

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE**

**INGENIERÍA ELECTROMEÁNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**AUTORES:**

**ANDRADE RIVADENEIRA, ALVARO PATRICIO**

**ESPIN TAPIA, MAURO EFRAIN**

**TEMA: “DISEÑAR Y SIMULAR EL ENLACE ENTRE LAS PLANTAS DE CARNQUI, AZAYA Y  
ESTACION DE BOMBERO YUYUCOCHA DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACION DE PROCESOS  
DE AGUA POTABLE Q ADMINISTRA LA EMAPA-I EN LA CIUDAD DE IBARRA.”**

**LATACUNGA, AGOSTO 2021**



# AGENDA

- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- OBJETIVO GENERAL Y ESPECÍFICOS
- HIPÓTESIS
- ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS
- ANÁLISIS DE RESULTADO DE LA INVESTIGACIÓN
- DISEÑO DE LA PROPUESTA
- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- La Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ibarra (EMAPA-I), tiene en operación diferentes plantas de tratamiento en el cantón Ibarra, incluyendo sistemas de bombeo de pozo profundo de agua cruda para alimentar las plantas de tratamiento. El abastecimiento del líquido vital desde estas plantas a la Ciudad Ibarra, se lo realiza después de los procesos de potabilización y desinfección del agua. En donde 2 de las 3 plantas cuentan con un sistema de automatización de procesos y la tercera la planta de Azaya está contemplada para la realización del sistema de automatización, por lo que se diseñara el sistema de enlace de estas 3 estaciones para tener una visualización de manera gerencial de los procesos.

- En la mayoría de las etapas del proceso requieren de algún operador para que funcione adecuadamente, especialmente el de potabilización debido a que el proceso resulta un poco más complejo. Por ello se ve la necesidad de diseñar un sistema de enlace de estas plantas a un cuarto de control que permita optimizar los procesos que realiza la planta de tratamiento de agua potable, convirtiéndolo en uno más eficiente, ya que se agilizan las labores de los operarios, y realiza las respectivas funciones de la planta de una forma más precisa y controlada, evitando así una pérdida

# OBJETIVO GENERAL

- Diseñar y simular el enlace entre las plantas de Caranqui, Azaya y Estación de bombeo Yuyucocha del sistema de automatización de procesos de agua potable que administra la EMAPA-I en la ciudad de Ibarra.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico previo del estado actual de la planta de tratamiento Azaya, Caranqui y Estación de bombeo Yuyucocha.
- Analizar cada una de las etapas de los procesos de potabilización de agua junto con sus procesos químicos que intervienen en su desarrollo

- Diseñar y simular el enlace del sistema de automatización de la planta de Caranqui, Azaya y Estación de bombeo Yuyucocha, que permita integrar la información y ser visualizada de manera gerencial para la toma de decisiones.
- Contribuir al control de pérdidas en tiempo real para la toma de decisiones y correctivos por parte del departamento de agua no contabilizada.

- Reducir los tiempos de toma de decisiones en el control de agua no contabilizada dando mejores resultados en la sectorización de la red.
- Permitir un mejor control y planificación de mantenimientos preventivos de los equipos de bombeo de pozo profundo y de superficie a través de los parámetros eléctricos en tiempo real e Históricos

# HIPÓTESIS

- Con el enlace de los sistemas de automatización de este proyecto se conseguirá un correcto tratamiento y distribución de agua tratada, controlando mejor el proceso.



## Variables De La Investigación.

- **Variable independiente:** Diseño de enlace de los sistemas automatización de Caranqui, Azaya y Yuyucocha para controlar el proceso de tratamiento de agua potable de la planta Caranqui.
- **Variable dependiente:** Supervisión del sistema de automatización mediante radio enlace..

# ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

- La Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado de Ibarra EMAPA-I en el último catastro de clientes realizado en el 2018 cuenta con 50201 abonados, los cuales están distribuidos en 3 zonas hidráulicas, zona 1 (sistema de Caranqui), zona 2 (sistema de Azaya), y zona 3 (sistema San Antonio).
- La Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado de Ibarra EMAPA-I en el último catastro de clientes realizado en el 2018 cuenta con 50201 abonados, los cuales están distribuidos en 3 zonas hidráulicas, zona 1 (sistema de Caranqui), zona 2 (sistema de Azaya), y zona 3 (sistema San Antonio).

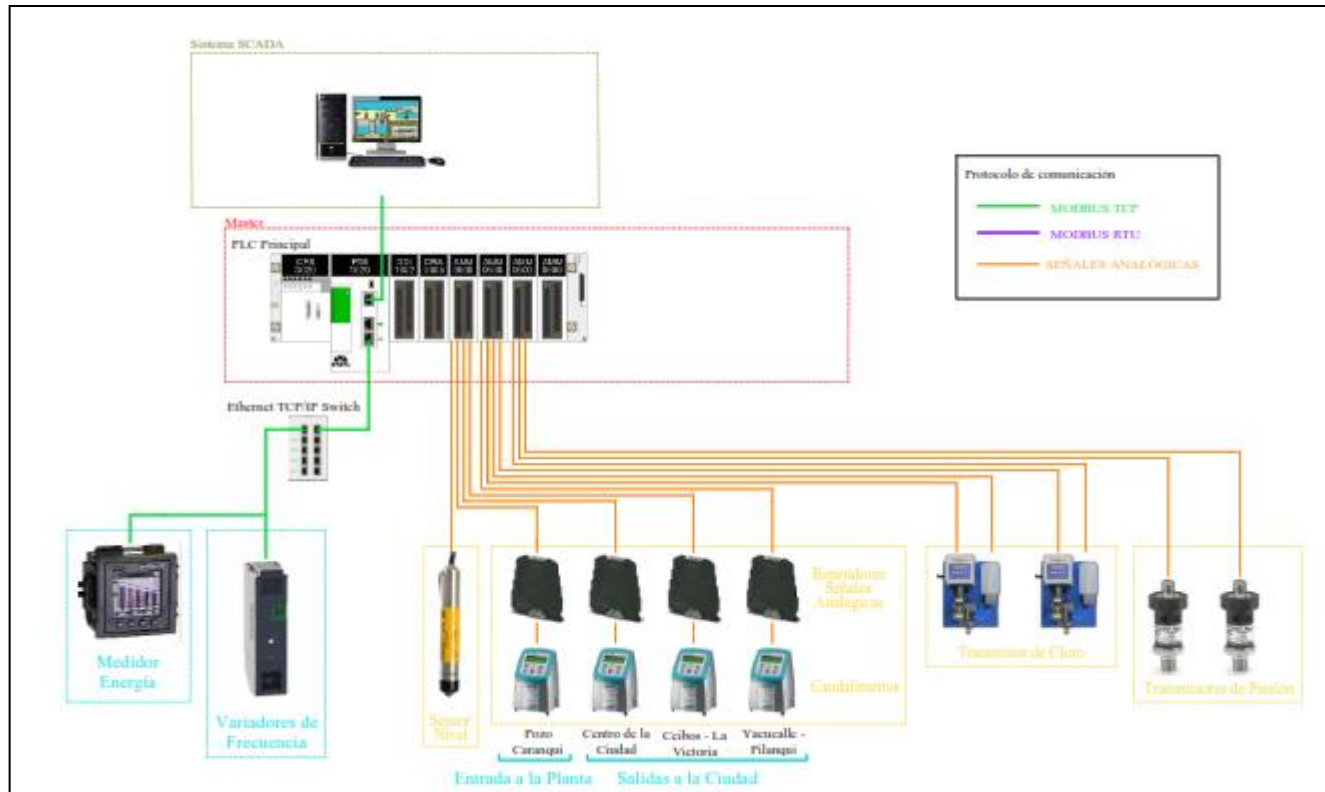
- El operario revisa los parámetros del agua, para conocer si esta lista para ser suministrada. En estas operaciones de la planta de tratamiento interviene el operador ya que esta no posee ningún tipo de control.
- La automatización del proceso de potabilización, permitirá enlazar las tres estaciones y visualizar los datos de las variables analíticas en línea (monitoreo continuo), permitiendo un manejo más eficiente en los procesos de potabilización del agua y garantizando una mejor calidad y servicio a los usuarios finales.

# ANÁLISIS DE RESULTADOS

- De la encuesta realizada a los operadores de las plantas se desprenden los siguientes resultados.
- En la pregunta 1 los 9 operadores encuestados que representa al 100% de la muestra, responden que no existe un sistema de radio enlace que comunique a las plantas de Caranqui, Azaya y Estación de bombeo Yuyucocha. Por esta razón es necesario realizar el diseño y la implementación del sistema de comunicación para centralizar las variables que intervienen en el proceso de tratamiento y distribución de agua

y al considerar el tema de estudio de la centralización para el monitoreo y control de estos parámetros, los tiempos de respuesta pueden mejorar gracias a la implementación de las nuevas tecnologías que ayudan al óptimo rendimiento de las .maquinas

# Arquitectura del sistema Scada planta Caranqui



# Diseño de la Propuesta

- Se presenta una solución a la comunicación que sea capaz de transportar información generada por los sistemas SCADA de las plantas de tratamiento de agua potable, Caranqui, Azaya, Y estación de bombeo Yuyucocha debido a la necesidad de disponer de un transporte de información de los equipos y las pantallas de visualización de los procesos de tratamiento y desinfección de agua potable.
- Debido al requerimiento de automatizar los procesos vinculados a la operación de las plantas es necesario diseñar en enlace de comunicación inalámbrico que soporte las aplicaciones SCADA.

# Aspectos para el diseño de un sistema de radio enlace

Es importante en el desarrollo de un diseño de radio enlace conocer las ubicaciones donde se va a implementar el sistema de comunicación, por lo que se debe realizar las siguientes actividades:

- **Ubicación geográfica.** Localizar en un mapa geográfico la ubicación de las plantas y determinar los puntos de enlace, la altura de las torres de comunicación, y la línea de vista entre las locaciones



- **Sondeo y exploración del lugar.** Realizar una inspección a las plantas para determinar la disponibilidad del espacio donde instalar los equipos y alimentación eléctrica como también la línea de vista disponible.



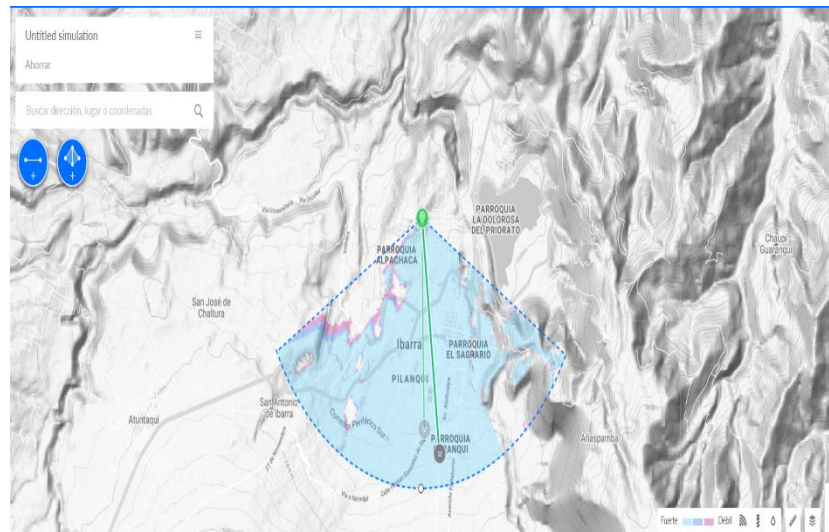
# Distancia entre plantas de tratamiento

LOCACION	DISTANCIA
AZAYA-CARANQUI	5130m
AZAYA - ESTACIÓN DE BOMBEO YUYUCOCHA	4560m



# Planta Azaya

- Se toma como estación central a la **planta de Azaya**, aquí se debe instalar una antena Omnidireccional, ubicada de forma que el ángulo de alcance llegue a las estaciones de Caranqui y Estación de bombeo Yuyucocha.



# Estación Caranqui

- En la **Estación Caranqui** se debe instalar una antena unidireccional apuntando a la estación central  
*Antenas para enlace Azaya – Caranqui*



# Estación de bombeo Yuyucocha

- En la **Estación de bombeo Yuyucocha** se debe instalar una antena unidireccional.

*Antenas para enlace Azaya – Estación de bombeo Yuyucocha*



# ***Análisis Matemático***

## **1. Cálculos de propagación.**

Para conseguir una conexión adecuada de los equipos y definir las características o especificaciones técnicas se realizan los cálculos matemáticos que terminan por definir estas características.

## **2. Alcance de señal**

El cálculo de la distancia máxima que puede alcanzar la señal emitida por una antena en condiciones ideales. Tomando en cuenta la altura desde el suelo hasta la ubicación de la antena.

# Ecuación 1

- **Alcance de señal**

$$r = \sqrt{17h_1} + \sqrt{17h_2}$$

*r = distancia en kilimetros (km)*

*h1 = altura en la que se encuentra la antena 1*

*h2 = altura en la que se encuentra la antena 2*

Se sustituye los valores de las alturas donde deben estar instaladas las antenas dato que arroja la simulación que es de 6 m más la altura del edificio donde estarán instaladas que es de 2.5 m. y en tanque es de 8 metros para el caso de comunicación entre Azaya y Caranqui. Pero para este caso la antena de Caranqui será de 4 metros debido a que va a estar sobre el tanque.

$$r = \sqrt{17(12)} + \sqrt{17(8.5)} = 24.04km$$

$$r = \sqrt{17(8.5)} + \sqrt{17(8.5)} = 26.3km$$

## Azaya -Caranqui

La comunicación se la puede realizar sin problema ya que la distancia máxima de comunicación entre estas estaciones es de 5.36km (Azaya – Caranqui) y 4.72km (Azaya – Estación de bombeo Yuyucocha).





# Zona Fresnel

- En el trayecto se deben evitar los obstáculos (montañas, arboles, edificios) pero también se debe evitar la difracción causada por la obstrucción parcial de un objeto fijo, se realiza mediante elipsoides de Fresnel, donde como mínimo debe tener el 60% de la primera zona libre de obstáculos. Este parámetro se ve afectado por la longitud del radioenlace y la frecuencia utilizada, ya que a mayor frecuencia las zonas de Fresnel se estrechan. Para realizar el cálculo de la anchura, se utiliza la siguiente fórmula del radio de la primera zona de Fresnel:

# Ecuación 2

- *Calculo de la zona de Fresnel*

$$R_1 = \sqrt{\lambda \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

Donde  $\lambda$  es la longitud de onda (m)

$\lambda = c/f$  donde **c** es la velocidad de onda y **f** la frecuencia.

**d1** y **d2** son las distancias de las antenas transmisoras y receptoras.

Y como en este caso no hay obstáculos que puedan afectar la comunicación se considera una propagación de visibilidad directa

# Señal a ruido

Es una relación que permite conocer la diferencia mínima que se debe alcanzar entre la señal recibida y el ruido, de manera que define la calidad de la señal recibida. Para realizar esta relación, se tienen en cuenta el ruido térmico, ruido industrial y otras interferencias creadas por redes de la misma banda de frecuencia.

# Ecuación 3

Calculo de la señal de ruido

$$\begin{aligned} \frac{S}{N} (dB) \\ &= 10 \log_{10} \left( \frac{\text{potencia de señal } (W)}{\text{potencia de ruido } (W)} \right) \end{aligned}$$

Cuanto mayor sea este valor, la señal recibida será más limpia y la calidad mejor



# Pérdidas de espacio

Es indispensable realizar los cálculos de las pérdidas de espacio libre entre antenas, debido a que es un enlace punto a punto y así evaluar esta atenuación, es necesario tener en cuenta lo establecido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT (UIT-R P.525-2). Esta atenuación se crea en la trayectoria del espacio libre que atraviesa la señal desde la antena emisora hasta

## Ecuación 4

*Perdidas en el espacio*

$$L_{bf} = 20 \log (4\pi d / \lambda)$$

Donde,

***L<sub>bf</sub>***: pérdida básica de transmisión espacio libre (dB)

***λ***: longitud de onda

***d***: distancia entre antenas

Las unidades utilizadas para la longitud de onda y la distancia deben de ser las mismas.

Igualmente, esta ecuación también se puede describir en función de la frecuencia

# Ecuación 5

- *Perdidas en el espacio en función de la frecuencia*
- $L_{bf} = 32'4 + 20 \log f + 20 \log d$
- Donde,
- $f$ : frecuencia (MHz)
- $d$ : distancia entre antenas (km)
- Tomando en cuenta el análisis sobre las frecuencias de trabajo para la conexión por radio, se ve oportuno el uso de la frecuencia de 5 GHz en las bandas 5725 - 5875 MHz. Por otro lado, siendo la distancia exacta entre ambas antenas de 5,36km y 4.72km respectivamente se puede realizar el cálculo de las pérdidas de espacio libre para este proyecto:

73.9794+73.47883

$$L_{bf} = 32'4 + 20 \log 5 \times 10^3 + 20 \log 5.36 = 148,56 \text{dB} (\text{azaya} - \text{caranqui})$$

$$L_{bf} = 32'4 + 20 \log 5 \times 10^3 + 20 \log 4.72 = 147,45 \text{dB}$$

(Estación de bombeo Yuyucocha – azaya)

Este dato es necesario para poder calcular la potencia total capturada por la antena receptora.



# Potencia recibida

- Es la potencia a recibir de la antena receptora, se puede calcular mediante la siguiente ecuación, donde se tienen en cuenta las ganancias, potencias y principales focos de pérdidas del sistema de radioenlace:

## Ecuación 6

*Potencia recibida*

$PRK(dBm)$

$$= PTK(dBm) - ACable TK(dB) + GAntena TK - Lbf(dB) \\ + GAntena RK - ACable RK(dB)$$

**Donde:**

$PRK(dBm)$ : Potencia recibida



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

***PTK(dBm)***: Potencia del transmisor

***ACable TK(dB)***: Perdida de cable en TX

***GAntena TK(dBi)***: Ganancia antena TX

***Lbf(dB)***: Perdida espacio libre

***GAntena RK(dB)***: Ganancia de antena RX

***ACable RK(dB)***: Perdida de cable en RX

En el resultado obtenido, se debe tener en cuenta la sensibilidad de las antenas receptoras, puesto que serán los que indican si la potencia calculada es suficiente para poder ser captada por ellas o no. En caso de que sea insuficiente, será necesario cambiar las diferentes configuraciones que tiene la antena. Por el contrario, si la potencia entra dentro del rango establecido por la sensibilidad de la antena, la señal podrá ser recibida.



# PIRE, Potencia Isotrópica Radiada Equivalente

- El PIRE o EIRP (Effective Isotropic Radiated Power) es la potencia transmitida que radiaría una antena isotrópica. El valor máximo que puede alcanzar esta potencia lo define cada gobierno, de esta manera es necesario cumplir las leyes del país donde se va a implantar el proyecto.
- Para poder saber si se sobre pasa el límite establecido, se puede calcular con la siguiente expresión:

# Ecuación 7

*Potencia Isotrópica Radiada Equivalente*

$$PIRE = PT - Acable + GA$$

Donde:

*PT*(dBm): Potencia transmitida

*ACable* (dB): Pérdida de cable

*GAntena*(dBi): Ganancia de antena

El cálculo total, no debe exceder del límite establecido.  
Para realizar el cambio de W a dBm se tendrá en cuenta la relación de los mismos:  $P(\text{dBm}) = 10\log_{10}(1000 \cdot W)$



# ***Discriminación por polarización***

- El aislamiento de polarización es la relación entre la potencia recibida por la antena receptora de dos ondas con diferente dirección y polarización. Siendo la relación de desacoplamiento por polarización, la relación entre la componente de la polarización deseada y la ortogonal de la misma. Con estos valores se puede determinar la discriminación que puede realizar una antena respecto a las señales interferentes.
- Por ejemplo, para poder calcular la discriminación por polarización cruzada debida a la lluvia, según la Recomendación UIT-R S.736-3:

# Ecuación 8

- *Discriminación por polarización*

$$Dx_{lluvia} = U - V(f) \log A_p \quad [dB]$$

Donde:

$A_p$ : atenuación debida a la lluvia (dB) excedido en tiempo  $p$  para el trayecto

$V(f)$ : valor máximo a 20 entre 8 GHz y 15 GHz

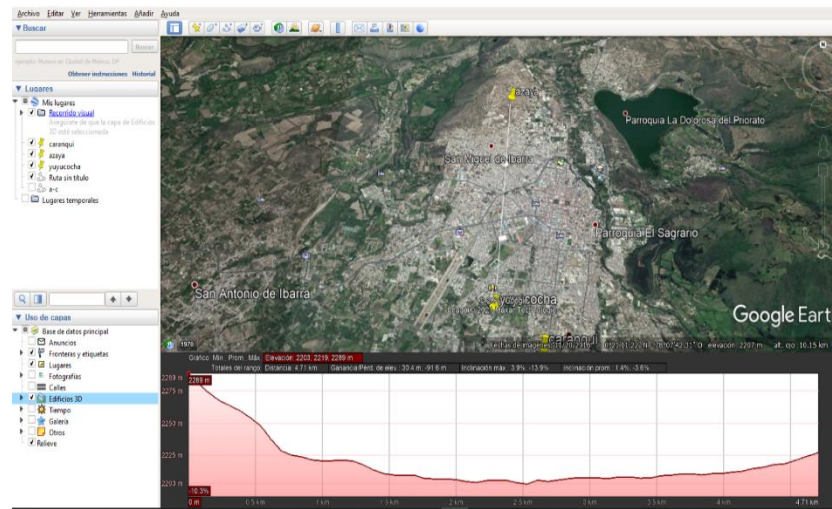
$U$ :  $U(f, sS, r, \sigma)$

Para la implantación del sistema de radio comunicación se plante el diseño de este.

- Para ayudar en la mejora de las configuraciones del enlace se han utilizado el software Google Earth y el software Radio Mobile para la simulación del radio enlace planteado para la solución de enlace de las plantas de tratamiento Caranqui, Azaya y Estación de bombeo Yuyucocha.
- Mediante las características analizadas de los diferentes elementos que se va utilizar para el radio enlace se toma en cuenta la altura de donde van a estar instaladas las antenas de comunicación Caranqui (8 m), Azaya (2.5m) y Estación de bombeo Yuyucocha (2.5m) y definiendo la altura de las torres donde se van a instalar las antenas en 6 metros con lo cual garantiza una línea de vista adecuada entre estas locaciones

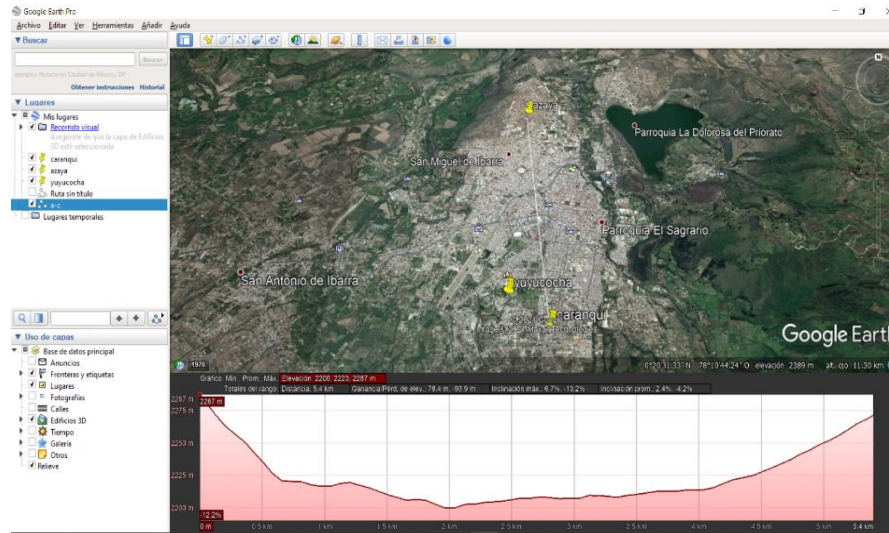
- Con estos lineamientos básicos y la ayuda Google earth se puede simular la visibilidad del radio enlace ubicando en las zonas adecuadas para la comunicación como se aprecia en las figuras.

Visibilidad de radio enlace Azaya - Estación de bombeo Yuyucocha





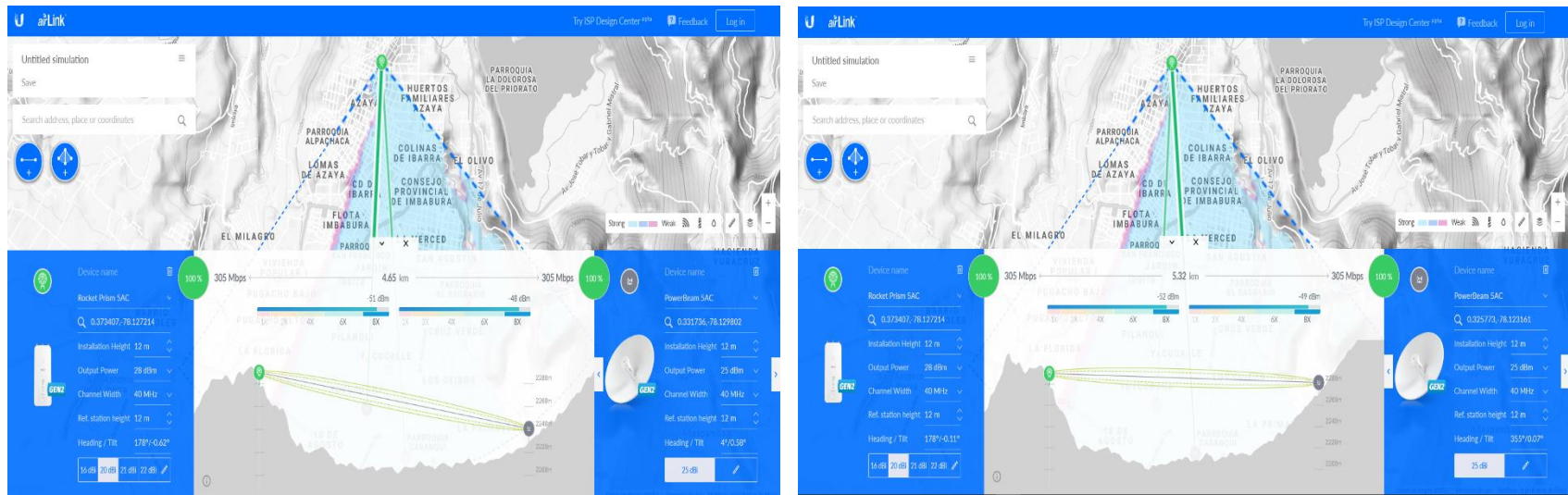
# Visibilidad de radio enlace Azaya - Caranqui



Aquí se puede ver la distancia que existe entre cada estación y la diferencia de nivel a la que se encuentran las plantas, con lo que se determina que la línea de vista entre las locaciones es correcta

# Elección del tipo de antena para realizar el radio enlace

## Análisis de antenas



Las antenas que se proponen para cubrir las características descritas son:

- En la estación de Azaya la antena omnidireccional Rocket Prism 5 AC de segunda generación con una frecuencia de trabajo de 5GHz y una ganancia que va desde los 16 y 50 dB y en las plantas de Caranqui y Estación de bombeo Yuyucocha antenas unidireccionales Power Beam 5AC de segunda generación de 5 GHz y una ganancia de 25 dB como se muestran en las figuras.



- Una vez elegido la antena a instalarse se analiza los cables y conectores a utilizar para poder valorar las pérdidas que se pueden generar en la conexión a realizar. Se toma en cuenta un cable coaxial con una impedancia característica de  $50 \Omega$  apto para frecuencias de 5GHz.
- En consecuencia, se ha analizado el cable coaxial CA-400 LMR-400 que cumple con las especificaciones comentadas y proporciona bajas pérdidas. En el caso de este proyecto, donde se hace uso de la frecuencia de trabajo de 5 GHz, se observa que tendrá una atenuación de 32'81 dB por cada 100 m.

# Atenuación de cable coaxial

Frecuencia Mhz	Atenuación db/100m	Aguante de potencia KW
30	2.49	0.76
50	3.18	0.97
150	4.92	1.50
220	6.23	1.9
450	8.86	2.7
900	12.8	3.9
1500	16.7	5.1
1800	18.4	5.6
2000	19.4	5.9
2400	21.65	6.6
2500	22.0	6.7
3000	24.6	7.5
4000	28.87	8.8
4500	30.84	9.4
5000	32.81	10.0
5200	33.46	10.2
5500	34.78	10.6
5800	35.76	10.9
6000	36.42	11.1



- El cálculo de las pérdidas en el cable para la solución que se plantea considerando la distancia a cubrir es de 20m.

$$A = \frac{32,81}{100} \cdot 20 = 6,562 \text{ dB}$$

- Una vez definidos todos los datos se calcula el PIRE final para asegurar las características apropiadas del enlace, tomando en cuenta la ganancia de 25dB y la atenuación del cable.

Este valor no debe exceder de 36dBm

$$\begin{aligned} \text{PIRE} &= PT - A_{\text{cable}} + GA \rightarrow PT = 36 + 6,562 - 25 \\ &= 27,562 \text{ dBm} \end{aligned}$$

- La potencia recibida según las especificaciones de los componentes del sistema es el siguiente:
- $PRK(dBm) = 27.562dBm - 6,562dB + 20dBi - 115,77dB + 25dBi - 6.562dB = -60,051dBm$
- En teoría el diseño de radio enlace es el adecuado, por consiguiente, se debe realizar una simulación con los valores obtenidos en el software Radio Mobile para corroborar que se conseguirá la comunicación con éxito. Se debe configurar la parte del radio enlace, definiendo la frecuencia de trabajo y las características de las antenas.

# CONCLUSIONES

- Con la información recolectada se hizo el estudio del estado actual de las plantas como están operando y con estos datos obtenidos se determinaron los requisitos mínimos del radio enlace entre las plantas y se determinó la factibilidad de los radios enlaces mediante una simulación con el software RadioMobile.
- La implementación del radio enlace permitirá mantener un mejor control del proceso de potabilización del agua y además de poder implementar nuevos servicios y sistemas de agua potable.



- Se presentó una propuesta de implementación de infraestructura de radioenlace para mejorar los procesos de tratamiento de agua potable en Caranqui, Azaya y estación de bombeo Yuyucocha.
- Con la información recolectada se realizó el estudio del estado actual de las plantas como están operando y con estos datos obtenidos se determinaron los requisitos mínimos del radio enlace entre las plantas y se determinó la factibilidad de los radios enlaces mediante una simulación con el software RadioMobile.

- Al mantener un control y monitoreo en tiempo real ayuda a reducir los índices de agua no contabilizada ya que se tienen valores en tiempo real de consumos con los cuales el operador puede definir si se trata de un alto consumo por época de verano o debido a una rotura en la red de distribución, y de esta manera podrá tomar acciones correctivas permitiendo tener continuidad y calidad de servicio.
- . Reduce los tiempos de respuesta en el Departamento de agua no contabilizada al disponer de históricos de consumo, estos son representados con graficas de tendencia de comportamiento en el tiempo de los consumos de agua potable que permiten mejorar los sectores hidráulicos mediante la implementación de válvulas para una óptima sectorización.

- La unidad de Electromecánica de la empresa mediante el control y monitoreo de parámetros eléctricos de operación y consumo de energía eléctrica, puede analizar el comportamiento de la maquinaria instalada y coordinar mantenimientos de tipo preventivo de los sistemas de bombeo de pozo profundo y de superficie, con los históricos y datos en tiempo real.

# ***RECOMENDACIONES***

- Al momento de implementar el radio enlace en un futuro, usar los equipos propuestos en este estudio ya que han sido seleccionados en base a las necesidades y características de los equipos seleccionados y si se cambiara los resultados podrían variar significativamente.
- Realizar un cronograma para mantenimiento preventivo de la infraestructura de los radios enlaces para garantizar el correcto funcionamiento y operatividad evitando perdidas de comunicación.

- Se recomienda contratar o capacitar a personal con el perfil adecuado que pueda operar y mantener el sistema de radio enlace como también los sistemas Scada instalados en las plantas de tratamiento objeto de estudio.

***GRACIAS POR SU ATENCIÓN***



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA