

Análisis y diseño de una red de comunicación para transmitir información de alerta temprana. Caso de estudio: Proyecto de control de inundaciones Bulubulu-Cañar-Naranjal

Jaime Veintimilla-Reyes^{a,b}, Eduardo Tacuri Espinoza^{d,b}, José Pino^c, Felipe Cisneros^{b,c}

^a Departamento de Ciencias de la Computación, Universidad de Cuenca, Av. 12 de Abril, Cuenca, Ecuador
jaime.veintimilla@ucuenca.edu.ec

^b Programa para el manejo del agua y el suelo (PROMAS), Universidad de Cuenca, Av. 12 de Abril, Cuenca, Ecuador

^c Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Cuenca, Av. 12 de Abril, Cuenca, Ecuador
felipe.cisneros@ucuenca.edu.ec

^d Departamento Facultad de Ciencias Agropecuarias, Carrera de Ingeniería Agronómica, Universidad de Cuenca de Ingeniería Civil, Universidad de Cuenca, Av. 12 de Abril, Cuenca, Ecuador
eduardo.tacuri@ucuenca.edu.ec

^e ACSAM Consultores Cia Ltda., Cuenca, Ecuador
josenapopino@hotmail.com

Resumen. El presente artículo presenta una solución de comunicación para la transmisión de la información capturada por sensores remotos instalados, configurados y que forman parte de un sistema de alerta temprana para prevenir inundaciones. El caso de estudio particular se centra en la zona del proyecto Bulubulu-Cañar financiado por la SENAGUA¹ y que fue desarrollado conjuntamente entre el PROMAS² y la consultora ACSAM³. El problema principal a solucionar es que en el área en que se instalarán las estaciones de retransmisión de la información generada por las estaciones existen muchas elevaciones que impiden la línea de vista directa entre las torres. Para solucionar esto, se plantea la ubicación de varias torres en puntos determinados y con una altura determinada para que sean capaces de asegurar que la información llegue a tiempo al centro de control y con esto tomar las acciones adecuadas con el fin de prevenir una posible inundación.

Para el análisis y determinación de los lugares óptimos se han utilizado herramientas informáticas para la gestión de sistemas de información geográficos (SIG) y además herramientas para poder verificar la línea de vista de los transmisores y la frecuencia a utilizar para lograr la transmisión correcta. Cabe indicar además que la transmisión se realizará mediante radio módems.

Palabras Clave: Antenas, Comunicaciones, Modem, Scada, Frecuencia.

¹ Secretaría del Agua del Ecuador.

² Programa para el Manejo del Agua y el Suelo.

³ ACSAM Consultores Cía. Ltda.

1 Introducción

Teniendo como marco el desarrollo del sistema Scada[1] para la alerta temprana de inundaciones del río Bulubulu y Cañar de una manera automática, surgió la necesidad de establecer la comunicación entre las diferentes estaciones que realizan las mediciones de los niveles de agua presentes en los afluentes, la información que sea generada será transmitida hacia la estación de control, la cual alimentará al sistema antes mencionado y permitirá tomar las acciones correspondientes para evitar que se produzcan daños considerables a causa de cualquier fenómeno extremo que pudiera presentarse.

La comunicación entre las estaciones de medición y control se realizara mediante radio módems [2] los cuales deberán estar alineados [3], [4] y en línea de vista directa para asegurar el envío y recepción de información de dichas estaciones.

2 Materiales y Métodos

2.1 Ubicación actual de las estaciones a transmitir información

El conjunto de estaciones de las cuales se requiere transmitir información se encuentran ubicadas dentro de un radio de aproximadamente de 70 kms (Fig. 1), si bien no se dispone de una línea de vista directa de todas las estaciones, pero el objetivo del presente trabajo es establecer alternativas de ubicación de las antenas repetidoras para que se puede mantener un enlace seguro en la zona.

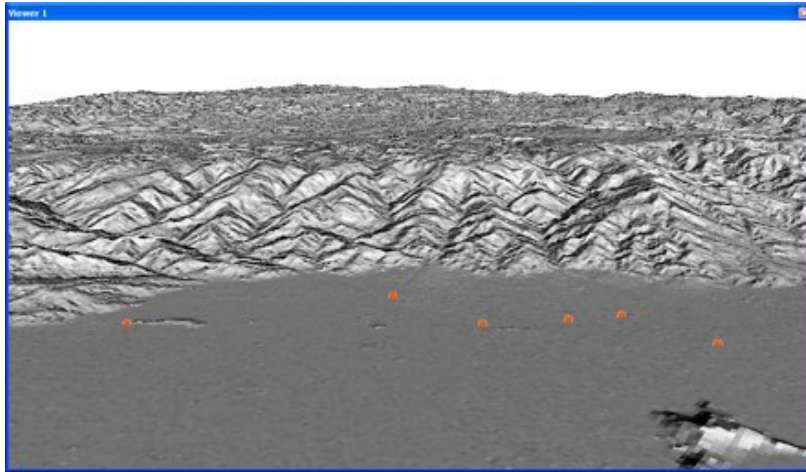


Fig. 1. Cuadro en 3D de la ubicación de las estaciones de control y medición

2.2. Parámetros técnicos de operación

2.2.1. Radio Modems

Frecuencia: Actualmente existen en el mercado algunos dispositivos para comunicaciones, pero los más frecuentes y los que mejores opciones presentan al momento de realizar la comunicación. Dichos equipos trabajan desde los 900 MHz hasta los 2.4 GHz.

Para el presente trabajo se plantea la utilización de un equipo que trabaja en la frecuencia de 900 MHz, ya que se podría alcanzar un radio máximo de hasta 40 km de alcance [2]. La frecuencia será asignada por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones.

2.2.2. Altitud de transmisores

Para la ubicación de los transmisores se plantea ubicar el centro de control a una distancia de 15 metros sobre el suelo, este cálculo se lo ha hecho en base al conocimiento de que existen construcciones en los centros poblados de hasta 4 niveles o pisos [5]. Para las estaciones de medición o control se plantea ubicar el transmisor a una distancia de 12 metros sobre el suelo.

2.2.3. Línea de Vista

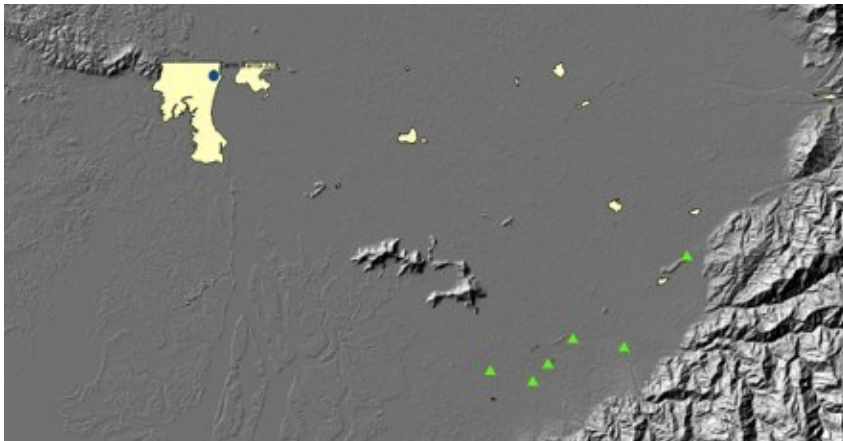


Fig. 2 Distancia y línea de vista de las estaciones de control y medición.

Como parámetros iniciales para este estudio, se establece que el centro de control se ubicará en la ciudad de Guayaquil, más precisamente en el Cerro Santa Ana, esto, por ser una de las elevaciones más considerables en la mencionada ciudad. La ubicación tentativa tendría las siguientes coordenadas: (62413, 9758958) en latitud y longitud. Se ha calculado la línea de vista entre las estaciones de control y medición extremas

con el objetivo de determinar si es que no existen objetos que puedan interferir en dicha línea (Fig. 2).

Se puede observar en la Fig. 3 que existen varios obstáculos en la visibilidad de la estación final, en este caso necesariamente se deben analizar nuevas alternativas de solución, ya que la comunicación directa no es posible.

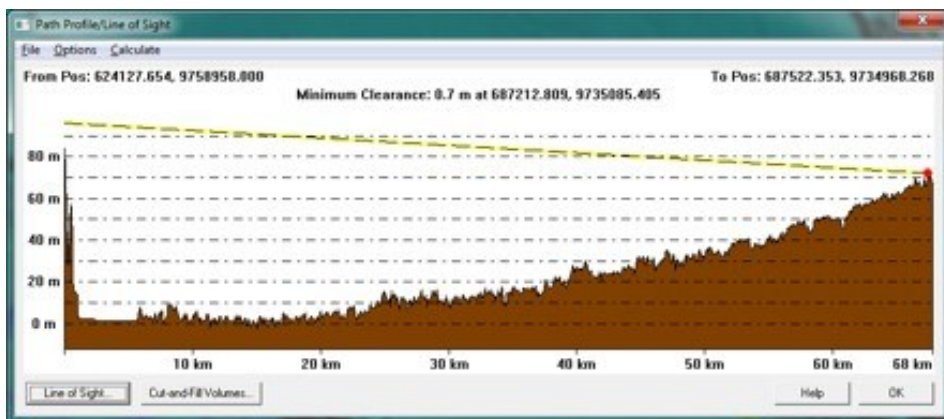


Fig. 3 Vista en detalle de la línea de visibilidad del centro de control y la Derivadora Las Maravillas.

En la Fig. 4, se puede ver claramente lo expuesto anteriormente, existe una distancia de alrededor de 68 km entre el centro de control y la estación más lejana (Derivadora Las maravillas), si bien no se presentan objetos que limiten la línea de vista, se puede notar claramente que la distancia de máximo 40 km con que se puede operar de una manera óptima es excedida, por lo que se puede ver claramente que es necesaria la inclusión de una estación repetidora con el fin de asegurar el enlace.

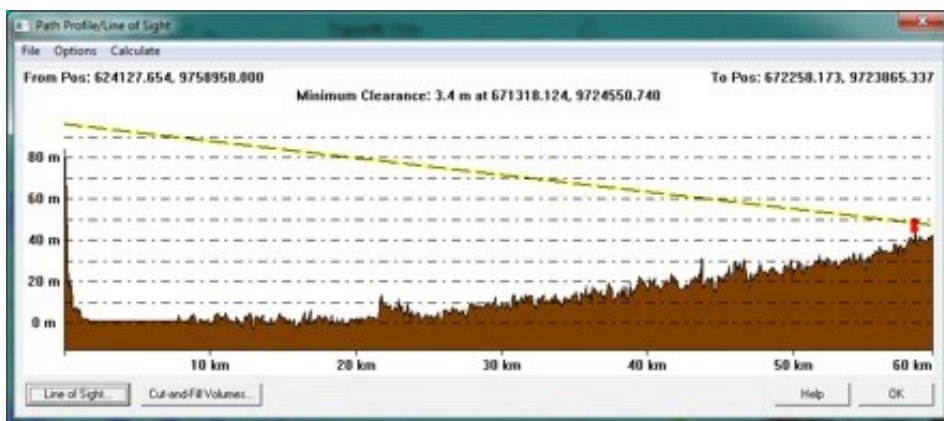


Fig. 4 Línea de vista directa entre el Centro de Control y la Derivadora Cañar

En la Fig. 5, se puede ver claramente que al igual que en la derivadora Las Maravillas, en la derivadora Cañar, el problema que se presenta se ve relacionado directamente con la distancia con el centro de control.

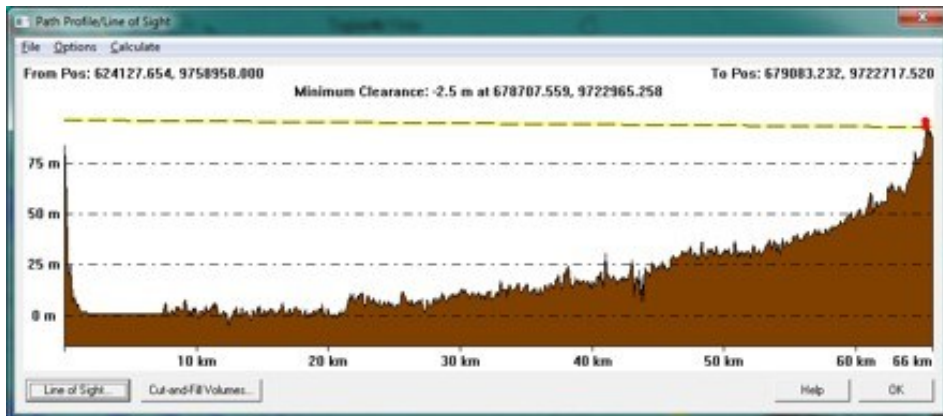


Fig. 5 Línea de vista directa entre la estación del Centro de Control de Puerto Inca y la estación ubicada en el Río Patul.

Como se vio en la Fig. 5, el problema de la distancia se vuelve a presentar nuevamente en la Fig. 6, lo que indica que es necesaria ubicación de una estación repetidora que nos asegurará la comunicación entre todas las estaciones de medición y control presentes en el área.

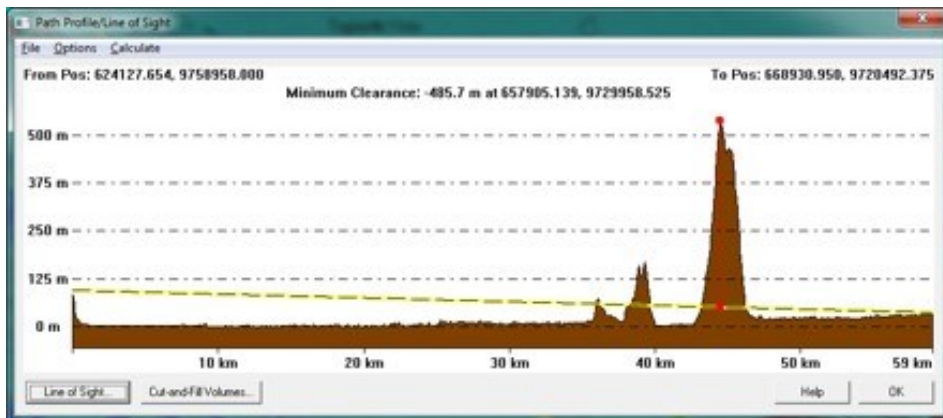


Fig. 6 Del centro de control a PIN

En la Fig. 7, además de los problemas con la distancia, se puede ver claramente que existe una elevación considerable que bloquea la línea de vista directa de la estación ubicada en el río Piedras y el centro de control localizado en el cerro Santa Ana en la

ciudad de Guayaquil. Este problema afirma aún más que se hace necesaria la ubicación de una repetidora.

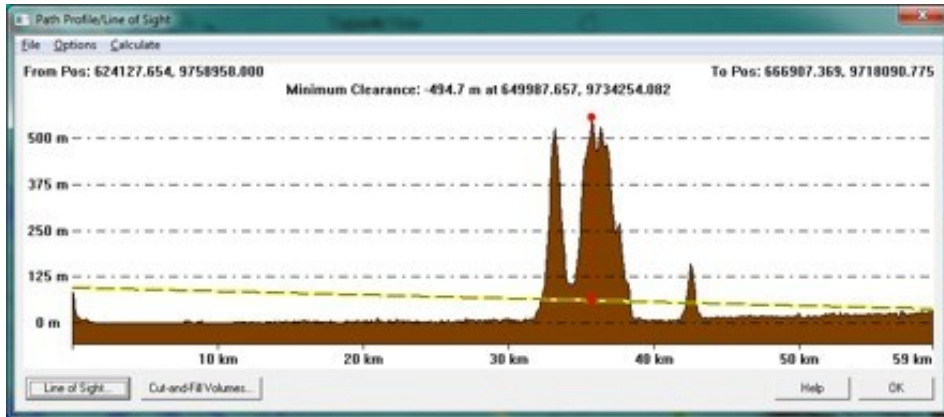


Fig. 7 De centro de control a PNO-1 RIO NORCAY

Al igual que en la Fig. 7, se presenta el mismo problema de la línea de vista que se existe en la estación del río Piedras.

3 Resultados

3.1. Guayaquil como centro de control

Se plantea la ubicación del centro de control en la ciudad de Guayaquil y más precisamente en el Cerro Santa Ana, para poder llevar a cabo la configuración de la red de telecomunicaciones se requiere la utilización de dos repetidoras, debido a la existencia de varias elevaciones en la línea de vista que la limitan o anulan en ciertos lugares. El centro de control en Guayaquil, deberá estar ubicado a una distancia de 12 metros sobre el suelo, ya que en base a esto se han realizado los posteriores análisis. Se ha realizado un análisis en el cual se ha incluido como resultado la utilización de dos estaciones repetidoras para poder asegurar la comunicación entre todas las estaciones sean de control o de medición. Para este análisis se ha establecido que los transmisores de las estaciones se deberán ubicar a unos 5 metros sobre el nivel de suelo.

La primera repetidora se ubicaría cerca de un poblado llamado: “Roberto Astudillo” y que se encontraría a 5 metros sobre el suelo. Hay que tener presente que esta repetidora se ubicaría más o menos a una elevación total de 40 metros. Además de esto, se puede ver claramente en la Fig. 8 y Fig. 9, que la repetidora estaría ubicada dentro del rango de los 40 metros, asegurando así la presencia de la red de comunicación. Las coordenadas aproximadas de este poblado son: 663907.599 y 9757875.122.

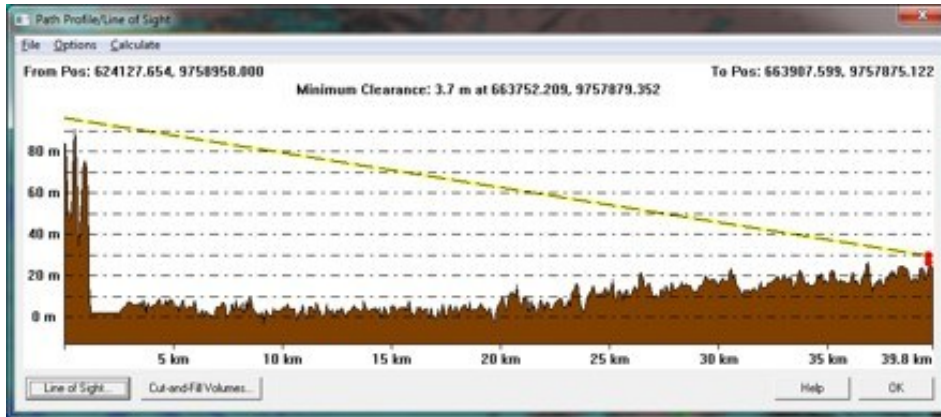


Fig. 8 Línea de vista entre el centro de control y la repetidora ubicada en “Roberto Astudillo”

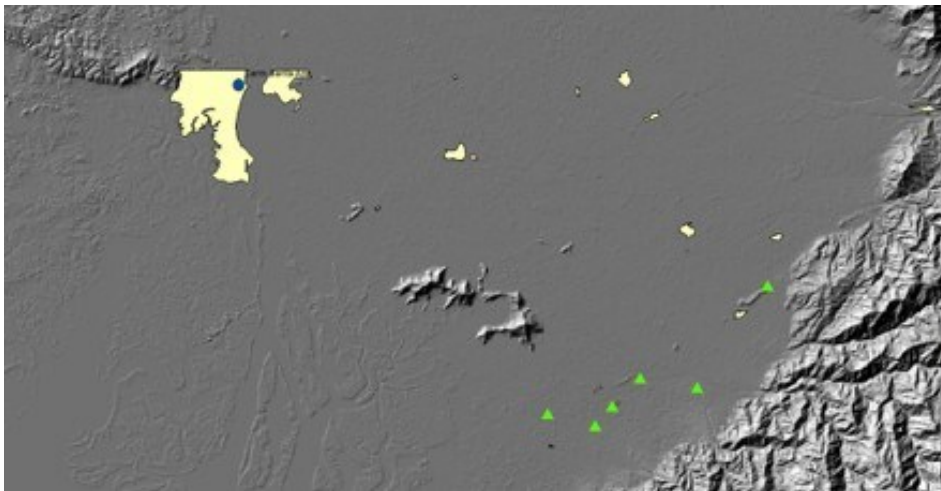


Fig. 9 Elevación que hace necesaria la ubicación de una nueva repetidora.

Debido a que existe una elevación considerable en la zona como se ve en la Fig. 10, es necesaria la ubicación de una nueva repetidora, ubicada en el poblado llamado “Cochancay”. Con la ubicación de la mencionada repetidora, se estará asegurando la comunicación entre todas las estaciones de medición y control. La posible ubicación de sería: 688475.555 y 9726853.483.

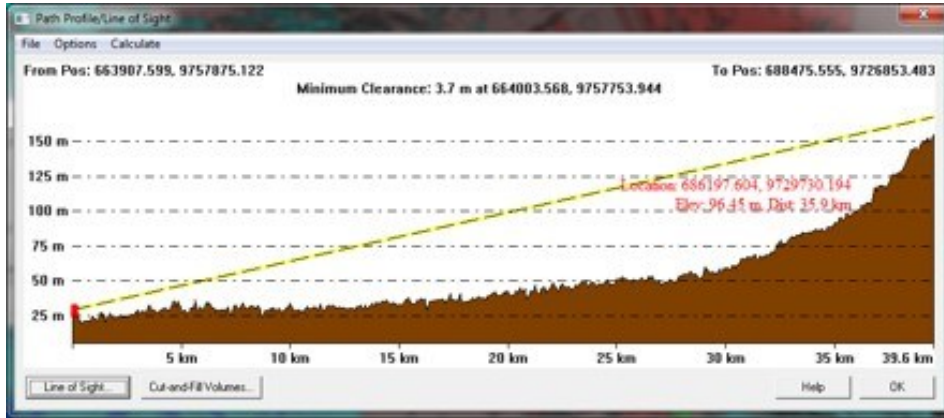


Fig. 10 Línea de vista entre el la repetidora ubicada en el poblado “Roberto Astudillo” y la repetidora ubicada en “Cochancay”

Como se puede apreciar en la Fig. 11, el rango de cobertura de las repetidoras, están asegurando la comunicación entre todas las estaciones de control y medición presentes en el área de interés.

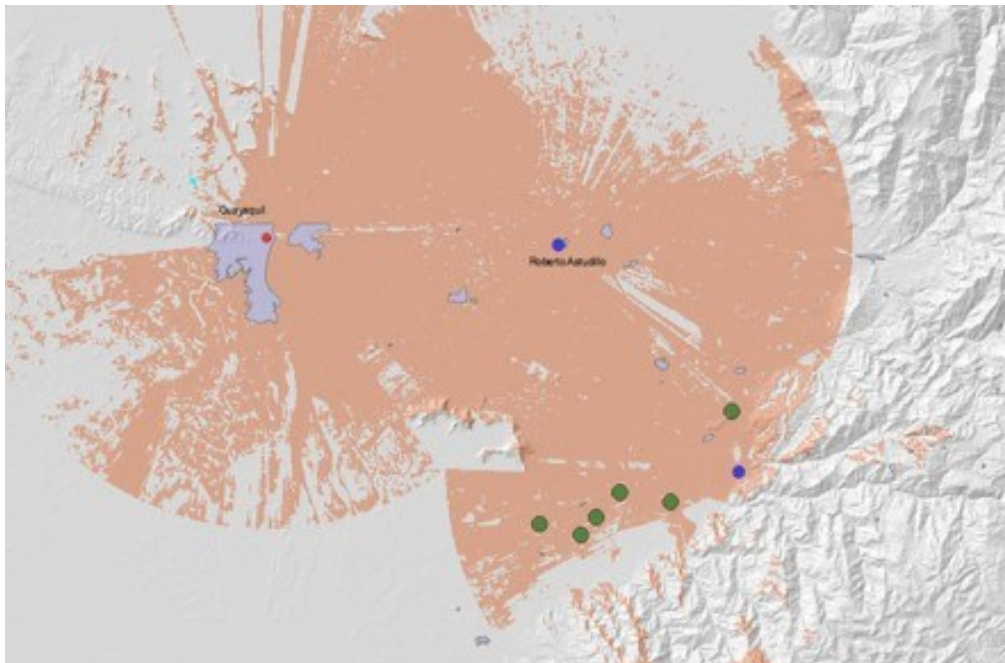


Fig. 11 Mapa de cobertura de comunicación



Fig. 12 Simbología presente en el mapa de cobertura de la Fig. 11.

3.2. Determinación de la potencia necesaria para alimentar al sistema de comunicación

Con el fin de determinar la potencia necesaria que deberán tener los equipos de comunicación [6]. Para realizar esto es necesario determinar las pérdidas que se presentaran en el sistema y tratar de que el equipo instalado trabaje sobre el rango identificado.

Para le presente sistema se han identificado los siguientes parámetros en el sistema de comunicación: Distancia máxima: 35 km Frecuencia: 900Mhz

Para el establecimiento de la frecuencia, hay que tener presente los siguientes detalles [7]:

- En general, a mayor frecuencia mayor ancho de banda disponible, pero menor alcance
- A frecuencias bajas las ondas son guiadas por la superficie terrestre y reflejadas por las capas ionosféricas.
- A frecuencias altas las ondas de radio se comportan como la luz, por lo que se requiere línea visual entre el transmisor y el receptor.
- Teniendo esto claro, se ha determinado el rango de los 900 Mhz, ya que esto nos aseguraría un alcance de al menos 40 km, ya que son 35 lo mínimo que se requiere [8].

Para determinar la pérdida en el espacio libre o FSL se debe aplicar la siguiente ecuación (

):

$$FSL(dBm) = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) - 187.5$$

Fig. 13 Ecuación de la pérdida en el espacio libre o FSL

De donde: D: Distancia en metros F: Frecuencia en Hz

Para el caso del Centro de Control de Puerto Inca, el valor de FSL es de aproximadamente 23 dBm

1 mW	= 0 dBm
2 mW	= 3 dBm
100 mW	= 20 dBm
1 W	= 30 dBm

Fig. 14 Tabla de equivalencias entre Watts y dB

En base a los datos presentados en la

, se puede ver claramente que el valor obtenido por el sistema de comunicación (23dBm) se encuentra entre [5]: 100mW y 1W, deberemos utilizar equipos de comunicación que nos aseguren que aunque exista pérdida, el sistema seguirá funcionando y esto se lo hace seleccionado el rango superior. Por lo tanto la potencia necesaria sería de 1W.

3.3. Requerimientos específicos del sistema de comunicación

Para asegurar la comunicación entre las diferentes estaciones de control y medición se han identificado los siguientes requerimientos técnicos para los equipos [9]:

Modos de operación: Modo Punto a Punto y multipunto, Maestro, Repetidor, Esclavo o en modo Repetidor/Remoto

3.4. Interface

- Ethernet: Una de 10baseT (UTP) – estándar y cruzado CAT5s, Punteo Ethernet, Filtración de direcciones MAC, Dirección IP modificable por el usuario.
- Serial: Terminal bornera Serial-Linc RS232/RS485, Emisión/Recepción de datos en Serial vía UDP.
- Puerto de Diagnóstico: RS232

3.5. Rangos de transmisión

- Banda ICM: 900MHz
- Ganancia del sistema: 138 dB
- Distancia: 40 km (25 millas) con antena omni (con línea de vista)
- Poder de salida RF máximo: 1 Watt (30dBm)
- Modulation: "Frequency Hopping Spread Spectrum", GFSK
- Tasa de transferencia RF: 144Kbps - 188 Kbps
- Transferencia máxima de datos: 115Kbps modo punto-a-punto suponiendo una disponibilidad de frecuencia de 75 MHz.

4 Conclusiones y trabajo futuro

Como producto de este trabajo, se ha podido determinar que la transmisión de información mediante la utilización de radio módems, es una manera muy útil y a la vez económica de hacerlo ya que conlleva grandes distancias de alcance, no requiere una línea de vista directa ya que el nivel de irradiación de la antena ayuda a la expansión de la señal.

En cuanto a la frecuencia recomendada; no se incluirían costos relacionados con la adquisición de una banda específica para transmitir la información ya que los 900 MHz son de acceso público.

La utilización del cerro Santa Ana en Guayaquil como centro de control, podrá asegurar que la conexión con las otras estaciones que miden la información del caudal de los ríos, estará siempre disponible evitando fallas en el funcionamiento del sistema de alerta temprana.

Fácilmente se podría agregar una antena extra en la región para poder extender la cobertura del sistema de alerta temprana y con esto poder asegurar que la una amplia área estará cubierta o protegida con el sistema de alerta temprana.

En un futuro se podría pensar en la inclusión de muchas más estaciones para el sistema de alerta temprana, y dependiendo de esto, se podría pensar en la utilización de una frecuencia concesionada para que no exista problemas con la interferencia y de igual manera pensar en un mecanismo de comunicación de mucho más alcance que el de los radio módems.

5 Referencias

- [1] R. Chandia, J. Gonzalez, T. Kilpatrick, M. Papa, and S. Sheno, "Security strategies for SCADA networks," in IFIP International Federation for Information Processing, 2007, vol. 253, pp. 117–131.
- [2] P. Bharadwaj, B. Deutsch, and L. Novotny, "Optical Antennas," Advances in Optics and Photonics, vol. 1, no. 3. p. 438, 2009.

- [3] J. Bailey-Serres and L. A. C. J. Voesenek, "Flooding stress: acclimations and genetic diversity," *Annu. Rev. Plant Biol.*, vol. 59, pp. 313–339, 2008.
- [4] A. Erentok and R. W. Ziolkowski, "Metamaterial-inspired efficient electrically small antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 56, no. 3, pp. 691–707, 2008.
- [5] G. Marrocco, "Gain-optimized self-resonant meander line antennas for RFID applications," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 2, pp. 302–305, 2003.
- [6] J. D. Fernandez and A. E. Fernandez, "SCADA systems: Vulnerabilities and remediation," *J. Comput. Sci. Coll.*, vol. 20, pp. 160–168, 2005.
- [7] K. Feher, "Modems for emerging digital cellular-mobile radio system," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 40, no. 2, pp. 355–365, 1991.
- [8] M. Keskilammi and M. Kivikoski, "Using text as a meander line for RFID transponder antennas," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 3, no. 1, pp. 372–374, 2004.
- [9] J. M. Torrance and L. Hanzo, "Statistical multiplexing for mitigating latency in adaptive modems," *Proc. 8th Int. Symp. Pers. Indoor Mob. Radio Commun. - PIMRC '97*, vol. 3, 1997.