

## COMPORTAMIENTO DE LA BANDA E COMO TRANSMISIÓN DE REDES 5G EN EL ORIENTE DE CUBA

Ing. Abdel Izaguirre Calvo<sup>1</sup>

DrC. Francisco Marante Rizo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Empresa de Telecomunicaciones de Cuba, ETECSA, Departamento de Inversiones, Calle 3ra #307 e/ 74 y 76, Miramar, Playa, La Habana, Cuba.

<sup>2</sup> Universidad Tecnológica de La Habana. “José Antonio Echevarría”, CUJAE, Ave 114 #11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao, La Habana, Cuba.

<sup>1</sup> [abdel.izaguirre@etecsa.cu](mailto:abdel.izaguirre@etecsa.cu)

<sup>2</sup> [marante@tele.cujae.edu.cu](mailto:marante@tele.cujae.edu.cu)

### RESUMEN

La lluvia es una causa importante del deterioro de las comunicaciones en los sistemas de radio enlaces. En el caso de la banda E como parte de la banda milimétrica, el efecto de la atenuación por causa de la lluvia en los enlaces de microondas en Cuba, hasta ahora ha sido poco estudiada. Por lo tanto, en este documento, se pretende predecir el comportamiento de dichos enlaces en las condiciones meteorológicas específicas de Cuba. Dicha predicción se basa en el cálculo de las atenuaciones a partir de la tasa de distribución de lluvia obtenida mediante los datos basados en diez años de medición de intensidad de lluvia, realizado por el Instituto de Meteorología (INSMET) de región oriental de Cuba. Las zonas están definidas por la tasa de precipitación para un minuto de tiempo de integración equivalente al 0.01% del tiempo. El modelo de la UIT-R PN.837-7 se aplica luego para estimar y analizar la atenuación de la lluvia en radio enlaces terrestres. La atenuación se predice para frecuencias de 80 GHz, para distancia entre uno y 5 kilómetros. Los resultados muestran los valores de la modelación en PATHLOSS en cada provincia del oriente del país, siendo una herramienta para el diseño y predicción de la operación de sistemas de microondas futuros.

**PALABRAS CLAVES:** Cuba; Promedio de lluvia; Modelo ITU-R; microonda; atenuación por lluvia.

## BEHAVIOR OF THE E BAND AS A TRANSMISSION OF 5G NETWORKS IN EASTERN CUBA

### ABSTRACT

Rain is an important cause of radio-communications deterioration. In the case of the millimeter band or E band, the effect of attenuation due to the rain on microwave links in Cuba has so far been little studied. Therefore, this document, it is intended to predict the behavior of these links in the specific meteorological conditions of Cuba. This prediction is based on the calculation of the attenuations from the rain distribution rate obtained by means of data based on ten years of measurement of rain intensity from the Institute of Meteorology (INSMET) of the eastern region of Cuba. The precipitation rate for one minute of integration time not exceeding 0.01% of the time, using the recommendation ITU-R PN.837-1 it is found that all the cities of the country comply with zone N. The ITU-R PN model 837-7 is then applied to estimate and analyze rain attenuation on terrestrial radio links. Attenuation is predicted for frequencies of 80 GHz, for distances between one and 5 kilometers. The results show the values of the modeling in PATHLOSS in each eastern province of the country, being a tool for the design and prediction of the operation of future microwave systems.

**INDEX TERMS:** Cuba; Average rainfall; ITU-R model; microwave; rain attenuation.

### 1 INTRODUCCIÓN

El tráfico de datos ha aumentado a un ritmo de más del 50% anual por suscriptor, y esta tendencia se espera que se acelere durante la próxima década con la uso continuo de video y el auge de Internet de las Cosas (IoT). Para abordar

esta demanda, mediante la red inalámbrica, la industria se está moviendo hacia su quinta generación (5G) de tecnología de radio. La misma utilizará frecuencias de ondas milimétricas (mmWave) para ofrecer un espectro sin precedentes y múltiples gigabits por segundo (Gbps) [1]. La propagación de microondas en la banda milimétrica a bajas latitudes es un tema de interés para las investigaciones en materia de telecomunicaciones. Debido a la alta precipitación, humedad y temperatura en dichas latitudes pueden ser graves los efectos de propagación en enlaces de radio. De todos los efectos atmosféricos sobre microondas y bandas de ondas milimétricas, la atenuación de la lluvia es uno de los más importantes.

El espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado en algunas regiones parcialmente agotado, para combatir esta escasez espectral se han investigado novedosas técnicas [5]. Estudios recientes sugieren que las frecuencias de onda milimétrica podrían utilizarse para aumentar las bandas actualmente saturadas del espectro radioeléctrico [6]. El uso de radio enlaces como fronthaul es ideal en aquellos escenarios en los que desplegar una solución física sea inviable, ya sea por coste o por la situación geográfica, y además donde la capacidad necesaria no sea tan exigente. Para estos enlaces se ha considerado el uso onda milimétrica por los requerimientos de capacidad [7].

Con el empleo del espectro de onda milimétrica se puede contemplar un futuro para los sistemas celulares en el que las tasas de datos móviles se incrementen al rango de varios gigabits por segundo. Las frecuencias portadoras de onda milimétrica permiten mayores asignaciones de ancho de banda. Esto se traducen directamente en velocidades de transferencia de datos más altas, mientras que la latencia para el tráfico digital disminuye considerablemente [8].

Cuando la señal viaja a través de un medio lluvioso, la intensidad de la señal se va debilitando debido a la absorción y dispersión las ondas debido a las gotas de lluvia. Además, las gotas de lluvia alteran la polarización de la señal transmitida que resulta en despolarización provocando baja señal e interferencias en el receptor. En la práctica, parámetros notables de la tasa de lluvia y el tamaño de la gota de lluvia se aplican para estimar sus efectos sobre los sistemas de comunicaciones inalámbricas, principalmente en las bandas más altas de frecuencias. El estudio de la propagación de ondas de radio en microondas y las bandas milimétricas son de gran interés para la Internacional Unión de Telecomunicaciones (UIT-R) y la International Union of Radio Science (URSI). La UIT-R, a través de sus recomendaciones P 530-17 [2] y P 618-11 [3], proporciona suposiciones básicas de diseño de enlace de línea de visión (LOS) basadas en métodos de predicción de propagación que no son adecuados para regiones tropicales. Por lo tanto, es imperativo que para estas regiones, obtener parámetros determinados experimentalmente para adecuar estos métodos de predicción de propagación.

La investigación de la atenuación por lluvia en la banda milimétrica en la zona oriental de Cuba basada en datos locales es una motivación para este trabajo. En este documento, las tasas de lluvia y el porcentaje de tiempo de superación se calcula en función de los datos obtenidos por el Instituto de Meteorología (ISTMET) de la República de Cuba. Con los datos obtenidos se realizó la conversión de lluvia a un minuto para cada una de la cabeceras provinciales de la zona oriental del país. Con los valores de conversión se calculó la atenuación de lluvia para sistemas de microondas terrestres. Este trabajo permitirá la predicción del comportamiento de los enlaces en banda E en esa zona del territorio nacional.

## 2. DISCUSIÓN

Con el uso de datos en el móvil se abre una gran gama de servicio como la navegación en internet, juego en línea, video streaming, IPTV, tienda virtual, entre muchos otros. Estos servicios van a demandar un gran ancho de banda [4].

La Banda E emerge como una tecnología madura de radio, pero las experiencias de explotación están en altas latitudes. El comportamiento de los enlaces a estas altas frecuencias han sido poco estudiado en nuestras latitudes. Nuestra zona geográfica se caracteriza por un régimen de lluvias alto, la lluvia tendrá una alta influencia en los rendimientos y calidad de servicio de estos enlaces. Se hace necesario estudiar el comportamiento del canal de radio de los sistemas de radio enlace en la banda E en las condiciones de propagación propia del ambiente meteorológico típico cubano.

Si los sistemas de microondas en las bandas milimétricas, tiene un desempeño adecuado en nuestro medio de propagación, puede ser una solución de transporte para las estaciones LTE Advance y 5G. Esto permitirá la transmisión de grandes anchos de banda y diseñar enlaces como redes de agregación.

El objetivo de este trabajo es predecir el comportamiento del canal de radio de la banda milimétrica como medio de transporte en las condiciones climatológicas cubanas. Esta investigación puede dar como beneficio la predicción de algunas características del canal de radio en la banda E. Estas características sirven de datos o referencia para el diseño e implementación de los sistemas de microonda en banda milimétrica en Cuba.

# COMPORTAMIENTO DE LA BANDA E COMO TRANSMISIÓN DE REDES 5G EN EL ORIENTE DE CUBA

Estudios recientes sugieren que las frecuencias de la bandas milimétricas podrían utilizarse para aumentar las bandas actualmente saturadas del espectro radioeléctrico. Las bandas tradicionales entre de 700 MHz a 2.6 GHz para las comunicaciones inalámbricas, además de saturadas, no satisfacen las demandas de los nuevos anchos de banda. La combinación de tecnología de semiconductor de óxido de metal complementario (CMOS) que ahora puede funcionar bien en las bandas de frecuencias onda milimétrica y antenas direccionales de alta ganancia, hacen rentable y refuerza la viabilidad de las comunicaciones inalámbricas de onda milimétrica [1].

Las frecuencias portadoras de onda milimétrica permiten mayores asignaciones de ancho de banda, que se traducen directamente en mayores velocidades de transferencia de datos. Como contrapartida, se encuentra el incremento de la pérdida en el espacio libre [9]. La utilización de las ondas milimétricas para las futuras redes de comunicación 5G facilitaría la integración de otras tecnologías que proporcionarían ganancias espectrales como por ejemplo el MIMO masivo o el *beamforming*. La reducción de las dimensiones de las antenas, permitirá un mayor numero de enlaces en los centros de comunicaciones [10].

El espectro de onda milimétrica permitirá a los proveedores de servicios ampliar significativamente los anchos de banda del canal mucho más allá de los actuales. Las frecuencias de onda milimétrica, debido a la longitud de onda mucho más pequeña, pueden aprovechar la polarización y nuevas técnicas de procesamiento espacial, como MIMO masiva y la modulación adaptativa.

Los arreglos adaptativos son esenciales para que las comunicaciones de onda milimétrica compensen la pérdida de trayectoria [11]. Estos sistemas se emplean generalmente como medios de transmisión de alta capacidad de punto a punto en las redes de telecomunicaciones [12].

En esta investigación se pretende simular el comportamiento de los enlaces de radio en banda milimétrica en la región oriental del país. Para ello se usará como simulador el software "Pathloss 5" [13]. Para ello es necesario previamente determinar los valores de la tasa de lluvia para un minuto, obtenidos a partir de los datos de mediciones del Instituto de Meteorología de Cuba. El valor de la tasa de lluvia excedido se obtiene a partir de las recomendaciones P 530-15 de UIT. Dicha recomendación parte de la tasa de lluvia promedio medida por métodos meteorológicos. La Fig. 1 muestra la tasa de distribución de lluvia de cada provincia. Donde se puede apreciar las dos épocas del año, una de seca de Noviembre a Abril y una húmeda de Mayo a Octubre.

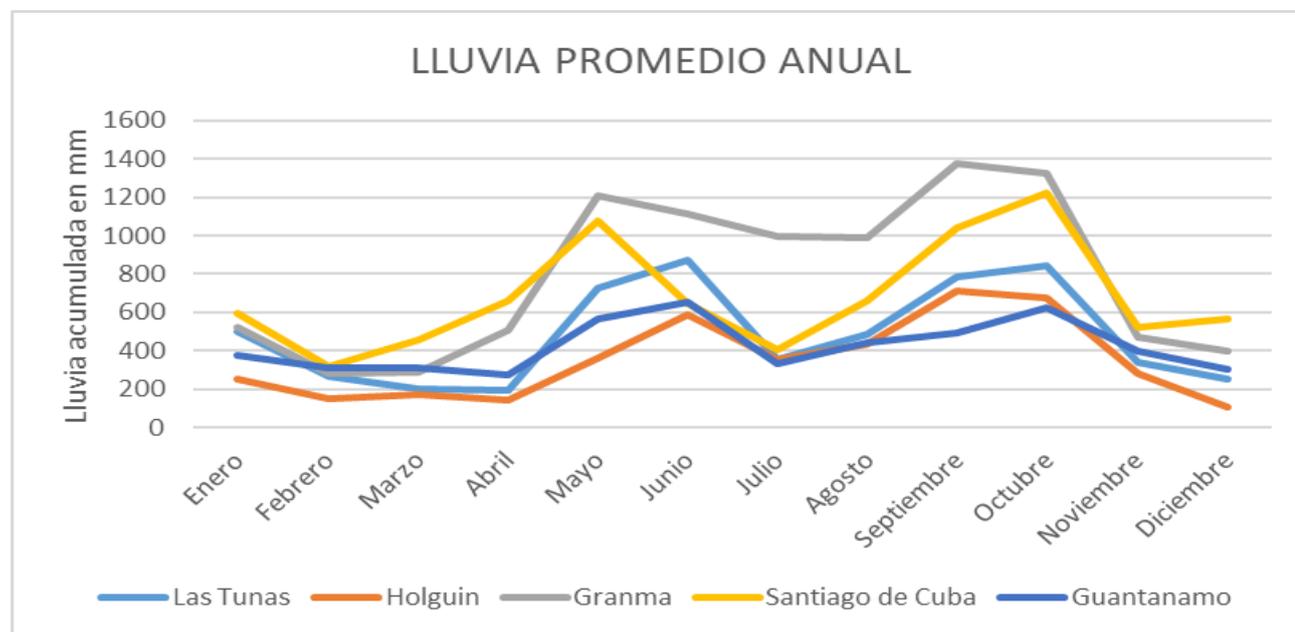


Figura 1: Tasa de distribución de lluvia de cada provincia.

La primera versión de la Recomendación UIT-R P.837 fue publicada el año 1994 y consiste en trazar isogramas que dividen la tierra en zonas climatológicas con características diferentes de intensidad de lluvia. El análisis estadístico para las provincias es realizado en función de la función de distribución acumulativa (CDF) por un período de diez años en los datos recopilados por el INSMET. De especial interés es el parámetro  $R_{0.01}$  o intensidad de lluvia que se excede el 0.01% de un año, a partir del cual es posible calcular la atenuación específica  $\gamma_{0.01}$  en radioenlaces terrestres

o satelitales. A partir de  $\gamma_{0,001}$ , es posible estimar la atenuación  $\gamma_p$  para cualquier porcentaje de tiempo p% y obtener distribuciones estadísticas de atenuación por lluvia.

Según la recomendación UIT-R PN.837-1 donde definen las zonas hidrometeorológicas, toda la ciudad del país cumple con la zona N. El fundamento de este modelo se basa en la necesidad de investigar el impacto de realizar predicciones mensuales de  $R_p$  (intensidad de lluvia global con un tiempo de integración 1-min) para el diseño de sistemas de radiocomunicaciones y tiene en cuenta 3 suposiciones [15]:

- Las estadísticas mensuales de  $R_p$ , condicionadas a la presencia de lluvia, siguen una ley de distribución del tipo log-normal.
- El parámetro de forma  $\sigma$  de la distribución log-normal es independiente del punto geográfico.
- La intensidad media de lluvia condicionada a la presencia de lluvia, (mm/h) depende únicamente de la temperatura media mensual medida a 2 m por encima del nivel de suelo. Esta altura es el estándar recomendado por la WMO (World Meteorological Organization) para medidas de temperatura de aire.

Este modelo de la UIT-R propone una división en zonas climatológicas. El método fue desarrollado en base a datos de registros pluviométricos a nivel mundial. Su exactitud está limitada por el número de estaciones que utilizó. Su ubicación – generalmente se encontraban en el hemisferio norte -, la cantidad de años de medida disponibles, y la homogeneidad en la resolución temporal utilizada en la adquisición de las medidas la hace en la práctica inútil para bajas latitudes.

La atenuación por lluvia de los enlaces de radio terrestre depende de diferentes factores como las tasas de lluvia, la polarización de señal transmitida, la frecuencia y la longitud del trayecto. Por lo tanto, la atenuación por lluvia en microondas será estudiada desde estas perspectivas. El primer paso en esta investigación es determinar la atenuación específica de la lluvia, es decir, la atenuación de lluvia por kilómetro en un medio lluvioso.

El cálculo preciso de  $\gamma_r$  (atenuación específica) se calcula de manera exacta mediante (1), y multiplicar por la distancia de lluvia, h, en kilómetros. Esta aproximación al cálculo de  $\gamma$  es posible a partir de la obtención de medidas experimentales de n(D) (Diámetro de la gota de lluvia), si bien esta tarea requiere de instrumentos de medición especializados, como disdrómetros laser. En Cuba se estima que el diámetro promedio de la gota es de 5 mm

La atenuación específica (dB / km) de la tasa de lluvia viene dada por (1)

$$\gamma_r = KR_{0,01}^\alpha \quad (1)$$

donde  $\gamma_r$  es atenuación específica, K y  $\alpha$  son coeficientes de regresión que se determinan en función de la frecuencia y se obtienen de (2) y (3), puede ser para polarización horizontal y vertical respectivamente.

$$\log_{10} k = \sum_{j=1}^4 \left\{ \alpha_j \exp \left[ - \left( \frac{\log_{10} f - b_j}{b_j} \right)^2 \right] \right\} + m_k \log_{10} f + c_k \quad (2)$$

$$\alpha = \sum_{j=1}^5 \left\{ \alpha_j \exp - \left( \frac{\log_{10} f - b_j}{c_j} \right)^2 \right\} + m_k \log_{10} f + c \quad (3)$$

Donde:

*f*: Frecuencia (GHz)

*k*: Puede ser  $k_h$  ó  $k_v$

*a*: Pued se  $\alpha_h$  ó  $\alpha_v$

Las constantes  $m_k$ ,  $\alpha_j$ ,  $c_k$  se han obtenido mediante el ajuste de curvas a los coeficientes de la ley potencial derivados de cálculos de dispersión. Dichas constantes están definidas para ambas polarizaciones.

# COMPORTAMIENTO DE LA BANDA E COMO TRANSMISIÓN DE REDES 5G EN EL ORIENTE DE CUBA

## 3. RESULTADOS

A partir de los datos del ISTMET obtenido por métodos meteorológicos mediante el método de acumulación en 24 horas, se procedió a aplicar las recomendaciones de la UIT para calcular la tasa de lluvia para un minuto. En la Tabla 2 se muestra una comparación entre los valores de referencias de la recomendaciones y los valores calculados a partir de la lluvia promedio anual en cada provincia. En la misma se puede observar que la tasa calculada es mayor que la de referencia es mayor con la excepción de Guantánamo que tiene un clima semidesértico.

Tabla 2: Valores de lluvia según la recomendación de la UIT-R.

Provincia	R ref (mm/h)	po (%)	R0.01 (mm/h)
Las Tunas	95	32.3	181.16
Holguín	95	33.62	141.52
Granma	95	30.05	187.26
Santiago de cuba	95	26.44	116.26
Guantánamo	95	25.42	64.78

Luego de obtener los valores de la tasa de lluvia para cada provincia y utilizando las metodologías de la recomendación de la UIT se calcularon los valores de atenuación específica. Aunque este trabajo se centra en la Banda E, en las frecuencia de 80 GHz, creímos conveniente reflejar los valores de las bandas tradicionales. La Tabla 3 refleja el valor en dB/km de la atenuación por lluvia.

Tabla 3: Atenuación específica (dB / km) derivada de la tasa de lluvia por provincia.

Provincia	Atenuación para diferentes polarizaciones (V o H) en dB/km							
	Banda 7 GHz (H)	Banda 7 GHz (V)	Banda 15 GHz (H)	Banda 15 GHz (V)	Banda 23 GHz (H)	Banda 23 GHz (V)	Banda 80 GHz (H)	Banda 80 GHz (V)
Las Tunas	4,23	3,04	15,41	11,40	26,04	19,19	47,31	44,91
Holguin	2,93	2,11	11,68	8,81	20,23	15,13	39,69	37,76
Granma	4,44	3,20	16,00	11,81	26,93	19,81	48,44	45,97
Santiago de Cuba	2,19	1,58	9,36	7,18	16,55	12,52	34,51	32,90

En la tabla se muestra la atenuación para la polarización horizontal es mayor que la polarización vertical. Esto se debe a que las gotas de lluvia tienen un efecto no esférico con forma aplanada en la base. Las ondas polarizadas horizontalmente se atenúan más que las polarizadas verticalmente.

A partir de la ecuación:

$$L_{bf}(dB) = 92.45 + 20 \log f (GHz) + 20 \log d (km) \quad (4)$$

Se puede obtener los valores de atenuación por espacio libre en este caso específico para la banda E (80 GHz). Los valores están reflejados en las Tabla 4 A y B junto con el promedio de la atenuación por lluvia de las provincias analizadas tanto en polarización vertical como horizontal.

Tabla 4 A: Valores de atenuaciones para polarización Vertical.

Atenuaciones	Distancia			
	0.5 Km	1 Km	5 Km	10 Km
Por espacio libre	124.48	130.50	144.48	150.50
Promedio por Lluvia (V)	17.92	35.83	179.15	358.30

Tabla 4 B: Valores de atenuaciones para polarización Horizontal.

Atenuaciones	Distancia			
	0.5 Km	1 Km	5 Km	10 Km
Por espacio libre	124.48	130.50	144.48	150.50
Promedio por Lluvia (H)	18.82	37.64	188.22	376.44

Como se puede observar la atenuación por lluvia va tomando importancia en la medida que aumenta la distancia. Lo cual puede afectar de manera importante la disponibilidad de los enlaces.

#### Modelo del canal de radio mediante PATHLOSS

La construcción e implementación de modelos de canales son cada vez más importantes para la comunicación inalámbrica. El diseño de sistemas y herramientas de diseño asistido por computadora como los simuladores de canal son esenciales para la evaluación del desempeño de sistemas de comunicaciones . Simular el despliegues de la red es importante antes de seguir adelante con las nuevas tecnologías.

Con los datos de calculados de la tasa de lluvia a un minuto y la atenuación específica, se procedió a modelar el comportamiento del canal en la banda milimétrica. Utilizando el software de modelado del canal de radio PATHLOSS se simularon enlaces en cada territorio con el valor de R0.01, obtenido del cálculo, y el recomendado por la UIT. En las Tablas 5 A y 5 B se muestran los valores del modelaje en las dos polarizaciones, al igual en las Figuras 2 A y 2 B se representan dichos valores.

Tabla 5 A: Valores de Disponibilidad para polarización Horizontal

Enlace	Tasa Calculada	Tasa ITU -R -837-5
Las Tunas - Sitio 1	99.984	99.996
Holguín - Sitio 1	99.989	99.996
Bayamo - Sitio 1	99.982	99.996
Santiago de Cuba - Sitio 1	99.983	99.997
Guantánamo- Sitio 1	99.998	99.997

# COMPORTAMIENTO DE LA BANDA E COMO TRANSMISIÓN DE REDES 5G EN EL ORIENTE DE CUBA

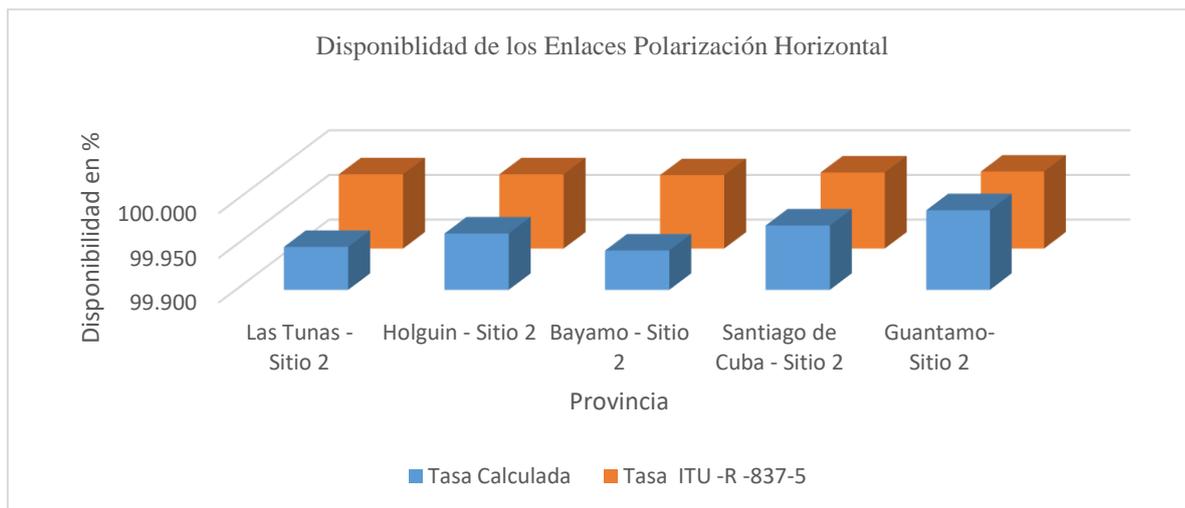


Figura 2 A: Relación entre la disponibilidad con R0.01 calculada y la recomendada para polarización horizontal.

Tabla 5 B: Valores de Disponibilidad para polarización Vertical.

Enlace	Tasa Calculada	Tasa ITU -R -837-5
Las Tunas - Sitio 1	99.986	99.997
Holguín - Sitio 1	99.991	99.997
Bayamo - Sitio 1	99.985	99.997
Santiago de Cuba - Sitio 1	99.994	99.997
Guantánamo- Sitio 1	99.998	99.998

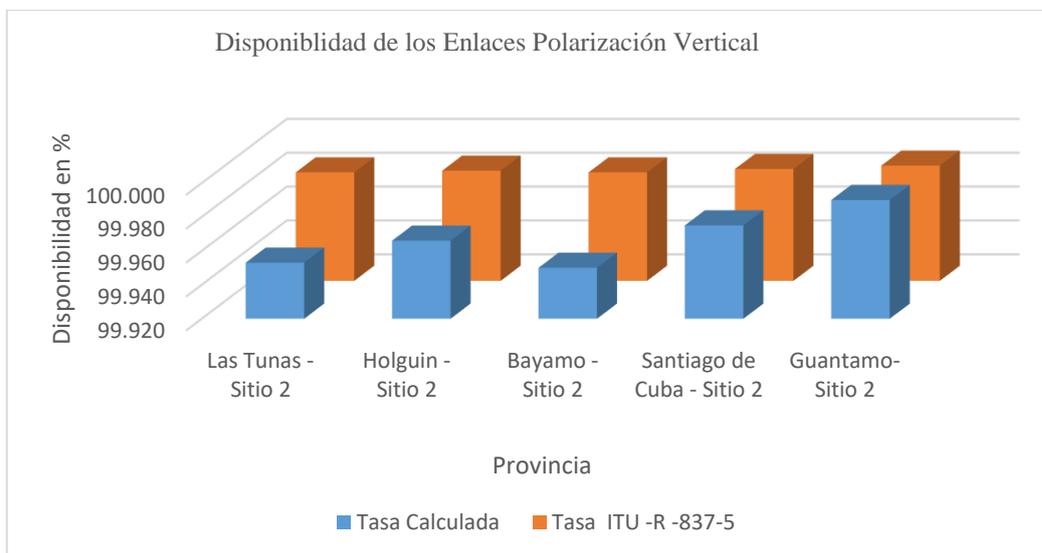


Figura 2 B: Relación entre la disponibilidad con R0.01 calculada y la recomendada para polarización Vertical.

## 4. CONCLUSIONES

En este estudio, a partir de los datos obtenidos por las mediciones realizadas por el INSTMET se ha podido determinar la distribución acumulada de lluvia por provincia y utilizando la recomendación de la UIT. Se determinó el valor de la integración de lluvia en un minuto R0.01, con ello se demuestra que la mayoría de las provincias tienen características de zona subtropical con la excepción de Guantánamo que es semidesértica. A partir del valor de integración de lluvia se determinó la disponibilidad de los enlaces obteniéndose que al simularse con las tasas de lluvia y las atenuaciones calculadas la disponibilidad de los mismos es menor. Excepto la provincia Guantánamo con su clima semidesértico cumple con los valores usando los datos de referencia de la recomendación de la UIT. En el resto de las provincias existe una diferencia de 99.99 contra 99.9, esto representa un tiempo de interrupción de 5.2 min/año a 52.5 min/año. La diferencia entre la disponibilidad calculada y la esperada significa una pérdida de la calidad del servicio la cual debe ser minimizada con otras funcionalidades disponibles en los equipos actuales. Esto puede ser de utilidad para el diseño de nuevos enlaces en el país, permitiendo diseños más óptimos y eficientes. En la actualidad para el cálculo y diseño de los enlaces de radio se tienen en cuenta las pérdidas que generan los elementos de la instalación tales como los cables coaxiales, conectores y protectores y las pérdidas por espacio libre. Al observar los valores de atenuación que provoca la lluvia se vuelve importante tenerla en cuenta a la hora del diseño para definir con mayor precisión el alcance, estabilidad y calidad de servicio.

## 5. RECONOCIMIENTOS

Es importante reconocer el aporte del Instituto de Meteorología de Cuba al aportar los datos climáticos. Sin dichos datos hubiera sido imposible realizar dicha investigación.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] S. Sun, G. R. MacCartney, y T. S. Rappaport, «A novel millimeter-wave channel simulator and applications for 5G wireless communications», en *2017 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Paris, France, may 2017, pp. 1-7. doi: 10.1109/ICC.2017.7996792.
- [2] «Recomendación UIT-R P.530-17 (12/2017) – Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa», *UIT*, p. 65, dic. 2017.
- [3] «R-REC-P.618-11-201309-S PDF-S.pdf».
- [4] A. Izaguirre, «Radios de banda milimétrica para acceso a la última milla y backhaul LTE», presentado en XVIII Simposio internacional de ingeniería eléctrica sie 2019 telecomunicaciones y electronica, jun. 2019. Consultado: jul. 04, 2021. [En línea].
- [5] M. Feyt Leyva, L. Bravo Álvarez, y S. Montejó Sánchez, «Estrategias de reutilización de frecuencias en redes heterogéneas», presentado en XVIII Simposio internacional de ingeniería eléctrica sie 2019 telecomunicaciones y electrónica, jun. 2019. Consultado: jul. 04, 2021. [En línea].
- [6] «Carrillo - 2018 - Diseño de un sistema de radio sobre fibra óptica p.pdf».
- [7] «2020andresrivera.pdf».
- [8] «Evaluación del desempeño de las comunicaciones D2D en redes inalámbricas de quinta generación». Consultado: jul. 09, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.cinvestav.mx/handle/cinvestav/2872>
- [9] «Cedeño y Armando - INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES.pdf».
- [10] «Barrado - TRABAJO FIN DE MÁSTER.pdf».
- [11] T. S. Rappaport, Y. Xing, G. R. MacCartney, A. F. Molisch, E. Mellios, y J. Zhang, «Overview of Millimeter Wave Communications for Fifth-Generation (5G) Wireless Networks—With a Focus on Propagation Models», *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 65, n.º 12, pp. 6213-6230, dic. 2017, doi: 10.1109/TAP.2017.2734243.
- [12] F. Rusek *et al.*, «Scaling up MIMO: Opportunities and Challenges with Very Large Arrays», *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 30, n.º 1, pp. 40-60, ene. 2013, doi: 10.1109/MSP.2011.2178495.
- [13] «Pathloss 5 - Where to begin - PathlossWiki.htm».
- [14] «R-REC-P.837-1-199408-S PDF-S.pdf».

# COMPORTAMIENTO DE LA BANDA E COMO TRANSMISIÓN DE REDES 5G EN EL ORIENTE DE CUBA

- [15] L. Luini, L. Emiliani, X. Boulanger, C. Riva, y N. Jeannin, «Rainfall Rate Prediction for Propagation Applications: Model Performance at Regional Level Over Ireland», *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 65, n.º 11, pp. 6185-6189, nov. 2017, doi: 10.1109/TAP.2017.2754448

## SOBRE LOS AUTORES

Abdel Izaguirre Calvo Título académico: Ingeniero, maestrante en Telemática, Empresa de Telecomunicaciones de Cuba, ETECSA, Áreas de interés: Telecomunicaciones ORCID: 0000-0001-7543-7862.

Francisco Marante Rizo Título académico: Doctor en Ciencias, Universidad Tecnológica de la Habana “José Antonio Echeverría”, CUJAE, Profesor Titular, Áreas de interés: Telecomunicaciones, ORCID 0000-0003-3277-1371

## CONFLICTO DE INTERESES

No existe conflicto de intereses entre los autores en relación al contenido del artículo aquí reflejado. Tampoco existe conflicto de intereses entre los autores y las instituciones a las que están afiliados, ni con ninguna otra institución.

## CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- **Abdel Izaguirre Calvo:** Conceptualización, preparación, creación y desarrollo del artículo, organización del artículo.
- **Francisco Marante Rizo:** Revisión crítica de cada una de las versiones del borrador del artículo y aprobación de la versión final a publicar.

Ambos autores contribuyeron con las ideas que se plasman en el artículo.

Esta revista provee acceso libre inmediato a su contenido bajo el principio de hacer disponible gratuitamente investigación al público. Los contenidos de la revista se distribuyen bajo una licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 Unported License. Se permite la copia y distribución de sus manuscritos por cualquier medio, siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores y no se haga uso comercial de las obras.

