	58,718	45,621	30,31	20,56	13,22	6,583	3,372
Campeche	27,5	59,873	46,553	30,97	21,04	13,56	6,781	3,492
Zona 7								

Tabla b.39 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación Crane-Crane para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ka.

Resultados de la combinación Crane – ITU

Los márgenes de atenuación obtenidos con la combinación Crane – ITU , se muestran en las tablas b.40 y b.41.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad				
		99.99%	99.97%	99.9%	99.7%	99%
Tijuana	20,2	12,075	6,82	3,517	1,44	0,354
Mexicali	20,2	12,024	6,782	3,49	1,424	0,348
Hermosillo	20,2	11,308	6,273	3,153	1,235	0,272
La Paz, B.C.S.	20,2	11,432	6,258	3,085	1,165	0,231
Pto. Escondido	20,2	10,478	5,362	2,366	0,691	0,011
Ensenada	20,2	11,934	6,723	3,454	1,406	0,341
Santa Ana, B.C.	20,2	10,716	5,924	2,962	1,149	0,246
San José del Cabo	20,2	11,573	6,317	3,101	1,162	0,224
N.Casas Grandes, Chi.	20,2	8,0825	4,336	2,072	0,735	0,116
Cerros Salsipuedes, B.C.	20,2	7,1562	3,689	1,65	0,5	0,022
Zona 1						
Saltillo	20,2	20,881	13,19	7,05	3,292	0,978
Zacatecas	20,2	16,456	10,13	5,169	2,214	0,497
San L. Potosí	20,2	20,178	12,6	6,6	2,972	0,795
Aguascalientes	20,2	20,077	12,52	6,549	2,94	0,779
Culiacán	20,2	31,285	20,26	11,31	5,654	1,979
Durango	20,2	19,105	11,96	6,294	2,859	0,785
Cd. Victoria	20,2	29,242	18,78	10,34	5,068	1,696
Chihuahua	20,2	21,781	13,9	7,568	3,643	1,17
Monterrey	20,2	27,93	17,96	9,916	4,877	1,646
Cd. Juárez	20,2	22,705	14,6	8,051	3,955	1,331
Torreón	20,2	24,176	15,42	8,392	4,035	1,292
N. Laredo	20,2	29,858	19,34	10,8	5,41	1,899
Zona 2						
Tampico	20,2	32,141	20,69	11,43	5,635	1,91
Matamoros	20,2	31,325	20,29	11,33	5,673	1,99
Reynosa	20,2	31,175	20,19	11,28	5,647	1,981
Cd. Mante, Tamp.	20,2	31,793	20,47	11,32	5,587	1,898
Jalapa	20,2	23,079	14,44	7,593	3,443	0,94
Zona 3						
México DF	20,2	26,235	17,67	8,965	3,232	0,623
León	20,2	19,725	12,26	6,36	2,816	0,712
Pachuca	20,2	29,7	20,18	10,46	3,969	0,921
Tulancingo	20,2	28,33	19,2	9,888	3,699	0,819
Queretaro	20,2	31,522	21,51	11,25	4,362	1,082
Guanajuato	20,2	18,34	11,32	5,805	2,511	0,585

Oaxaca	20,2	33,564	22,79	11,78	4,447	1,015
Iguala	20,2	40,638	27,92	14,83	5,956	1,624
Chilpancingo	20,2	36,433	24,85	12,99	5,032	1,243
Cuernavaca	20,2	33,243	22,65	11,81	4,551	1,107
Morelia	20,2	30,411	20,67	10,72	4,076	0,952
Veracruz	20,2	47,108	32,66	17,69	7,401	2,222
Huehuetla, Guan.	20,2	44,498	30,84	16,69	6,966	2,082
Zona 4						
Guadalajara	20,2	34,265	23,49	12,42	4,935	1,309
Mazatlán	20,2	32,463	20,99	11,69	5,824	2,023
Pto. Vallarta	20,2	32,385	20,8	11,45	5,613	1,878
Tepic	20,2	25,752	16,35	8,82	4,183	1,294
Colima	20,2	42,734	29,51	15,85	6,511	1,877
Manzanillo	20,2	47,144	32,68	17,7	7,402	2,221
Pto. Ángel	20,2	47,551	32,72	17,45	7,059	1,962
Acapulco	20,2	47,612	32,83	17,57	7,174	2,037
Uruapan	20,2	32,293	22,01	11,47	4,421	1,075
Laz. Cárdenas	20,2	47,818	33,07	17,82	7,374	2,162
Zamora	20,2	33,732	23,07	12,12	4,757	1,219
Zona 5						
Tuxtla Gtrez.	20,2	43,087	29,57	15,66	6,25	1,677
Villa Hermosa	20,2	46,185	31,97	17,27	7,18	2,127
Tapachula	20,2	46,347	31,91	17,03	6,902	1,927
Coatzacoalcos	20,2	47,007	32,54	17,58	7,305	2,164
Huixtla, Chiapas	20,2	47,206	32,39	17,15	6,837	1,83
Jaltipan de Morelos, Veracruz	20,2	47,531	32,91	17,77	7,389	2,189
Zona 6						
Mérida	20,2	48,554	33,92	18,68	8,061	2,584
Cancún	20,2	47,122	32,96	18,19	7,878	2,545
Chetumal	20,2	47,428	33,03	18,06	7,689	2,399
Campeche	20,2	48,315	33,67	18,45	7,884	2,479
Zona 7						

Tabla b.40 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación Crane-ITU para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ka.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad				
		99.99%	99.97%	99.9%	99.7%	99%
Tijuana	27,5	21,857	12,651	6,709	2,853	0,744
Mexicali	27,5	21,763	12,58	6,659	2,823	0,731
Hermosillo	27,5	20,464	11,641	6,025	2,456	0,577
La Paz, B.C.S.	27,5	20,688	11,62	5,904	2,325	0,496
Pto. Escondido	27,5	18,997	10,007	4,58	1,423	0,055
Ensenada	27,5	21,6	12,471	6,591	2,787	0,718

Santa Ana, B.C.	27,5	19,392	10,994	5,663	2,288	0,525
San José del Cabo	27,5	20,943	11,732	5,937	2,32	0,483
N.Casas Grandes, Chi.	27,5	14,631	8,0614	3,977	1,477	0,257
Cerros Salsipuedes, B.C.	27,5	12,971	6,8816	3,189	1,024	0,068
Zona 1						
Saltillo	27,5	36,126	23,266	12,78	6,167	1,935
Zacatecas	27,5	28,465	17,896	9,4	4,182	1,017
San L. Potosí	27,5	34,903	22,238	11,98	5,587	1,592
Aguascalientes	27,5	34,729	22,108	11,89	5,529	1,561
Culiacán	27,5	54,195	35,753	20,46	10,54	3,858
Durango	27,5	33,047	21,107	11,42	5,369	1,567
Cd. Victoria	27,5	50,626	33,141	18,72	9,459	3,319
Chihuahua	27,5	37,695	24,521	13,71	6,808	2,297
Monterrey	27,5	48,359	31,7	17,95	9,1	3,218
Cd. Juárez	27,5	39,312	25,758	14,57	7,38	2,603
Torreón	27,5	41,839	27,207	15,2	7,541	2,538
N. Laredo	27,5	51,726	34,141	19,55	10,08	3,701
Zona 2						
Tampico	27,5	55,652	36,508	20,7	10,51	3,734
Matamoros	27,5	54,266	35,814	20,51	10,57	3,879
Reynosa	27,5	54,006	35,644	20,41	10,53	3,862
Cd. Mante, Tamp.	27,5	55,052	36,129	20,5	10,42	3,71
Jalapa	27,5	39,922	25,486	13,78	6,467	1,878
Zona 3						
México DF	27,5	44,558	30,532	15,95	6,016	1,268
León	27,5	34,12	21,636	11,55	5,301	1,436
Pachuca	27,5	50,457	34,865	18,58	7,356	1,832
Tulancingo	27,5	48,124	33,172	17,57	6,865	1,638
Queretaro	27,5	53,562	37,153	19,98	8,073	2,137
Guanajuato	27,5	31,724	19,995	10,55	4,739	1,192
Oaxaca	27,5	57,018	39,363	20,93	8,247	2,022
Iguala	27,5	69,083	48,238	26,33	11	3,178
Chilpancingo	27,5	61,906	42,931	23,07	9,313	2,456
Cuernavaca	27,5	56,482	39,132	20,98	8,427	2,19
Morelia	27,5	51,666	35,712	19,04	7,554	1,892
Veracruz	27,5	80,149	56,451	31,4	13,63	4,313
Huehuetla, Guan.	27,5	75,705	53,297	29,62	12,83	4,043
Zona 4						
Guadalajara	27,5	58,24	40,583	22,05	9,118	2,569
Mazatlán	27,5	56,229	37,043	21,15	10,86	3,946
Pto. Vallarta	27,5	56,067	36,703	20,74	10,48	3,676
Tepic	27,5	44,559	28,84	15,98	7,825	2,55
Colima	27,5	72,676	50,988	28,12	12	3,656
Manzanillo	27,5	80,21	56,49	31,42	13,64	4,311
Pto. Ángel	27,5	80,845	56,538	30,97	13,03	3,833

Acapulco	27,5	80,962	56,723	31,19	13,23	3,972
Uruapan	27,5	54,868	38,014	20,38	8,186	2,128
Laz. Cárdenas	27,5	81,335	57,15	31,63	13,59	4,204
Zamora	27,5	57,324	39,848	21,53	8,797	2,401
Zona 5						
Tuxtla Gtrez.	27,5	73,239	51,077	27,8	11,54	3,286
Villa Hermosa	27,5	78,566	55,261	30,65	13,23	4,133
Tapachula	27,5	78,801	55,13	30,22	12,74	3,764
Coatzacoalcos	27,5	79,964	56,242	31,19	13,46	4,204
Huixtla, Chiapas	27,5	80,238	55,948	30,44	12,63	3,587
Jaltipan de Morelos, Veracruz	27,5	80,856	56,872	31,54	13,62	4,253
Zona 6						
Mérida	27,5	82,696	58,68	33,15	14,83	4,991
Cancún	27,5	80,27	57,016	32,28	14,49	4,913
Chetumal	27,5	80,738	57,104	32,04	14,15	4,642
Campeche	27,5	82,258	58,232	32,74	14,51	4,795
Zona 7						

Tabla b.41 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación Crane-ITU para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ka.

Resultados de la combinación España – Crane

Los márgenes de atenuación obtenidos con la combinación España – Crane, se muestran en las tablas b.42 y b.43.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	20,2	9,384	5,845	3,316	2,238	1,252	0,428	0,273
Mexicali	20,2	9,355	5,825	3,304	2,23	1,247	0,426	0,272
Hermosillo	20,2	8,583	5,308	2,995	2,016	1,126	0,384	0,245
La Paz, B.C.S.	20,2	8,487	5,244	2,957	1,99	1,111	0,379	0,242
Pto. Escondido	20,2	7,871	4,837	2,716	1,825	1,017	0,346	0,221
Ensenada	20,2	9,304	5,79	3,283	2,215	1,239	0,424	0,271
Santa Ana, B.C.	20,2	8,311	5,127	2,888	1,943	1,084	0,369	0,236
San José del Cabo	20,2	8,297	5,118	2,882	1,939	1,081	0,369	0,235
N.Casas Grandes, Chi.	20,2	6,503	3,949	2,198	1,471	0,816	0,277	0,177
Cerros Salsipuedes, B.C.	20,2	5,303	3,187	1,76	1,174	0,65	0,22	0,14
Zona 1								
Saltillo	20,2	9,304	6,891	4,08	2,764	1,84	0,931	0,483

Zacatecas	20,2	8,764	6,326	3,955	2,65	1,627	0,845	0,462
San L. Potosí	20,2	10,85	7,927	5,018	3,388	2,093	1,092	0,598
Aguascalientes	20,2	10,8	7,89	4,993	3,37	2,081	1,086	0,595
Culiacán	20,2	12,92	9,769	5,937	4,074	2,739	1,401	0,731
Durango	20,2	10,96	8,011	5,074	3,427	2,118	1,106	0,606
Cd. Victoria	20,2	15,48	11,63	7,584	5,213	3,27	1,729	0,953
Chihuahua	20,2	10,05	7,477	4,451	3,022	2,016	1,023	0,531
Monterrey	20,2	11,9	8,949	5,398	3,69	2,474	1,262	0,657
Cd. Juárez	20,2	7,199	4,398	2,459	1,649	0,917	0,312	0,199
Torreón	20,2	10,57	7,885	4,711	3,205	2,14	1,088	0,565
N. Laredo	20,2	12,9	9,752	5,926	4,066	2,733	1,398	0,729
Zona 2								
Tampico	20,2	16,08	12,12	7,939	5,47	3,439	1,822	1,005
Matamoros	20,2	16,45	12,43	8,157	5,629	3,543	1,879	1,038
Reynosa	20,2	16,4	12,38	8,125	5,606	3,528	1,871	1,033
Cd. Mante, Tamp.	20,2	15,96	12,03	7,868	5,419	3,405	1,803	0,995
Jalapa	20,2	14,9	11,79	7,871	5,63	3,554	1,708	0,931
Zona 3								
México DF	20,2	9,269	6,71	4,207	2,824	1,736	0,903	0,494
León	20,2	10,99	8,034	5,09	3,438	2,124	1,109	0,608
Pachuca	20,2	10,21	7,433	4,687	3,157	1,946	1,014	0,555
Tulancingo	20,2	9,692	7,034	4,422	2,973	1,83	0,953	0,521
Queretaro	20,2	10,88	7,948	5,032	3,397	2,099	1,096	0,6
Guanajuato	20,2	10,27	7,478	4,717	3,178	1,96	1,022	0,559
Oaxaca	20,2	11,57	8,486	5,396	3,652	2,261	1,183	0,648
Iguala	20,2	14,05	10,46	6,76	4,62	2,883	1,518	0,835
Chilpancingo	20,2	12,5	9,221	5,898	4,006	2,487	1,304	0,716
Cuernavaca	20,2	11,79	8,662	5,516	3,736	2,315	1,211	0,664
Morelia	20,2	10,47	7,636	4,823	3,251	2,006	1,046	0,573
Veracruz	20,2	19,3	15,59	10,71	7,801	5,012	2,45	1,346
Huehuetla, Guan.	20,2	14,96	11,2	7,277	4,991	3,125	1,65	0,909
Zona 4								
Guadalajara	20,2	9,161	6,78	4,011	2,715	1,807	0,914	0,474
Mazatlán	20,2	12,86	9,724	5,907	4,053	2,724	1,393	0,727
Pto. Vallarta	20,2	12,58	9,497	5,757	3,946	2,65	1,354	0,706
Tepic	20,2	10,78	8,049	4,815	3,278	2,191	1,114	0,579
Colima	20,2	11,53	8,65	5,204	3,552	2,379	1,212	0,631
Manzanillo	20,2	12,53	9,455	5,729	3,926	2,636	1,347	0,702
Pto. Ángel	20,2	12,3	9,268	5,607	3,839	2,576	1,315	0,686
Acapulco	20,2	19,96	16,15	11,16	7,673	4,925	2,405	1,214
Uruapan	20,2	11,48	8,416	5,348	3,619	2,24	1,171	0,642
Laz. Cárdenas	20,2	12,43	9,373	5,676	3,888	2,61	1,333	0,695
Zamora	20,2	9,007	6,66	3,935	2,663	1,771	0,896	0,465
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	20,2	18,57	14,92	10,21	6,977	4,453	2,162	1,088
Villa Hermosa	20,2	20,18	16,35	11,31	7,788	5,003	2,445	1,235

Tapachula	20,2	19,58	15,81	10,9	7,479	4,793	2,337	1,179
Coatzacoalcos	20,2	26,24	22,28	16,57	11,89	7,431	2,99	1,34
Huixtla, Chiapas	20,2	19,76	15,97	11,02	7,57	4,855	2,368	1,195
Jaltipan de Morelos, Veracruz	20,2	26,11	22,16	16,47	11,8	7,373	2,964	1,328
Zona 6								
Mérida	20,2	20,58	16,7	11,59	7,993	5,143	2,518	1,273
Cancún	20,2	20,74	16,85	11,7	8,08	5,203	2,549	1,289
Chetumal	20,2	20,42	16,56	11,48	7,91	5,087	2,488	1,257
Campeche	20,2	20,43	16,57	11,48	7,916	5,091	2,491	1,258
Zona 7								

Tabla b.42 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación España-Crane para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ka.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	27,5	17,035	10,866	6,331	4,351	2,498	0,895	0,583
Mexicali	27,5	16,981	10,829	6,308	4,335	2,489	0,892	0,581
Hermosillo	27,5	15,581	9,8677	5,719	3,92	2,246	0,803	0,523
La Paz, B.C.S.	27,5	15,406	9,7485	5,646	3,869	2,216	0,792	0,516
Pto. Escondido	27,5	14,288	8,9919	5,187	3,548	2,028	0,724	0,471
Ensenada	27,5	16,889	10,765	6,269	4,307	2,473	0,886	0,577
Santa Ana, B.C.	27,5	15,087	9,532	5,514	3,777	2,162	0,772	0,503
San José del Cabo	27,5	15,062	9,5151	5,504	3,77	2,158	0,771	0,502
N.Casas Grandes, Chi.	27,5	11,806	7,3414	4,197	2,86	1,629	0,579	0,377
Cerros Salsipuedes, B.C.	27,5	9,6257	5,924	3,361	2,283	1,296	0,46	0,299
Zona 1								
Saltillo	27,5	16,508	12,414	7,537	5,197	3,524	1,839	0,982
Zacatecas	27,5	15,343	11,256	7,195	4,91	3,081	1,647	0,924
San L. Potosí	27,5	18,993	14,103	9,129	6,277	3,963	2,129	1,197
Aguascalientes	27,5	18,909	14,037	9,083	6,244	3,942	2,118	1,191
Culiacán	27,5	22,923	17,598	10,97	7,662	5,246	2,766	1,485
Durango	27,5	19,181	14,252	9,231	6,35	4,01	2,156	1,212
Cd. Victoria	27,5	27,107	20,69	13,8	9,659	6,192	3,37	1,908
Chihuahua	27,5	17,836	13,469	8,221	5,684	3,861	2,019	1,079
Monterrey	27,5	21,123	16,122	9,972	6,941	4,738	2,491	1,335
Cd. Juárez	27,5	13,068	8,1759	4,695	3,206	1,829	0,652	0,424
Torreón	27,5	18,755	14,205	8,702	6,027	4,1	2,147	1,148
N. Laredo	27,5	22,886	17,567	10,95	7,647	5,236	2,76	1,482
Zona 2								
Tampico	27,5	28,159	21,571	14,44	10,14	6,513	3,551	2,013
Matamoros	27,5	28,797	22,108	14,84	10,43	6,711	3,663	2,077
Reynosa	27,5	28,706	22,031	14,78	10,39	6,682	3,647	2,068

Cd. Mante, Tamp.	27,5	27,949	21,394	14,31	10,04	6,448	3,515	1,991
Jalapa	27,5	25,778	20,654	14,09	10,24	6,607	3,282	1,838
Zona 3								
México DF	27,5	16,226	11,938	7,654	5,233	3,289	1,76	0,988
León	27,5	19,233	14,293	9,26	6,37	4,023	2,163	1,216
Pachuca	27,5	17,875	13,224	8,526	5,849	3,686	1,977	1,111
Tulancingo	27,5	16,968	12,515	8,044	5,508	3,466	1,857	1,043
Queretaro	27,5	19,039	14,14	9,154	6,295	3,975	2,136	1,201
Guanajuato	27,5	17,979	13,305	8,582	5,888	3,711	1,991	1,119
Oaxaca	27,5	20,248	15,099	9,817	6,768	4,282	2,305	1,298
Iguala	27,5	24,603	18,618	12,3	8,56	5,461	2,959	1,672
Chilpancingo	27,5	21,88	16,405	10,73	7,422	4,711	2,542	1,433
Cuernavaca	27,5	20,64	15,412	10,03	6,923	4,384	2,361	1,329
Morelia	27,5	18,336	13,585	8,774	6,024	3,799	2,04	1,146
Veracruz	27,5	33,382	27,32	19,17	14,19	9,318	4,708	2,658
Huehuetla, Guan.	27,5	26,184	19,922	13,24	9,248	5,918	3,216	1,819
Zona 4								
Guadalajara	27,5	16,255	12,214	7,408	5,106	3,461	1,805	0,964
Mazatlán	27,5	22,826	17,518	10,91	7,623	5,218	2,751	1,477
Pto. Vallarta	27,5	22,328	17,108	10,63	7,421	5,076	2,674	1,435
Tepec	27,5	19,121	14,499	8,895	6,166	4,196	2,199	1,176
Colima	27,5	20,461	15,582	9,612	6,681	4,557	2,392	1,282
Manzanillo	27,5	22,235	17,031	10,58	7,383	5,05	2,659	1,427
Pto. Ángel	27,5	21,825	16,695	10,36	7,219	4,934	2,597	1,393
Acapulco	27,5	34,42	28,22	19,91	13,96	9,155	4,621	2,405
Uruapan	27,5	20,09	14,973	9,73	6,705	4,242	2,283	1,285
Laz. Cárdenas	27,5	22,057	16,885	10,48	7,312	4,999	2,632	1,412
Zamora	27,5	15,982	11,998	7,269	5,008	3,393	1,769	0,944
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	27,5	32,021	26,077	18,22	12,69	8,277	4,155	2,156
Villa Hermosa	27,5	34,805	28,567	20,18	14,17	9,301	4,699	2,447
Tapachula	27,5	33,764	27,631	19,44	13,61	8,91	4,49	2,335
Coatzacoalcos	27,5	44,441	38,17	28,93	21,15	13,55	5,693	2,645
Huixtla, Chiapas	27,5	34,072	27,908	19,66	13,77	9,025	4,552	2,368
Jaltipan de Morelos, Veracruz	27,5	44,22	37,96	28,74	21	13,44	5,644	2,621
Zona 6								
Mérida	27,5	35,486	29,182	20,67	14,54	9,562	4,839	2,522
Cancún	27,5	35,773	29,442	20,88	14,7	9,673	4,899	2,554
Chetumal	27,5	35,212	28,935	20,47	14,39	9,456	4,782	2,492
Campeche	27,5	35,232	28,953	20,49	14,4	9,464	4,786	2,494
Zona 7								

Tabla b.43 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación España-Crane para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ka.

Resultados de la combinación España – ITU

Los márgenes de atenuación obtenidos con la combinación España – ITU , se muestran en las tablas b.44 y b.45.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad				
		99.99%	99.97%	99.9%	99.7%	99%
Tijuana	20,2	9,008	5,015	2,454	0,916	0,199
Mexicali	20,2	8,979	4,997	2,445	0,912	0,198
Hermosillo	20,2	8,232	4,546	2,212	0,823	0,178
La Paz, B.C.S.	20,2	8,139	4,49	2,183	0,812	0,176
Pto. Escondido	20,2	7,544	4,136	2,003	0,742	0,161
Ensenada	20,2	8,929	4,967	2,429	0,906	0,197
Santa Ana, B.C.	20,2	7,97	4,389	2,131	0,792	0,171
San José del Cabo	20,2	7,956	4,381	2,127	0,79	0,171
N.Casas Grandes, Chi.	20,2	6,226	3,367	1,616	0,595	0,128
Cerros Salsipuedes, B.C.	20,2	5,071	2,711	1,291	0,473	0,102
Zona 1						
Saltillo	20,2	14,91	9,999	5,632	2,764	0,931
Zacatecas	20,2	11,07	7,212	3,955	1,905	0,634
San L. Potosí	20,2	13,55	8,996	5,018	2,446	0,82
Aguascalientes	20,2	13,49	8,955	4,993	2,433	0,816
Culiacán	20,2	19,81	13,81	8,075	4,074	1,401
Durango	20,2	13,68	9,089	5,074	2,475	0,83
Cd. Victoria	20,2	18,88	13,06	7,584	3,805	1,303
Chihuahua	20,2	15,96	10,79	6,125	3,022	1,023
Monterrey	20,2	18,48	12,74	7,374	3,69	1,262
Cd. Juárez	20,2	17,54	12	6,896	3,433	1,169
Torreón	20,2	16,67	11,34	6,47	3,205	1,088
N. Laredo	20,2	19,79	13,78	8,06	4,066	1,398
Zona 2						
Tampico	20,2	19,56	13,6	7,939	3,999	1,374
Matamoros	20,2	19,96	13,93	8,157	4,119	1,418
Reynosa	20,2	19,91	13,88	8,125	4,102	1,411
Cd. Mante, Tamp.	20,2	19,42	13,49	7,868	3,96	1,359
Jalapa	20,2	14,9	9,996	5,63	2,763	0,931
Zona 3						
México DF	20,2	16,61	12	6,71	2,824	0,865
León	20,2	13,71	9,114	5,09	2,482	0,833
Pachuca	20,2	18,04	13,15	7,433	3,157	0,972
Tulancingo	20,2	17,26	12,52	7,034	2,973	0,913
Queretaro	20,2	19,02	13,95	7,948	3,397	1,05

Guanajuato	20,2	12,87	8,498	4,717	2,291	0,767
Oaxaca	20,2	20,02	14,78	8,486	3,652	1,133
Iguala	20,2	23,45	17,7	10,46	4,62	1,455
Chilpancingo	20,2	21,33	15,88	9,221	4,006	1,25
Cuernavaca	20,2	20,34	15,04	8,662	3,736	1,161
Morelia	20,2	18,43	13,47	7,636	3,251	1,002
Veracruz	20,2	25,79	19,76	11,93	5,371	1,712
Huehuetla, Guan.	20,2	24,64	18,74	11,2	4,991	1,581
Zona 4						
Guadalajara	20,2	20,4	15,09	8,696	3,753	1,166
Mazatlán	20,2	19,74	13,75	8,037	4,053	1,393
Pto. Vallarta	20,2	19,38	13,45	7,842	3,946	1,354
Tepic	20,2	16,96	11,55	6,608	3,278	1,114
Colima	20,2	24,28	18,42	10,97	4,877	1,542
Manzanillo	20,2	25,79	19,77	11,94	5,373	1,713
Pto. Ángel	20,2	25,45	19,46	11,72	5,257	1,673
Acapulco	20,2	25,51	19,51	11,75	5,277	1,68
Uruapan	20,2	19,89	14,67	8,416	3,619	1,122
Laz. Cárdenas	20,2	25,65	19,63	11,84	5,323	1,696
Zamora	20,2	20,13	14,87	8,548	3,682	1,143
Zona 5						
Tuxtla Gtrez.	20,2	23,96	18,14	10,77	4,775	1,508
Villa Hermosa	20,2	25,76	19,73	11,91	5,361	1,709
Tapachula	20,2	25,09	19,13	11,48	5,137	1,632
Coatzacoalcos	20,2	25,72	19,69	11,89	5,347	1,704
Huixtla, Chiapas	20,2	25,29	19,31	11,61	5,203	1,654
Jaltipan de Morelos, Veracruz	20,2	25,59	19,58	11,8	5,303	1,689
Zona 6						
Mérida	20,2	26,19	20,12	12,2	5,51	1,76
Cancún	20,2	26,37	20,29	12,32	5,573	1,782
Chetumal	20,2	26,02	19,96	12,08	5,45	1,739
Campeche	20,2	26,03	19,98	12,09	5,454	1,741
Zona 7						

Tabla b.44 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación España-ITU para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ka.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad				
		99.99%	99.97%	99.9%	99.7%	99%
Tijuana	27,5	16,386	9,392	4,751	1,853	0,43
Mexicali	27,5	16,334	9,359	4,733	1,846	0,428
Hermosillo	27,5	14,976	8,514	4,283	1,664	0,385
La Paz, B.C.S.	27,5	14,807	8,409	4,227	1,642	0,38

Pto. Escondido	27,5	13,724	7,747	3,878	1,502	0,347
Ensenada	27,5	16,244	9,302	4,703	1,834	0,425
Santa Ana, B.C.	27,5	14,498	8,22	4,127	1,602	0,371
San José del Cabo	27,5	14,474	8,205	4,119	1,599	0,37
N.Casas Grandes, Chi.	27,5	11,326	6,307	3,128	1,205	0,278
Cerros Salsipuedes, B.C.	27,5	9,2243	5,076	2,499	0,958	0,22
Zona 1						
Saltillo	27,5	25,784	17,68	10,25	5,197	1,839
Zacatecas	27,5	19,142	12,75	7,195	3,582	1,251
San L. Potosí	27,5	23,438	15,9	9,129	4,599	1,619
Aguascalientes	27,5	23,34	15,83	9,083	4,575	1,611
Culiacán	27,5	34,271	24,4	14,69	7,662	2,766
Durango	27,5	23,658	16,07	9,231	4,654	1,639
Cd. Victoria	27,5	32,665	23,09	13,8	7,156	2,572
Chihuahua	27,5	27,603	19,08	11,14	5,684	2,019
Monterrey	27,5	31,964	22,52	13,41	6,941	2,491
Cd. Juárez	27,5	30,335	21,22	12,54	6,455	2,307
Torreón	27,5	28,842	20,04	11,77	6,027	2,147
N. Laredo	27,5	34,223	24,37	14,66	7,647	2,76
Zona 2						
Tampico	27,5	33,829	24,04	14,44	7,521	2,712
Matamoros	27,5	34,532	24,62	14,84	7,747	2,799
Reynosa	27,5	34,432	24,54	14,78	7,715	2,786
Cd. Mante, Tamp.	27,5	33,598	23,85	14,31	7,447	2,684
Jalapa	27,5	25,778	17,67	10,24	5,195	1,838
Zona 3						
México DF	27,5	28,177	20,73	11,94	5,233	1,69
León	27,5	23,718	16,11	9,26	4,669	1,645
Pachuca	27,5	30,594	22,71	13,22	5,849	1,898
Tulancingo	27,5	29,273	21,62	12,51	5,508	1,782
Queretaro	27,5	32,258	24,1	14,14	6,295	2,05
Guanajuato	27,5	22,254	15,02	8,582	4,309	1,514
Oaxaca	27,5	33,952	25,52	15,1	6,768	2,213
Iguala	27,5	39,774	30,56	18,62	8,56	2,842
Chilpancingo	27,5	36,184	27,43	16,41	7,422	2,441
Cuernavaca	27,5	34,495	25,98	15,41	6,923	2,267
Morelia	27,5	31,256	23,26	13,59	6,024	1,958
Veracruz	27,5	43,733	34,12	21,23	9,951	3,344
Huehuetla, Guan.	27,5	41,786	32,36	19,92	9,248	3,089
Zona 4						
Guadalajara	27,5	34,598	26,07	15,47	6,953	2,277
Mazatlán	27,5	34,147	24,3	14,62	7,623	2,751
Pto. Vallarta	27,5	33,514	23,78	14,27	7,421	2,674
Tepic	27,5	29,33	20,42	12,02	6,166	2,199
Colima	27,5	41,18	31,82	19,52	9,036	3,013

Manzanillo	27,5	43,747	34,14	21,24	9,956	3,346
Pto. Ángel	27,5	43,164	33,61	20,84	9,741	3,267
Acapulco	27,5	43,265	33,7	20,91	9,778	3,281
Uruapan	27,5	33,733	25,34	14,97	6,705	2,192
Laz. Cárdenas	27,5	43,494	33,91	21,07	9,863	3,312
Zamora	27,5	34,143	25,68	15,21	6,822	2,232
Zona 5						
Tuxtla Gtrez.	27,5	40,629	31,32	19,17	8,848	2,945
Villa Hermosa	27,5	43,684	34,08	21,2	9,933	3,337
Tapachula	27,5	42,549	33,05	20,43	9,519	3,187
Coatzacoalcos	27,5	43,613	34,01	21,15	9,907	3,328
Huixtla, Chiapas	27,5	42,886	33,35	20,66	9,64	3,231
Jaltipan de Morelos, Veracruz	27,5	43,393	33,81	21	9,826	3,298
Zona 6						
Mérida	27,5	44,42	34,75	21,7	10,21	3,438
Cancún	27,5	44,73	35,04	21,92	10,33	3,481
Chetumal	27,5	44,125	34,48	21,5	10,1	3,397
Campeche	27,5	44,146	34,5	21,51	10,11	3,4
Zona 7						

Tabla b.45 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación España-ITU para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ka.

Resultados de la combinación Korea – Crane

Los márgenes de atenuación obtenidos con la combinación Korea – Crane , se muestran en las tablas b.46 y b.47.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	20,2	10,887	7,358	4,753	3,565	2,369	1,151	0,858
Mexicali	20,2	10,876	7,359	4,76	3,573	2,377	1,156	0,862
Hermosillo	20,2	9,5222	6,51	4,257	3,216	2,155	1,057	0,79
La Paz, B.C.S.	20,2	9,2496	6,378	4,209	3,195	2,153	1,063	0,796
Pto. Escondido	20,2	8,0214	5,606	3,748	2,865	1,946	0,969	0,727
Ensenada	20,2	10,737	7,269	4,705	3,532	2,351	1,144	0,853
Santa Ana, B.C.	20,2	8,9904	6,138	4,009	3,026	2,026	0,993	0,742
San José del Cabo	20,2	8,9049	6,152	4,067	3,09	2,085	1,031	0,772
N.Casas Grandes, Chi.	20,2	6,3397	4,331	2,83	2,137	1,431	0,702	0,524
Cerros Salsipuedes, B.C.	20,2	4,4144	3,049	2,015	1,531	1,033	0,51	0,382

Zona 1								
Saltillo	20,2	7,5932	6,008	4,065	3,076	2,318	1,464	0,95
Zacatecas	20,2	5,2664	4,119	2,924	2,203	1,575	1,015	0,682
San L. Potosí	20,2	7,5697	5,923	4,209	3,174	2,27	1,465	0,985
Aguascalientes	20,2	7,4841	5,857	4,163	3,14	2,246	1,449	0,975
Culiacán	20,2	13,108	10,37	7,01	5,303	3,995	2,522	1,636
Durango	20,2	7,8539	6,136	4,347	3,27	2,333	1,5	1,007
Cd. Victoria	20,2	14,565	11,39	8,074	6,078	4,34	2,794	1,876
Chihuahua	20,2	8,797	6,935	4,66	3,51	2,634	1,654	1,07
Monterrey	20,2	11,453	9,059	6,127	4,635	3,492	2,205	1,431
Cd. Juárez	20,2	7,4102	5,052	3,294	2,484	1,662	0,813	0,608
Torreón	20,2	9,3566	7,401	5,004	3,786	2,852	1,801	1,168
N. Laredo	20,2	13,255	10,47	7,057	5,327	4,006	2,523	1,634
Zona 2								
Tampico	20,2	15,552	12,17	8,644	6,518	4,662	3,007	2,022
Matamoros	20,2	16,5	12,88	9,103	6,835	4,866	3,122	2,093
Reynosa	20,2	16,419	12,81	9,056	6,798	4,838	3,104	2,08
Cd. Mante, Tamp.	20,2	15,369	12,02	8,535	6,433	4,598	2,964	1,992
Jalapa	20,2	10,559	8,69	6,327	4,925	3,541	2,14	1,43
Zona 3								
México DF	20,2	5,5001	4,311	3,073	2,324	1,667	1,079	0,727
León	20,2	7,6467	5,987	4,259	3,215	2,303	1,487	1,001
Pachuca	20,2	6,6255	5,191	3,697	2,794	2,003	1,295	0,872
Tulancingo	20,2	6,0268	4,722	3,363	2,542	1,822	1,178	0,793
Queretaro	20,2	7,4649	5,847	4,163	3,144	2,253	1,456	0,98
Guanajuato	20,2	6,775	5,305	3,775	2,85	2,041	1,318	0,887
Oaxaca	20,2	8,0279	6,3	4,5	3,409	2,45	1,589	1,072
Iguala	20,2	11,742	9,209	6,572	4,974	3,572	2,314	1,56
Chilpancingo	20,2	9,343	7,331	5,236	3,966	2,85	1,847	1,246
Cuernavaca	20,2	8,4906	6,657	4,748	3,592	2,578	1,669	1,125
Morelia	20,2	6,9047	5,411	3,855	2,914	2,09	1,352	0,911
Veracruz	20,2	17,826	14,67	10,68	8,318	5,981	3,616	2,417
Huehuetla, Guan.	20,2	13,398	10,49	7,471	5,644	4,044	2,614	1,76
Zona 4								
Guadalajara	20,2	7,086	5,627	3,833	2,914	2,205	1,4	0,912
Mazatlán	20,2	12,942	10,25	6,952	5,269	3,976	2,516	1,635
Pto. Vallarta	20,2	12,318	9,78	6,659	5,062	3,829	2,431	1,583
Tepic	20,2	9,4105	7,467	5,079	3,857	2,916	1,849	1,204
Colima	20,2	10,469	8,321	5,679	4,323	3,275	2,082	1,357
Manzanillo	20,2	12,15	9,659	6,592	5,018	3,802	2,417	1,576
Pto. Ángel	20,2	11,561	9,21	6,31	4,816	3,657	2,332	1,523
Acapulco	20,2	17,915	14,75	10,78	8,041	5,797	3,518	2,228
Uruapan	20,2	8,1191	6,364	4,536	3,429	2,46	1,592	1,072
Laz. Cárdenas	20,2	11,927	9,49	6,488	4,945	3,75	2,387	1,558
Zamora	20,2	6,8416	5,436	3,707	2,821	2,136	1,357	0,885

Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	20,2	15,023	12,37	9,044	6,744	4,863	2,951	1,87
Villa Hermosa	20,2	18,405	15,15	11,05	8,225	5,916	3,579	2,262
Tapachula	20,2	16,89	13,91	10,17	7,582	5,467	3,318	2,102
Coatzacoalcos	20,2	24,128	20,39	15,43	11,59	7,991	4,142	2,407
Huixtla, Chiapas	20,2	17,345	14,29	10,45	7,806	5,636	3,427	2,173
Jaltipan de Morelos, Veracruz	20,2	23,656	19,99	15,12	11,36	7,837	4,064	2,362
Zona 6								
Mérida	20,2	19,43	15,98	11,62	8,611	6,164	3,706	2,333
Cancún	20,2	19,715	16,21	11,77	8,707	6,22	3,729	2,344
Chetumal	20,2	18,822	15,48	11,28	8,369	6,002	3,618	2,281
Campeche	20,2	19,038	15,66	11,4	8,464	6,069	3,657	2,306
Zona 7								

Tabla b.46 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación Korea-Crane para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ka.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad						
		99.99%	99.98%	99.95%	99.9%	99.8%	99.5%	99.0%
Tijuana	27,5	19,763	13,679	9,076	6,931	4,727	2,407	1,83
Mexicali	27,5	19,744	13,681	9,09	6,946	4,743	2,418	1,839
Hermosillo	27,5	17,286	12,102	8,13	6,252	4,3	2,211	1,685
La Paz, B.C.S.	27,5	16,791	11,858	8,037	6,212	4,297	2,223	1,697
Pto. Escondido	27,5	14,561	10,421	7,157	5,571	3,883	2,027	1,55
Ensenada	27,5	19,491	13,514	8,984	6,868	4,691	2,392	1,819
Santa Ana, B.C.	27,5	16,32	11,412	7,656	5,883	4,043	2,077	1,582
San José del Cabo	27,5	16,165	11,437	7,766	6,009	4,161	2,156	1,646
N.Casas Grandes, Chi.	27,5	11,509	8,0511	5,404	4,154	2,856	1,467	1,118
Cerros Salsipuedes, B.C.	27,5	8,0135	5,6676	3,847	2,976	2,06	1,067	0,815
Zona 1								
Saltillo	27,5	13,473	10,822	7,508	5,785	4,44	2,89	1,93
Zacatecas	27,5	9,2198	7,3282	5,319	4,083	2,982	1,978	1,365
San L. Potosí	27,5	13,252	10,538	7,657	5,881	4,3	2,855	1,971
Aguascalientes	27,5	13,102	10,42	7,573	5,818	4,254	2,825	1,951
Culiacán	27,5	23,258	18,676	12,95	9,972	7,652	4,978	3,324
Durango	27,5	13,75	10,917	7,909	6,059	4,418	2,925	2,016
Cd. Victoria	27,5	25,499	20,256	14,69	11,26	8,219	5,446	3,756
Chihuahua	27,5	15,609	12,493	8,608	6,601	5,045	3,266	2,173
Monterrey	27,5	20,322	16,32	11,32	8,717	6,69	4,353	2,907
Cd. Juárez	27,5	13,452	9,3919	6,291	4,83	3,316	1,701	1,296
Torreón	27,5	16,602	13,332	9,244	7,12	5,463	3,554	2,374
N. Laredo	27,5	23,52	18,856	13,04	10,02	7,673	4,98	3,32

Zona 2								
Tampico	27,5	27,226	21,648	15,73	12,08	8,829	5,861	4,047
Matamoros	27,5	28,886	22,909	16,56	12,66	9,215	6,087	4,189
Reynosa	27,5	28,744	22,794	16,47	12,6	9,162	6,051	4,163
Cd. Mante, Tamp.	27,5	26,906	21,388	15,53	11,92	8,709	5,778	3,988
Jalapa	27,5	18,264	15,229	11,32	8,96	6,582	4,114	2,823
Zona 3								
México DF	27,5	9,6289	7,6701	5,59	4,306	3,157	2,103	1,455
León	27,5	13,387	10,652	7,749	5,958	4,361	2,899	2,003
Pachuca	27,5	11,599	9,2356	6,726	5,177	3,793	2,524	1,746
Tulancingo	27,5	10,551	8,4011	6,118	4,709	3,451	2,297	1,588
Queretaro	27,5	13,069	10,403	7,573	5,826	4,267	2,839	1,962
Guanajuato	27,5	11,861	9,4387	6,867	5,281	3,866	2,57	1,776
Oaxaca	27,5	14,054	11,208	8,186	6,316	4,641	3,097	2,145
Iguala	27,5	20,556	16,385	11,96	9,217	6,766	4,511	3,123
Chilpancingo	27,5	16,357	13,043	9,524	7,348	5,398	3,601	2,495
Cuernavaca	27,5	14,864	11,844	8,637	6,655	4,883	3,254	2,252
Morelia	27,5	12,088	9,6268	7,014	5,4	3,959	2,635	1,823
Veracruz	27,5	30,834	25,71	19,12	15,13	11,12	6,95	4,771
Huehuetla, Guan.	27,5	23,455	18,671	13,59	10,46	7,66	5,095	3,523
Zona 4								
Guadalajara	27,5	12,574	10,137	7,081	5,481	4,225	2,764	1,853
Mazatlán	27,5	22,964	18,468	12,84	9,909	7,616	4,966	3,321
Pto. Vallarta	27,5	21,858	17,618	12,3	9,519	7,335	4,798	3,215
Tepic	27,5	16,698	13,451	9,381	7,254	5,586	3,651	2,445
Colima	27,5	18,576	14,99	10,49	8,13	6,273	4,11	2,757
Manzanillo	27,5	21,56	17,399	12,18	9,437	7,282	4,772	3,201
Pto. Ángel	27,5	20,514	16,591	11,66	9,057	7,005	4,603	3,093
Acapulco	27,5	30,896	25,774	19,24	14,63	10,78	6,761	4,415
Uruapan	27,5	14,214	11,322	8,251	6,354	4,659	3,103	2,147
Laz. Cárdenas	27,5	21,163	17,096	11,99	9,3	7,183	4,713	3,164
Zamora	27,5	12,14	9,7931	6,848	5,305	4,092	2,68	1,797
Zona 5								
Tuxtla Gtrez.	27,5	25,909	21,615	16,14	12,27	9,04	5,672	3,704
Villa Hermosa	27,5	31,742	26,468	19,72	14,96	11	6,878	4,483
Tapachula	27,5	29,129	24,3	18,14	13,79	10,16	6,377	4,165
Coatzacoalcos	27,5	40,859	34,932	26,93	20,62	14,57	7,886	4,752
Huixtla, Chiapas	27,5	29,914	24,962	18,65	14,2	10,48	6,586	4,306
Jaltipan de Morelos, Veracruz	27,5	40,06	34,247	26,4	20,22	14,29	7,738	4,664
Zona 6								
Mérida	27,5	33,51	27,918	20,73	15,67	11,46	7,122	4,622
Cancún	27,5	34,001	28,317	21	15,84	11,56	7,168	4,644
Chetumal	27,5	32,461	27,053	20,12	15,23	11,16	6,952	4,52
Campeche	27,5	32,834	27,363	20,35	15,4	11,28	7,028	4,569
Zona 7								

Tabla b.47 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación Korea-Crane para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ka.

Resultados de la combinación Korea – ITU

Los márgenes de atenuación obtenidos con la combinación Korea – ITU , se muestran en las tablas b.48 y b.49.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad				
		99.99%	99.97%	99.9%	99.7%	99%
Tijuana	20,2	10,512	6,519	3,81	1,9132	0,698
Mexicali	20,2	10,502	6,522	3,818	1,92	0,701
Hermosillo	20,2	9,2031	5,788	3,431	1,7463	0,643
La Paz, B.C.S.	20,2	8,9466	5,686	3,406	1,7489	0,648
Pto. Escondido	20,2	7,7679	5,016	3,049	1,5857	0,593
Ensenada	20,2	10,368	6,443	3,774	1,8994	0,694
Santa Ana, B.C.	20,2	8,6882	5,455	3,229	1,6412	0,604
San José del Cabo	20,2	8,6146	5,487	3,293	1,6944	0,629
N.Casas Grandes, Chi.	20,2	6,1269	3,85	2,28	1,1595	0,427
Cerros Salsipuedes, B.C.	20,2	4,2703	2,719	1,631	0,839	0,311
Zona 1						
Saltillo	20,2	11,191	8,043	5,156	3,0759	1,464
Zacatecas	20,2	6,3097	4,543	2,924	1,7536	0,839
San L. Potosí	20,2	9,0676	6,531	4,209	2,5276	1,212
Aguascalientes	20,2	8,9646	6,458	4,163	2,5007	1,199
Culiacán	20,2	19,324	13,89	8,895	5,3026	2,522
Durango	20,2	9,4137	6,771	4,347	2,5991	1,24
Cd. Victoria	20,2	17,455	12,56	8,074	4,8339	2,31
Chihuahua	20,2	13,011	9,325	5,936	3,5101	1,654
Monterrey	20,2	16,882	12,13	7,774	4,6353	2,205
Cd. Juárez	20,2	15,833	11,32	7,16	4,1985	1,96
Torreón	20,2	13,794	9,912	6,35	3,7858	1,801
N. Laredo	20,2	19,572	14,05	8,971	5,3272	2,523
Zona 2						
Tampico	20,2	18,63	13,42	8,644	5,19	2,487
Matamoros	20,2	19,786	14,22	9,103	5,4246	2,579
Reynosa	20,2	19,689	14,14	9,056	5,3941	2,563
Cd. Mante, Tamp.	20,2	18,413	13,26	8,535	5,1202	2,451
Jalapa	20,2	10,559	7,617	4,925	2,9704	1,43
Zona 3						
México DF	20,2	8,7862	6,732	4,311	2,3237	1,049

León	20,2	9,1575	6,6	4,259	2,5626	1,231
Pachuca	20,2	10,584	8,111	5,191	2,7939	1,259
Tulancingo	20,2	9,6279	7,378	4,722	2,5415	1,145
Querétaro	20,2	11,926	9,139	5,847	3,1443	1,415
Guanajuato	20,2	8,1133	5,848	3,775	2,2715	1,091
Oaxaca	20,2	12,823	9,821	6,3	3,4089	1,545
Iguala	20,2	18,756	14,37	9,209	4,9744	2,25
Chilpancingo	20,2	14,924	11,43	7,331	3,9656	1,796
Cuernavaca	20,2	13,563	10,39	6,657	3,5918	1,623
Morelia	20,2	11,03	8,452	5,411	2,9144	1,314
Veracruz	20,2	23,788	18,23	11,67	6,289	2,837
Huehuetla, Guan.	20,2	21,404	16,4	10,49	5,6438	2,541
Zona 4						
Guadalajara	20,2	13,881	10,64	6,804	3,6562	1,645
Mazatlán	20,2	19,051	13,71	8,806	5,2689	2,516
Pto. Vallarta	20,2	18,092	13,04	8,414	5,0616	2,431
Tepic	20,2	13,83	9,962	6,421	3,8571	1,849
Colima	20,2	20,493	15,7	10,05	5,4177	2,444
Manzanillo	20,2	23,784	18,22	11,67	6,289	2,838
Pto. Ángel	20,2	22,593	17,3	11,11	6,023	2,735
Acapulco	20,2	22,895	17,53	11,25	6,0936	2,764
Uruapan	20,2	12,97	9,938	6,364	3,4294	1,547
Laz. Cárdenas	20,2	23,329	17,87	11,46	6,1913	2,802
Zamora	20,2	13,396	10,27	6,57	3,5367	1,594
Zona 5						
Tuxtla Gtrez.	20,2	19,2	14,7	9,436	5,1116	2,319
Villa Hermosa	20,2	23,511	18,01	11,54	6,2208	2,808
Tapachula	20,2	21,586	16,53	10,61	5,7468	2,607
Coatzacoalcos	20,2	23,613	18,09	11,59	6,2539	2,825
Huixtla, Chiapas	20,2	22,173	16,98	10,91	5,9235	2,694
Jaltipan de Morelos, Veracruz	20,2	23,151	17,74	11,36	6,1347	2,773
Zona 6						
Mérida	20,2	24,8	19,02	12,14	6,4862	2,901
Cancún	20,2	25,155	19,29	12,3	6,5474	2,917
Chetumal	20,2	24,032	18,42	11,77	6,3143	2,835
Campeche	20,2	24,307	18,63	11,91	6,3846	2,865
Zona 7						

Tabla b.48 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación Korea-ITU para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ka.

Ciudades	Frecuencia (GHz)	Disponibilidad				
		99.99%	99.97%	99.9%	99.7%	99%
Tijuana	27,5	19,123	12,208	7,376	3,87	1,508
Mexicali	27,5	19,106	12,215	7,391	3,884	1,516
Hermosillo	27,5	16,742	10,839	6,643	3,533	1,39
La Paz, B.C.S.	27,5	16,276	10,648	6,594	3,538	1,402
Pto. Escondido	27,5	14,131	9,3947	5,904	3,208	1,282
Ensenada	27,5	18,862	12,067	7,307	3,842	1,5
Santa Ana, B.C.	27,5	15,805	10,217	6,252	3,32	1,306
San José del Cabo	27,5	15,672	10,276	6,376	3,428	1,36
N.Casas Grandes, Chi.	27,5	11,146	7,2095	4,415	2,346	0,923
Cerros Salsipuedes, B.C.	27,5	7,7685	5,0919	3,158	1,697	0,673
Zona 1						
Saltillo	27,5	19,357	14,219	9,379	5,785	2,89
Zacatecas	27,5	10,914	8,0305	5,319	3,298	1,657
San L. Potosi	27,5	15,684	11,546	7,657	4,754	2,392
Aguascalientes	27,5	15,506	11,416	7,573	4,703	2,367
Culiacán	27,5	33,425	24,547	16,18	9,972	4,978
Durango	27,5	16,283	11,969	7,909	4,888	2,448
Cd. Victoria	27,5	30,192	22,203	14,69	9,091	4,56
Chihuahua	27,5	22,505	16,485	10,8	6,601	3,266
Monterrey	27,5	29,202	21,447	14,14	8,717	4,353
Cd. Juárez	27,5	27,387	20,011	13,03	7,896	3,869
Torreón	27,5	23,859	17,522	11,55	7,12	3,554
N. Laredo	27,5	33,854	24,831	16,32	10,02	4,98
Zona 2						
Tampico	27,5	32,224	23,719	15,73	9,761	4,91
Matamoros	27,5	34,223	25,13	16,56	10,2	5,09
Reynosa	27,5	34,057	25,004	16,47	10,14	5,06
Cd. Mante,Tamp.	27,5	31,849	23,436	15,53	9,629	4,839
Jalapa	27,5	18,264	13,464	8,96	5,586	2,823
Zona 3						
México DF	27,5	14,901	11,627	7,67	4,306	2,048
León	27,5	15,84	11,667	7,749	4,819	2,43
Pachuca	27,5	17,951	14,008	9,236	5,177	2,459
Tulancingo	27,5	16,329	12,742	8,401	4,709	2,237
Queretaro	27,5	20,226	15,785	10,4	5,826	2,765
Guanajuato	27,5	14,034	10,338	6,867	4,272	2,154
Oaxaca	27,5	21,747	16,962	11,21	6,316	3,017
Iguala	27,5	31,809	24,815	16,38	9,217	4,394
Chilpancingo	27,5	25,31	19,742	13,04	7,348	3,508
Cuernavaca	27,5	23,002	17,946	11,84	6,655	3,169
Morelia	27,5	18,707	14,597	9,627	5,4	2,567
Veracruz	27,5	40,343	31,479	20,76	11,65	5,542
Huehuetla, Guan.	27,5	36,301	28,33	18,67	10,46	4,963

Zona 4						
Guadalajara	27,5	23,542	18,375	12,11	6,775	3,212
Mazatlán	27,5	32,952	24,228	16,02	9,909	4,966
Pto. Vallarta	27,5	31,294	23,05	15,31	9,519	4,798
Tepic	27,5	23,922	17,611	11,68	7,254	3,651
Colima	27,5	34,755	27,119	17,89	10,04	4,774
Manzanillo	27,5	40,337	31,474	20,76	11,65	5,542
Pto. Ángel	27,5	38,318	29,881	19,76	11,16	5,342
Acapulco	27,5	38,83	30,284	20,02	11,29	5,397
Uruapan	27,5	21,997	17,164	11,32	6,354	3,022
Laz. Cárdenas	27,5	39,566	30,864	20,38	11,47	5,472
Zamora	27,5	22,72	17,73	11,69	6,553	3,113
Zona 5						
Tuxtla Gtrez.	27,5	32,563	25,396	16,79	9,471	4,529
Villa Hermosa	27,5	39,874	31,112	20,53	11,53	5,485
Tapachula	27,5	36,609	28,551	18,87	10,65	5,091
Coatzacoalcos	27,5	40,048	31,244	20,62	11,59	5,518
Huixtla, Chiapas	27,5	37,605	29,321	19,4	10,98	5,262
Jaltipan de Morelos, Veracruz	27,5	39,264	30,632	20,22	11,37	5,415
Zona 6						
Mérida	27,5	42,061	32,844	21,59	12,02	5,666
Cancún	27,5	42,662	33,324	21,88	12,13	5,696
Chetumal	27,5	40,757	31,816	20,95	11,7	5,536
Campeche	27,5	41,225	32,181	21,18	11,83	5,597
Zona 7						

Tabla b.49 Márgenes de atenuación por lluvia para las diferentes zonas de la República Mexicana obtenidos con la combinación Korea-ITU para la frecuencia ascendente un enlace satelital en la banda Ka.