

Analysis and implementation of a radiofrequency system to improve mobile phone coverage in the Cerrito de los Morreños community.

Michael Silva, Darwin De la Cruz, Aristoteles Amat, Maricela Freire
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Guayaquil, Ecuador
{mrsilva, dajode, caamat, marefrei}@espol.edu.ec

Abstract— Nowadays mobile telephony has become a fundamental aspect for the development of social and economic activities, however, there are still limitations to make access to it universal, especially in rural areas where the installation of infrastructure is less feasible and profitable due to the density of users since it does not represent a commercial benefit for mobile service provider companies. Among the areas that have no access to mobile telephony are the marginal communes of the Gulf of Guayaquil, one of them is the Cerrito de los Morreños commune, which is approximately an hour and a half away from Guayaquil by river. The commune is home to around 800 people and its main source of income is artisanal shrimp fishing and the catching of crab, however, this community is affected by serious deficiencies in essential services and communication due to the fact that cellular coverage is scarce, hindering any type of remote or virtual communication with nearby cities, being this a great disadvantage in the productive and social development of the community. Given this problem, this work aimed to improve the cellular coverage of the Cerrito de los Morreños community, therefore this document describes the analysis, sizing and testing process for the installation of a radiofrequency system that includes a GSM cellular signal repeater in said commune, it should be noted that this was carried out as part of the community service project of the Telecommunications Engineering Degree at Escuela Superior Politécnica del Litoral, in order to improve the technological and communication infrastructure in the commune for the development of its inhabitants and their daily activities. Initially, the target zone was evaluated determining that there is little mobile coverage in its inhabited area, however, when accessing the steep hill of the commune, it was possible to intermittently reach better levels of signal reception, therefore, a radioelectric study was carried out on-site and the modeling of the scenario using the Radio Mobile simulator. With the results obtained from the simulation, the required system was dimensioned, using a GSM signal repeater in the 850 MHz band. Finally, the repeater was installed in the place that presented the best coverage, resulting in the amplification of the cellular signal levels so the inhabitants were able to make cell phone calls and send text messages without exposing themselves to fall hazards when accessing the steep path of the hill. This is expected to have a positive impact on the social and economic development of the community.

Keywords- GSM, cellular repeater, mobile coverage, technological infrastructure.

LLWDCM~~H~~FVGH~~Q~~LIL~~E~~U
WWSGGRLR~~E~~
,% .6

Análisis e implementación de un sistema de radiofrecuencia para mejorar la cobertura de telefonía móvil en la comuna Cerrito de los Morreños.

Michael Silva, Darwin De la Cruz, Aristoteles Amat, Maricela Freire

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Guayaquil, Ecuador

{mrsilva, dajode, caamat, marefrei}@espol.edu.ec

Abstract— Nowadays mobile telephony has become a fundamental aspect for the development of social and economic activities, however, there are still limitations to make access to it universal, especially in rural areas where the installation of infrastructure is less feasible and profitable due to the density of users since it does not represent a commercial benefit for mobile service provider companies. Among the areas that have no access to mobile telephony are the marginal communes of the Gulf of Guayaquil, one of them is the Cerrito de los Morreños commune, which is approximately an hour and a half away from Guayaquil by river. The commune is home to around 800 people and its main source of income is artisanal shrimp fishing and the catching of crab, however, this community is affected by serious deficiencies in essential services and communication due to the fact that cellular coverage is scarce, hindering any type of remote or virtual communication with nearby cities, being this a great disadvantage in the productive and social development of the community. Given this problem, this work aimed to improve the cellular coverage of the Cerrito de los Morreños community, therefore this document describes the analysis, sizing and testing process for the installation of a radiofrequency system that includes a GSM cellular signal repeater in said commune, it should be noted that this was carried out as part of the community service project of the Telecommunications Engineering Degree at Escuela Superior Politécnica del Litoral, in order to improve the technological and communication infrastructure in the commune for the development of its inhabitants and their daily activities. Initially, the target zone was evaluated determining that there is little mobile coverage in its inhabited area, however, when accessing the steep hill of the commune, it was possible to intermittently reach better levels of signal reception, therefore, a radioelectric study was carried out on-site and the modeling of the scenario using the Radio Mobile simulator. With the results obtained from the simulation, the required system was dimensioned, using a GSM signal repeater in the 850 MHz band. Finally, the repeater was installed in the place that presented the best coverage, resulting in the amplification of the cellular signal levels so the inhabitants were able to make cell phone calls and send text messages without exposing themselves to fall hazards when accessing the steep path of the hill. This is expected to have a positive impact on the social and economic development of the community.

Keywords- GSM, cellular repeater, mobile coverage, technological infrastructure.

Resumen— Hoy en día la telefonía móvil se ha convertido en un aspecto fundamental para el desarrollo de actividades sociales y económicas, sin embargo, todavía existen limitantes para que el acceso a esta sea universal, especialmente en zonas rurales donde la instalación de infraestructura es poco factible y rentable para las empresas proveedoras de servicios móviles. Entre las zonas que no cuentan con acceso a la telefonía móvil están las comunas marginales del Golfo de Guayaquil, una de ellas es la comuna Cerrito de los Morreños que se encuentra a una hora y media aproximadamente de Guayaquil por vía fluvial. La comuna alberga alrededor de 800 personas y su principal fuente de ingresos es la pesca artesanal de camarones y capturas de cangrejos, sin embargo, esta comunidad se ve afectada de graves carencias de servicios básicos y de comunicación debido a que la cobertura celular es escasa dificultando cualquier tipo de comunicación remota o virtual con las ciudades cercanas, siendo una gran desventaja en el desarrollo productivo y social de la comunidad. Ante esta problemática, este trabajo tuvo como objetivo mejorar la cobertura celular de la comunidad Cerrito de los Morreños por lo tanto en este documento se describe el proceso de análisis, dimensionamiento y pruebas para la instalación de un sistema de radiofrecuencia que incluye una repetidora de señal celular GSM en dicha comuna, cabe recalcar que esto se llevó a cabo como parte del proyecto de servicio comunitario de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, con el fin de mejorar la infraestructura tecnológica y de comunicación en la comuna para el desarrollo de sus habitantes y sus actividades diarias. Inicialmente, se evaluó la zona objetivo determinando que es escasa la cobertura móvil en su área habitada, sin embargo, al acceder al cerro escarpado de la comuna, se lograba intermitentemente tener mejores niveles de recepción de señales, por lo cual se procedió a realizar un estudio radioeléctrico en el sitio y el modelamiento del escenario usando el simulador Radio Mobile. Con los resultados obtenidos de la simulación se logró dimensionar el sistema requerido, haciendo uso de un repetidor de señal GSM en la banda de 850 MHz. Finalmente se realizó la instalación de la repetidora en el lugar que presentó una mejor cobertura dando como resultado la amplificación de los niveles de señal celular con el fin de que los habitantes, puedan realizar llamadas celulares y envío de mensajes de texto a diferentes ciudades del país, sin exponerse a riesgos de caídas al acceder al camino escarpado del cerro. Con esto se espera tener un impacto positivo en el desarrollo social y económico de la comunidad.

Palabras Claves- GSM, repetidora celular, cobertura móvil, infraestructura tecnológica.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente el acceso a la conectividad móvil constituye una poderosa herramienta para facilitar y promover las actividades económicas, oportunidades laborales y el progreso educativo, logrando un desarrollo comunitario positivo a través del uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TICs) al permitir a las personas contactarse con otros y acceder a servicios digitales pese al distanciamiento geográfico que poseen.

La comunidad Cerrito de los Morreños está ubicada en el Golfo de Guayaquil, no posee acceso a servicios esenciales, entre ellos: alcantarillado, agua potable, luz eléctrica, red telefónica [1], entre otros. En la comunidad se instaló un sistema de energía eléctrica en algunas viviendas basado en celdas fotovoltaicas como parte de proyectos previos de desarrollo para la comunidad.

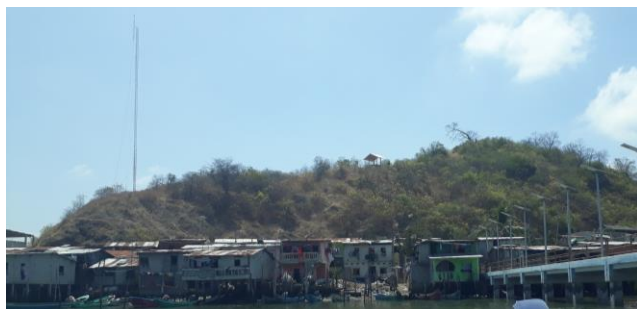


Fig. 1 Isla del Golfo de Guayaquil en la que está asentada la comuna Cerrito de los Morreños.

Este sector poblado se encuentra a decenas de kilómetros de las estaciones bases que brindan servicios de comunicación móvil, además, por la presencia de un cerro, como se muestra en la Fig. 1, la cobertura ha sido limitada, lo cual ha ocasionado que no puedan hacer uso de estos servicios. No obstante, ciertas personas de la comuna utilizan estos servicios de manera intermitente en la zona más elevada del cerro, siendo esto, no recomendable por los riesgos que implica acceder a ese lugar al ser terreno alto, notablemente escarpado y no contar con infraestructura de seguridad como barandales o escaleras, especialmente en tiempos de invierno que aumenta la probabilidad de lesiones y caídas que repercuten en graves accidentes. Por otra parte, la falta de comunicación ha sido una gran desventaja para el desarrollo social y económico de la comunidad, debido a los tiempos y costos que conllevan los largos viajes a ciudades cercanas para la realización de trámites y comercialización de sus productos con compradores de crustáceos. Por último, los lazos familiares no se han podido fortalecer por las limitantes de lejanas distancias y falta de medios de comunicación remota.

Ante esta situación, se planteó como un objetivo específico del proyecto de vinculación de ESPOL, el dimensionamiento e instalación de una repetidora de señal

celular con la finalidad de ampliar la cobertura móvil en la zona habitada de la comuna Cerrito de los Morreños, mediante la implementación de un sistema que retransmite y amplifica los niveles de señal móvil, estableciendo una comunicación favorable e inmediata con ciudades remotas, sin exponerse a riesgos al subir al cerro, y otorgándoles mayor comodidad para acceder a este servicio de suma importancia. Además, el enfoque del presente trabajo es fomentar el desarrollo comunitario y tecnológico en beneficio de una de las poblaciones que mayor vulnerabilidad social presenta ante la falta de servicios esenciales y de acceso continuo a las TICs.

Inicialmente para el desarrollo de este proyecto, se realizó un estudio y análisis del espectro radioeléctrico en sitio tomando mediciones con un analizador espectral para determinar los niveles de potencia de señal móvil recibidos, luego se efectuaron pruebas de llamadas con diferentes operadoras, como se muestra en Fig. 2. Cabe recalcar que el cerro cuenta con una torre autoportada para radiocomunicaciones de 25 m visible en Fig. 1 y Fig. 2.

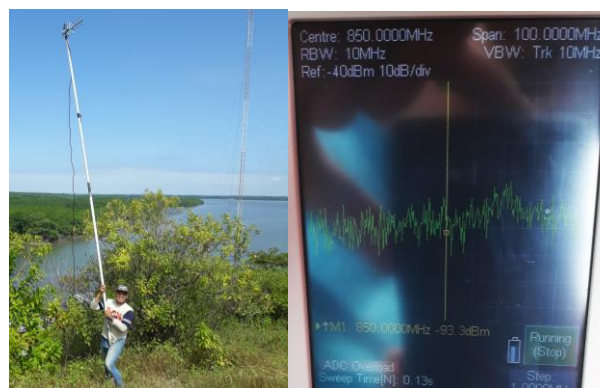


Fig. 2 Medición de los niveles de recepción de la señal celular.

Posteriormente al estudio, tomando en cuenta las condiciones geográficas y topográficas del sitio, así como los parámetros radioeléctricos de los dispositivos móviles y la localización de las estaciones bases objetivo, se procedió a simular el escenario usando Radio Mobile logrando dimensionar el sistema en base a los parámetros obtenidos, que fueron contrastados con cálculos de modelos de propagación apropiados, para finalmente implementar el sistema de amplificación de señal GSM obteniendo como resultado la mejora en la comunicación móvil.

En este proyecto participaron estudiantes de último semestre de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones, con el perfil de radiocomunicaciones que están facultados para realizar análisis, diseño, gestión y mantenimiento de redes de comunicaciones inalámbricas.

II. METODOLOGÍA

A. Descripción del sistema

En base a la información recolectada en sitio, se determinó que la solución a implementar sería el sistema que se muestra en la Fig. 3, donde consta una repetidora GSM, una antena direccional Yagi *outdoor* en la torre autoportada del cerro, misma que estaría orientada hacia Guayaquil. A la antena Yagi se le conectó un cable coaxial RG-6 fijado a un costado de la torre para descender hasta la vivienda más cercana al cerro, la casa de voluntarios del presidente de la comuna, ubicada a 70 mts. aproximadamente.

En la casa de voluntarios se instaló el repetidor RF alimentado por el sistema fotovoltaico de la casa. El repetidor se conecta a una antena omnidireccional *indoor* que cuenta con el mismo tipo de cable coaxial RG-6, está antena se ha colocado fuera de la vivienda apuntando hacia el terreno para brindar una mayor zona de cobertura.

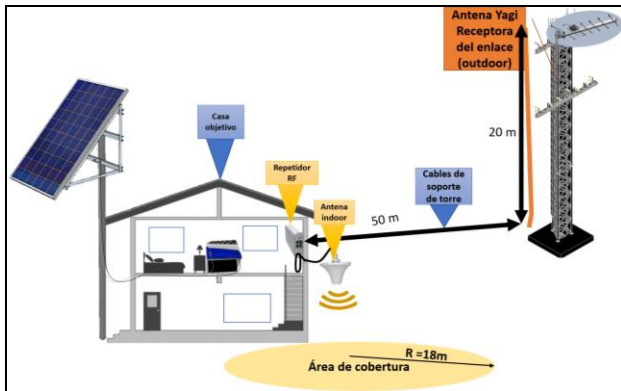


Fig. 3 Esquemático del sistema repetidor

La antena receptora se instaló sobre los 20 mts. de altura de la torre, apuntando hacia Guayaquil, específicamente hacia las coordenadas $-2.165756, -79.95736$, donde se ubica Cerro Azul, una de las más altas elevaciones que rodea a Guayaquil superando los 370 m de altura. En esta elevación se hallan varias estaciones base y de comunicación de proveedores de telefonía celular, por lo que se optó tomarla como objetivo del sistema repetidor para extender la cobertura de estas estaciones hasta la comuna ubicada en el interior del golfo.

Una empresa proveedora local de servicios de telecomunicaciones realizó la donación del equipo repetidor Andrew MR853/853D [2]. El equipo fue instalado en la casa de voluntarios y se configuró para que opere en la banda de 850 MHz en la porción del espectro asignada a la operadora OTECEL, como se indica en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros configurados en el repetidor Andrew MR853

| # de banda | Banda 1 | Banda 1 | Banda 2 | Banda 2 |
|--|-----------|----------|-----------|----------|
| Uso del canal | Uplink | Downlink | Uplink | Downlink |
| Rango de frecuencia de operación [MHz] | 846.5-849 | 835-845 | 891.5-894 | 880-890 |

B. Simulación del enlace usando el software Radio Mobile.

Usando el Software Radio Mobile se realizó la simulación del escenario para conocer lo siguiente:

- Factibilidad del enlace.
- Estimar el alcance de la trayectoria de propagación.
- Calcular las pérdidas de propagación aproximadas.

Para realizar la simulación, en el Software se colocan las coordenadas de los sitios y parámetros de las antenas transmisora (Cerro Azul) y receptora (Torre en Cerrito de los Morreños) como se muestra en las Fig. 4 y 5; como resultado se obtiene la potencia recibida considerando las pérdidas en el enlace y la sensibilidad de la antena receptora, con esto se logra determinar si el enlace es viable.

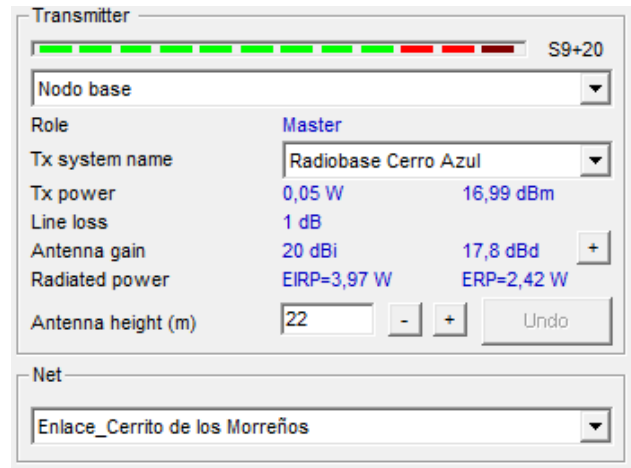


Fig. 4 Parámetros de transmisión seteados en Radio Mobile.

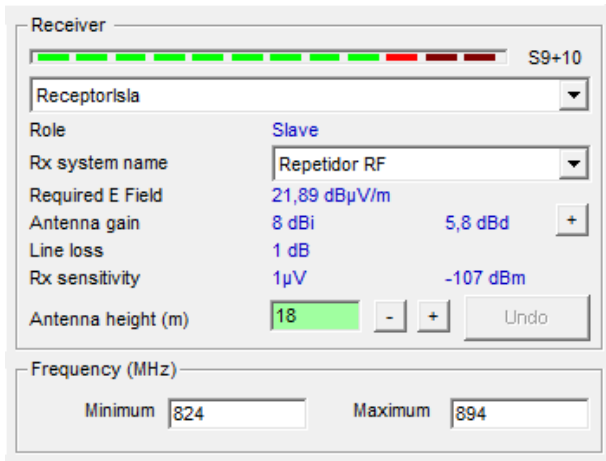


Fig. 5 Parámetros del receptor seteados en Radio Mobile.

En la Fig. 6 se muestra el perfil topográfico entre los dos sitios sobre los cuales se levantará el enlace. En la Fig. 7 se presenta el mapa que se obtiene del Software con las coordenadas seteadas.



Fig. 6 Perfil topográfico del enlace

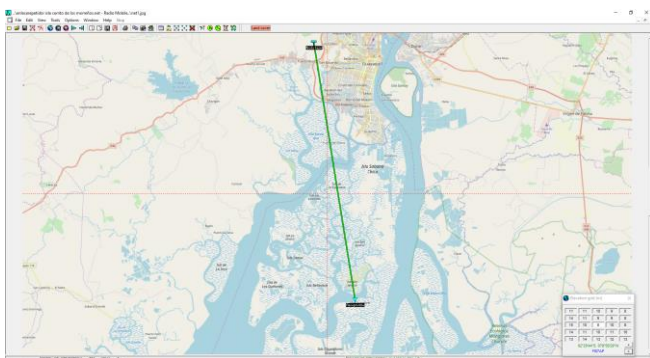


Fig. 7 Simulación del enlace en Radio Mobile

En la Fig. 8 se aprecian los resultados de la simulación realizada en Radio Mobile, primera zona de Fresnel libre de obstrucciones en su totalidad, una potencia recibida estimada de -81.6 dBm y una pérdida total de propagación aproximada de 124.5 dB para una distancia de 34,59 km. Dada la sensibilidad de la antena receptora (-107 dBm) se concluyó que es posible establecer un enlace de radiofrecuencia entre los dos sitios.

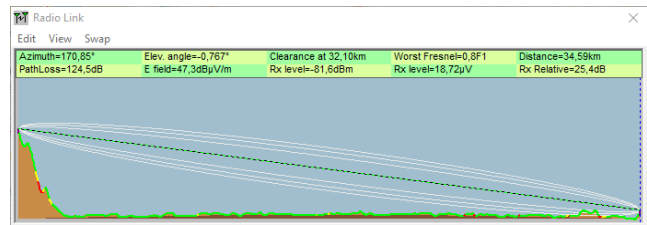


Fig. 8 Parámetros obtenidos de la simulación del presupuesto de enlace.

C. Modelo de propagación Okumura-Hata.

Para una aproximación más exacta tomando en cuenta los factores reales del ambiente, el alto índice de vegetación, la elevación del terreno y la extensa distancia que existe entre los puntos de análisis se considera utilizar un modelo de propagación que se adapte a las características mencionadas [3], con la finalidad de obtener valores reales considerando los factores ambientales mencionados y de esta manera obtener resultados mas precisos en el estudio radioeléctrico.

Se propone utilizar el modelo Okumura-Hata que se describe en (1) y (2), dado que sus parámetros se asemejan más a las de las condiciones reales del escenario.

$$PL [dB] = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log d \quad (1)$$

$$a(h_m) = 3.2 [\log(11.75 h_m)]^2 - 4.97 \quad (2)$$

donde:

- PL es la pérdida de propagación.
- h_b es la altura de la estación base en mts.
- h_m es la altura del móvil en mts.
- f es la frecuencia de operación en MHz.
- d es la distancia en km.
- $a(h_m)$ es el factor de corrección de la altura del móvil.

El modelo se empleó para aproximar las pérdidas de propagación usando los parámetros que se indican en la Tabla 2. Aplicando el modelo se obtiene una pérdida de propagación de 139.96 dB, lo cual muestra una diferencia de 15.46 dB en comparación con el resultado obtenido en el simulador.

Tabla 2. Datos del modelo Okumura-Hata

| Modelo Okumura Hata | |
|--|--------|
| Parámetros: | Valor |
| Frecuencia [MHz] | 850 |
| Altura Base [m] | 350 |
| Altura Móvil [m] | 25 |
| distancia [km] | 34.60 |
| Corrección de altura antena receptora [dB] | 14.52 |
| Perdidas en áreas urbanas [dB] | 139.96 |

III. RESULTADOS

Para validar el funcionamiento del sistema propuesto se realizó un análisis comparativo entre las pérdidas aproximadas a las que estaría sometido el radio enlace del sistema repetidor. Para esto se comparó las pérdidas de propagación obtenidas del escenario simulado con los valores de pérdidas calculados por el modelo Okumura-Hata, estos valores presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Comparación de pérdidas en espacio libre y modelo Okumura-Hata.

| Modelo de propagación empleado | Pérdidas de propagación [dB] |
|--|------------------------------|
| Modelo de espacio libre (Radio Mobile) | 124.50 |
| Modelo Okumura-Hata | 139.96 |

Con los resultados obtenidos, en sitio mediante mediciones tomadas con un analizador espectral en la banda de 850 MHz se logró estimar los valores de parámetros del presupuesto de enlace, la ecuación (3) se utilizó para estimar las pérdidas reales. Los valores calculados se presentan en la Tabla 4.

$$P_{Tx} - L_{Cable Tx} + G_{Tx} - L_P + G_{Rx} - L_{Cable Rx} = P_{Rx} \quad (3)$$

Tabla 4. Presupuesto del radio enlace del repetidor con la estación base.

| Parámetros del presupuesto de enlace | Valor | Unidad |
|---|--------|--------|
| Transmisor | | |
| Potencia transmitida | 13.01 | dB |
| Ganancia de antena transmisora de estación base celular [4] | 17.0 | dBi |
| Pérdidas en líneas de transmisión y conectores | 0.5 | dB |
| PIRE | 29.51 | dB |
| Receptor | | |
| Ganancia de la antena receptora | 8.0 | dBi |
| Pérdidas en líneas de transmisión y conectores | 0.6 | dB |
| Potencia recibida | -72.4 | dBm |
| Pérdida de propagación calculadas | 139.31 | dB |

Se aprecia que la pérdida estimada por el modelo Okumura-Hata (139.96 dB) se aproxima al valor real de pérdida de propagación (139.31 dB) obtenido al aplicar la ecuación (3) para la determinación del presupuesto de enlace.

Cabe recalcar que, aunque la pérdida de trayectoria hallada es casi exacta a lo previsto por el modelo Okumura-Hata, este modelo está definido para operar con mayor certeza en enlaces de hasta 20 km de longitud y con altura de la antena de estación base hasta 200 m.

La comparación entre los niveles de potencia captados antes y después de instalar el repetidor y realizar las pruebas de llamada con varios teléfonos móviles se puede apreciar en el cambio de patrón espectral en las Fig. 9 y Fig. 10.

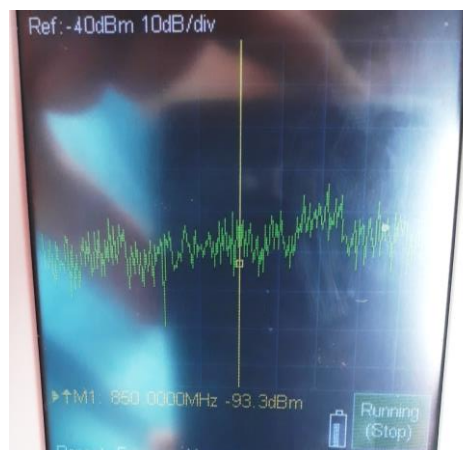


Fig. 9 Patrón espectral de la banda de 850 MHz previo a la implementación del sistema repetidor.

Podemos observar en Fig. 9 una alta variabilidad en los niveles de potencia de señal recibida en la banda de 850 MHz, con un valor medio de potencia cercano a los -93 dBm.

La variabilidad se asocia a mecanismos de propagación como el *fading* y las interferencias causadas por la propagación multitrayectorias [5]. Pese a que los niveles de potencia no son muy bajos para impedir la realización de llamadas, la difracción causada por el cerro ubicado en la isla de la comuna imposibilita el levantamiento de canales a través de portadoras espectrales en la banda analizada.



Fig. 10 Patrón espectral de la banda de 850 MHz posterior a la implementación del sistema repetidor.

En la Fig. 10 se observa que se levantan múltiples portadoras y presentan un incremento aproximado de 20 dB, lo que permite establecer el enlace y realizar llamadas a los

usuarios en el área de cobertura de la antena *indoor* del repetidor.

Luego de realizar varias pruebas de llamada para determinar experimentalmente el área de cobertura que proporciona la antena *Indoor* Fig.11, se llegó a la conclusión que debido a las características físicas de los componentes que la conforman, esta antena no puede proporcionar cobertura más allá de un radio de 18 mts. aproximadamente.



Fig. 11 Pruebas de llamada e instalación final del dispositivo repetidor.

Dado que el área de cobertura del sistema solo opera hasta los 18 mts, no es el resultado que se esperaba, lo ideal era que toda la comunidad tenga niveles de señales alto para de esta manera puedan realizar comunicación por llamadas a otras localidades. Sin embargo, se considera también un excelente resultado debido a que los usuarios pueden realizar llamadas dentro de un área de la localidad y ya no tienen la necesidad de subir al cerro de la isla para poder establecer una llamada.

IV. CONCLUSIONES

Aplicando el modelo de propagación Okumura-Hata fue posible dimensionar con bastante exactitud las pérdidas de propagación del radioenlace del repetidor, pese a que las condiciones del enlace exceden el rango de distancia en el que el modelo está definido para operar con mayor fiabilidad.

Se logró amplificar de manera exitosa el nivel de señal celular captada en la isla del Golfo donde se ubica la comuna Cerritos de los Morreños usando el sistema repetidor Andrew MR853 en la banda de 850 MHz configurado en la banda de la operadora Otecel S.A. (Movistar). Fue posible a través de esta implementación dar a la comunidad local acceso a cobertura móvil reduciendo el riesgo de accidentes producto de acceder a zonas altas de la isla para captar buenos niveles de señal celular, también con esto se pretende que los habitantes puedan desarrollarse tecnológicamente.

La antena indoor colocada mantiene una calidad de llamada aceptable dentro de un radio de cobertura de 18 mts,

fuera de esta área de cobertura los usuarios no pueden realizar llamadas.

V. AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo recibido por parte de la Unidad de Vinculación con la Sociedad de ESPOL al Programa del Golfo de Guayaquil dirigido por la Economista Mariela Pérez, además a personal de la operadora Movistar, así como al Laboratorio de Radiofrecuencia de la carrera de Telecomunicaciones junto con el profesor Eduardo Chancay y estudiantes por su disposición para el préstamo de equipos y acompañamiento a Cerrito de los Morreños.

REFERENCIAS

- [1] Juan Peralta, Emérita Delgado, Aleyda Quintero, Winter Burgos, Peter Charco y Edison Vallejo, “Levantamiento de las condiciones de Habilidad dentro del contexto de Ecoaldeas de la comuna de la Isla Bellavista del Golfo de Guayaquil”, 17th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology, 24-26 July 2019, Jamaica.
- [2] Andrew Wireless Systems GmbH, “User's Guide for MR803D, MR853D, MR903D and MR1903D miniRepeaters”, Buchdorf, 2006.
- [3] Abhayawardhana, V.S. & Wassell, I.J. & Crosby, D. & Sellars, Malcolm & Brown, M.G.. (2005), “Comparison of empirical propagation path loss models for fixed wireless access systems”, Proceedings of the IEEE 61st Vehicular Technology Conference. 1. 73 - 77 Vol. 1.
- [4] Huawei Technologies Co., Ltd., DXX-790-960/1710-2180-65/65-17.5i/18.5i-M/M Model: ADU451807v06, Shenzhen, 2018.
- [5] Jambuwant Shrawankar, K.D. Kulat, “A study of influence of fast fading on the performance of mobile communication system”, 2015 International Conference on Microwave, Optical and Communication Engineering (ICMOCE).