



## Radio enlace autónomo para transmisión de datos para sensores en alta montaña: Quebrada Cojup, Huaraz - Perú

### Autonomous radio link for data transmission for sensors in high mountains: Quebrada Cojup, Huaraz - Perú

LUIS RUPERTO ALVARADO CÁCERES  <sup>1</sup>, y OSCAR ALVARADO MENDOZA  <sup>1</sup>

#### RESUMEN

El estudio propone el radio enlace, alimentado con energía solar fotovoltaica, utilizando radios inalámbricos, permitiendo la transmisión de datos para sensores ubicados en alta montaña en la Quebrada Cojup. Para el diseño se utilizó el simulador de Ubiquiti, verificando las coordenadas de las estaciones radio eléctricas, evaluando las líneas de vista entre las estaciones separadas.

La distancia total entre la Estación Base B y la Estación Sensor S es de 23.852 Kilómetros aproximadamente, con 04 radio enlaces, en la banda libre de 5,8GHz. Este sistema permite una operación continua de 24 horas con bajos niveles de energía de radiación solar, adicionalmente puede soportar video cámaras HD, IP.

**Palabras clave:** alta montaña; radio enlace; sensores; transmisión de datos.

#### ABSTRACT

The study proposes the radio link, powered by photovoltaic solar energy, using wireless radios, allowing the transmission of data to sensors located in high mountains in the Quebrada Cojup.

<sup>1</sup>Universidad Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz, Perú.

<sup>1</sup>Universidad Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz, Perú.

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Aporte Santiaguino de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite: **Compartir-copiar** y **redistribuir** el material en cualquier medio o formato, **Adaptar-remezclar**, **transformar y construir** a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente.

For the design, the Ubiquiti simulator was used, verifying the coordinates of the electric radio stations, evaluating the lines of sight between the separate stations. The total distance between Base Station B and Sensor Station S is approximately 23,852 Kilometers, with 04 radio links, in the free 5,8Ghz band. This system allows a continuous operation of 24 hours with low levels of solar radiation energy, additionally it can support HD, IP video cameras.

**Keywords:** high mountain; radio link; sensors; data transmission.

## INTRODUCCIÓN

El sistema inalámbrico es una alternativa para la conectividad de sensores automáticos de alta montaña, pudiendo conformar una red de sensores inalámbricos WSN en el futuro. En la actualidad el problema es que Huaraz no tiene un sistema de transmisión de datos para recoger información en tiempo real de la Quebrada Cojup, sobre todo de la Laguna Palcaco-cha que es peligro latente que podría ocasionar el desborde de esta laguna, como lo sucedido con el aluvión del 13 diciembre del año 1941; por lo que se justifica el estudio apoyando a futuras investigaciones científicas, con el objetivo de contar un sistema de transmisión de datos para capturar la información de sensores instalados en esta quebrada.

“Los enlaces son estructuralmente sistemas en serie, de tal manera que si uno falla se corta todo el enlace. Por ello se le exige una alta disponibilidad y confiabilidad utilizando la redundancia de equipos frente a las averías y técnicas de diversidad frente a los desvanecimientos. Esto también implica que es necesario sistemas de supervisión y control que realice automáticamente la aplicación de estas técnicas. Además las estaciones funcionan en forma no atendida, para la ejecución de la supervisión y conmutación al equipo de reserva, junto con la información útil se transmiten señales auxiliares de telemando y telesupervisión”(Cisco ,2017).

“La infraestructura o instalación que establece una red de canales o circuitos para conducir señales de voz, sonidos, datos, textos, imágenes u otras señales de cualquier naturaleza, entre dos o más puntos definidos por medio de un conjunto de líneas físicas, enlaces radioeléctricos ópticos o de cualquier tipo, así como por los dispositivos o equipos de conmutación asociados para tal efecto”(Osiptel ,2018).

Radio enlace, según [Osiptel \(2018\)](#) es: “Cualquier interconexión realizada entre los terminales

de telecomunicación mediante ondas electromagnéticas, a través de un medio no guiado”.

Según [Alvarado Cáceres, \(2019\)](#) “El objetivo fundamental de un sistema electrónico de telecomunicaciones, es transferir información de un lugar a otro. Por consiguiente, se puede decir que las comunicaciones electrónicas son la trasmisión, recepción y procesamiento de información entre dos o más lugares, mediante circuitos electrónicos”.

El sensor de proximidad ultrasónico HC-SR04 forma parte de la Plataforma Arduino con el cual se ha desarrollado un prototipo autónomo capaz de adquirir datos del nivel de agua de la Laguna Palcacocha, exporta un archivo de texto (.txt) el cual se podrá transmitir inalámbricamente hacia la Estación Base en tiempo real.

Para el diseño del sistema de transmisión de datos se utilizó el simulador de Ubiquiti, verificando las coordenadas de las estaciones radioeléctricas, evaluando las líneas de vista entre las estaciones separadas. La distancia total entre la Estación Base B y la Estación Sensor S es de 23.852 Kilómetros aproximadamente, con 04 radioenlaces para la mejor alternativa.

El sistema de transmisión de datos inalámbrico se diseñó en la banda libre de 5,8GHz, con equipos ODU (unidad de datos externo) para conexiones punto a punto, tecnología OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales) y tecnología MIMO (múltiple entrada y múltiple salida) con antenas sectoriales. Los sistemas incorporan tecnologías de punta, para permitir una operación continua de 24 horas durante 01 día con bajos niveles de radiación solar. Adicionalmente el sistema puede transmitir datos de video cámaras HD IP.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Tipo de investigación, es de enfoque cuantitativo, toda vez que se apoya en la recolección de datos a través de métodos estadísticos con el propósito de validar hipótesis. Al respecto [Hernández, Fernández & Baptista \(2014\)](#) define que: “Enfoque cuantitativo, usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías”.

Según los lineamientos de la investigación se inclina a un tipo básico, considera según [Hernández, Fernández & Baptista \(2014\)](#), como el uso de teorías existentes para fundamentar y respaldar

una investigación, además de brindar recomendaciones que ayuden a mejorar las debilidades percibidas por los integrantes de la muestra de estudio.

## **Población y muestra**

### **Población**

Según [Hernández, Fernández & Baptista \(2014\)](#), define “población como un conjunto de casos que poseen características similares”. Por ello, la población en el presente estudio estuvo constituida por el área urbana de Huaraz que es de aproximadamente 63,721 habitantes. Según proyecciones del ([INEI, 2020](#)).

### **Muestra**

De la fórmula

$$n = \frac{N * z^2 * p * q}{(N - 1) * e^2 + z^2 * p * q}$$

Dónde:

$n$  = Muestra

$N$  = Población 63,721

$Z$  = Nivel de confianza 1,65

$e$  = Error de estimación 0,1

$p$  = Probabilidad de éxito 0,5

$q$  = probabilidad de fracaso 0,5

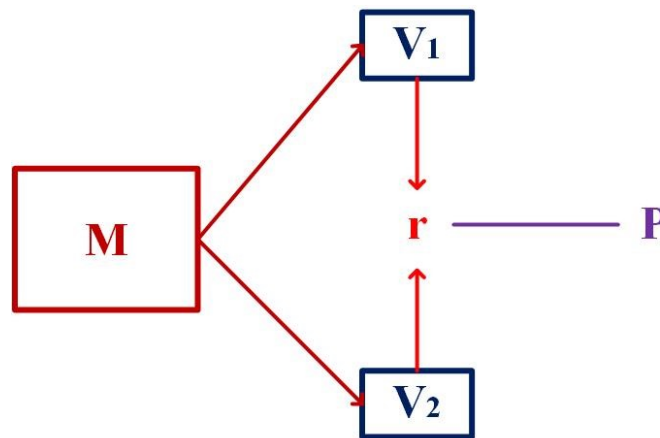
Por lo tanto, la muestra seleccionada  $n = 68$  habitantes.

Diseño de la investigación, es no experimental, porque “no hay manipulación de ninguna variable, los datos se obtienen de manera espontánea, transversal, porque los datos de ambas variables se recogen en un solo momento y correlacional, porque se estableció la relación estadística de las variables”([Hernández, Fernández & Baptista, 2014](#)).

En ese sentido, el estudio se refiere a la relación entre Radio enlace autónomo y Transmisión de datos para sensores en alta montaña, cuyo esquema es el siguiente:

**Figura 1**

*La relación entre Radio enlace autónomo y Transmisión de datos para sensores en alta montaña*



Dónde:

M: Muestra de investigación.

V1: Radio enlace autónomo.

V2: Transmisión de datos para sensores en alta montaña.

r: Relación entre variables.

P: Propuesta de diseño de radio enlace autónomo.

Técnicas para la recolección de datos, mediante Encuesta, y como instrumento de medición el cuestionario que operacionaliza las variables objeto de investigación. Las preguntas del cuestionario son según su contestación: cerrada, categorizada y valorizada. Pregunta de escala de clasificación es nominal. El instrumento se divide en dos partes: La primera parte integrada por preguntas vinculadas a medir la variable: Radio enlace autónomo, en la cual cada pregunta tiene como alternativas de respuesta, las opciones: Conoce bastante, Conoce algo, Neutral, Desconoce y Total desconoce. La segunda parte conformada por preguntas relacionadas a la variable: Transmisión de datos para sensores en alta montaña, en la cual cada pregunta tiene como alternativas de respuesta, las opciones: Conoce bastante, Conoce algo, Neutral, Desconoce y Total desconoce.

### **Validez y confiabilidad de los instrumentos**

Validez: Según [Bernal Torres \(2010\)](#), “Un instrumento de medición es válido cuando mide para qué está destinado”. Es importante tener en cuenta que dicha validación estará sujeta a evaluación por parte de expertos que determinarán su evaluación de la recopilación de información. Por lo tanto, el profesional que evalúa es un metodólogo y responde a los requisitos propuestos en la investigación. La validez del estudio fue dada por tres expertos.

Confiabilidad: Para la confiabilidad del instrumento se empleó una prueba piloto a razón de 30 pobladores sujetos de estudio, en base a la muestra determinada, siendo 1 sujeto por muestra, con la aplicación de un cuestionario de 27 preguntas, a una confiabilidad del 90 % ( $z = 1,65$ )

Resultado de la prueba de confiabilidad aplicada, con prueba piloto de 30 participantes, los cuales respondieron los cuestionarios presentados, obteniéndose lo siguiente:

**Tabla 1**

*Estadística de confiabilidad, variable radio enlace autónomo.*

Número de elementos	Alfa de Cronbach
30	0,945

**Tabla 2**

*Estadística de confiabilidad, variable transmisión de datos para sensores en alta montaña.*

Número de elementos	Alfa de Cronbach
30	0,845

El procesamiento de los datos consistió en el control de calidad, ordenamiento, clasificación, tabulación y gráficos de datos.

La escala polinómica, donde se ha establecido para cada pregunta del cuestionario, el entrevistado responderá las alternativas.

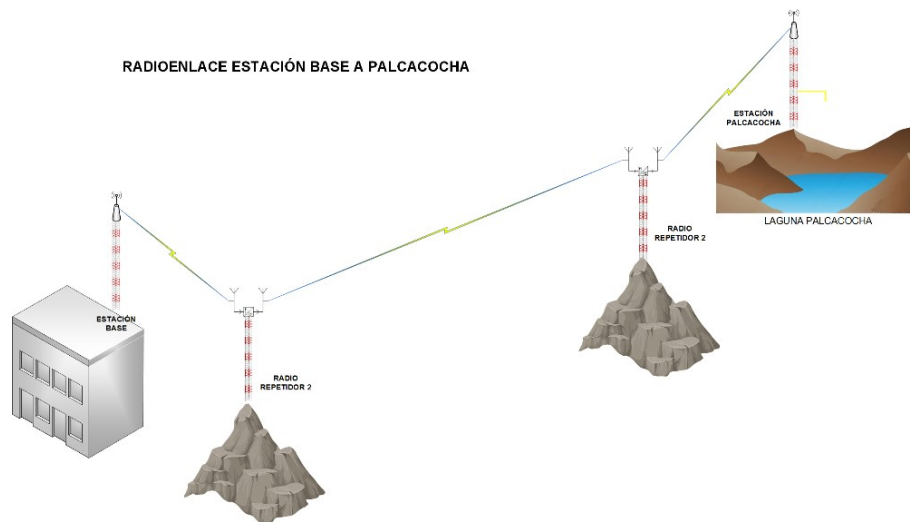
Para el análisis de datos se utilizó la estadística descriptiva, mediante la formulación de tablas de frecuencias o histogramas para cada pregunta, que arrojó porcentajes para los resultados, permitiendo establecer las interpretaciones de dichos resultados y presentar los mismos mediante gráficos o histogramas. Coeficiente de confiabilidad Alfa de Cronbach. Tabla de frecuencias.

## RESULTADOS

### Topología de la red de transmisión de datos

**Figura 2**

*Red de transmisión de datos desde la ciudad de Huaraz a la Laguna Palcacocha*



### Diseño de la red de transmisión de datos

Las estaciones de radiocomunicaciones que conformarán la red de transmisión de datos, estarán ubicadas en las siguientes coordenadas ver tabla 3. La estación B, servirá como Base de las radiocomunicaciones. La frecuencia de operación para las estaciones radioeléctricas es de 5,8 GHz.

**Tabla 3**

*Las coordenadas de las estaciones de radiocomunicaciones*

Estación	Descripción	Latitud	Longitud
B	Base-Huaraz	-9,528811	-77,526699
REP1	C. Rataquenua	-9,540818	-77,509978
REP2	Quebrada Cojup	-9,412873	-77,382327
REP3	Laguna Palcacocha	-9.399814	-77,384275
S	Sensor-Palcacocha	-9,399678	-77,383089

**Tabla 4**

*Altura de las antenas y distancias entre estaciones de radiocomunicación*

Estación	Descripción	Altura antena	Distancia
B	Base	9 m	0
REP1	C. Rataquenua	9 m	2,30 Km
REP2	Quebrada Coiup	6 m	19,96 Km
REP3	Laguna Palcacocha	9 m	1,46 Km
S	Sensor-Palcacocha	1 m	132 m

### **Estudio de la línea de vista por enlace**

**Radio enlace B - REP1.** RX signal strength (fuerza de la señal de Recepción) - 55,68dBm. Capacidad total de transmisión de datos a 60.55 Mbps. Modulación QAM. Distancia de línea de enlace 2,30Km.

**Radio enlace REP1 - REP2.** RX signal strength (fuerza de la señal de Recepción) - 74,43dBm. Capacidad total de transmisión de datos a 36.40 Mbps. Modulación QAM. Distancia de línea de enlace 19,96Km.

**Radio enlace REP2 - REP3.** RX signal strength (fuerza de la señal de Recepción) -45.72 dBm. Capacidad total de transmisión de datos a 60.55 Mbps. Modulación QAM. Distancia de línea de enlace 1,46Km.

**Radio enlace REP3 - S.** RX signal strength (fuerza de la señal de Recepción) -24.90 dBm. Capacidad total de transmisión de datos a 60.55 Mbps. Modulación QAM. Distancia de línea de enlace 132 m.

Consumo de potencia de Radio: En las Estación Radio eléctrica de: Rataquenua, Cojup, Palcacocha y Sensor.

### **Cálculo de la energía consumida**

Se utiliza:  $E_{consumida} = P_{consumida} * T_{funcionamiento}$



*Luis Ruperto Alvarado Cáceres y Oscar Alvarado Mendoza*

Datos de entrada: Datos de entrada: Autonomía 24 Horas, Potencia máxima 9,11 W y Econsumida 218,32 Wh.

### **Cálculo de panel solar**

Se utiliza:

$$P_{\text{panel}} = E_{\text{consumida}} * 1,1 / \text{Horas Radiación } 1000W$$

Considerando una relación de energía generada y consumida de 1,1 y el valor histórico del mes más bajo. Horas de radiación normalizada a 1000 W requerida 5,5 h/ día  $\times m^2$ . en Huaraz, relación energía generada y consumida 1,1,  $P_{\text{panel}} 43,70 \text{ W}_p$

Se busca un panel fotovoltaico policristalino comercial: Vitron, SHS5036P, 50W-12V Mono  $780 \times 670 \times 35 \text{ mm}$   $50W_p$ ,  $P_{\text{panel}} \text{ policristalino comercial } 50 \text{ W}_p$

### **Cálculo de la capacidad de la Batería**

Para calcular la autonomía del sistema, se determina la capacidad de la batería con:

$$C_{\text{Batería}} = E_{\text{consumida}} * N^{\circ} \text{ días autonomía} / \text{Profundidad descarga} * \text{Tensión Batería}$$

Datos de entrada: Econsumida 218,52 Wh,  $N^{\circ}$  días-autonomía 1 días, Profundidad-descarga-batería 0,7, Tensión Batería 24 V, C batería 13,01Ah. Se requiere que la batería seleccionada sea mayor que la capacidad calculada. En este caso se escoge la batería: Opalux, DH-24140 Batería Seca 24V, 15AH 15 Ah.

### **Cálculo del Regulador de voltaje**

La selección del regulador se realiza considerando la corriente que necesita ser regulada donde está siempre será menor a 5 Amperios:  $P_{\text{panel}} \text{ policristalino comercial } 50 \text{ W}_p$ , Tensión Batería 24 V y I regulador 2,08 Amp. En este caso se escoge el regulador de voltaje: Regulador STECA-SOLSUM 2 Amp.

**Tabla 5**

*Frecuencias porcentuales variable Radio enlace autónomo.*

Niveles	Habitantes	%
Bajo	13	19,1
Medio	51	75,0
Alto	4	5,9
Total	68	100

**Tabla 6**

*Frecuencias porcentuales variable Transmisión de datos para sensores en alta montaña.*

Niveles	Habitantes	%
Bajo	12	17,6
Medio	52	76,5
Alto	4	5,9
Total	68	100

**Tabla 7**

*Tabla cruzada de variables Radio enlace autónomo y Transmisión de datos para sensores en alta montaña*

		Radio enlace autónomo.			Total
		Bajo	Medio	Alto	
Transmisión de datos para sensores en alta montaña.	Bajo	Recuento	6	0	12
		% del total	8,8 %	0,0 %	17,6 %
	Medio	Recuento	43	2	52
		% del total	63,2 %	2,9 %	76,5 %
	Alto	Recuento	2	2	4
		% del total	2,9 %	2,9 %	5,9 %
Total	Recuento	13	51	68	
	% del total	19,1 %	75,0 %	100,0 %	

### Hipótesis general

**H<sub>0</sub>:** No existe relación significativa entre las variables Radio enlace autónomo y Transmisión de datos para sensores en alta montaña.

**H<sub>1</sub>:** Existe relación significativa entre las variables Radio enlace autónomo y Transmisión de datos para sensores en alta montaña.

**Tabla 8**

*Correlación que existe entre las variables Radio enlace autónomo y Transmisión de datos para sensores en alta montaña*

			Transmisión de datos para sensores en alta montaña	Radio enlace autónomo.
Rho de Spearman	Transmisión de datos para sensores en alta montaña	Coefficiente de correlación	1,000	,595**
		Sig. (bilateral)	-	,000
		N	68	68
	Radio enlace autónomo	Coefficiente de correlación	,595**	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	-
		N	68	68

\*\* La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

## DISCUSIÓN

En relación a la hipótesis general  $H_i$ : Existe relación significativa entre las variables Radio enlace autónomo y Transmisión de datos para sensores en alta montaña. Validándose con los datos de la Tabla, se describe una correlación positiva media con un valor de 0,595 ; con lo que se considera que radio enlace autónomo tiene una correlación con Transmisión de datos para sensores en alta montaña, datos con lo que se confirma la hipótesis general, con significancia menor a 0.01. Asimismo, se observa que la percepción de los encuestados de ambas variables es 63,2 % es de nivel medio.

Datos que tienen relación con [UNESCO \(2016\)](#), que define a "los sistemas automatizados se utilizan instrumentos tecnológicos como radio enlace, satélites, sensores remotos, redes telemétricas y otros que permiten transmitir información directa desde los equipos de medición hasta los centros de análisis y de toma de decisión".

De la experiencia del investigador, con respecto a radio enlace autónomo, son sistemas de telecomunicaciones inalámbricos entre estaciones radioeléctricas fijos, que proporcionan una capacidad de transmisión de datos, voz y video con características de calidad y disponibilidad, utilizando energía solar fotovoltaico.

De lo expuesto podemos inferir que Radio enlace autónomo tiene una relación positiva con Transmisión de datos para sensores en alta montaña, sustentada con los resultados obtenidos y los antecedentes analizados.

## **CONCLUSIONES**

Se concluye que, existe una relación estadísticamente significativa media entre el radio enlace autónomo y Transmisión de datos para sensores en alta montaña. Asimismo, se ha comprobado que la relación entre las variables es positiva ( $Rho = 0,595$ ). Se concluye que, existe una relación estadísticamente significativa media entre el radio enlace autónomo y el aviso de Transmisión de datos para sensores en alta montaña. Asimismo, se ha comprobado que la relación es positiva ( $Rho = 0,658$ ). Se concluye que, existe una relación estadísticamente significativa baja entre el radio enlace autónomo y la respuesta de Transmisión de datos para sensores en alta montaña. Asimismo, se ha comprobado que la relación es positiva ( $Rho = 0,445$ ).

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Alvarado Cáceres, L. (2019). *Sistemas de Telecomunicaciones Electrónicas: Una visión sistémica*. Port Louis, Mauritius : Editorial Académica Española.
- Bernal Torres, C. A. (2010). *Metodología de la investigación, administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. Colombia: Pearson Educación de Colombia Ltda.
- Cisco, P. (2017). *Cisco Visual Networking Index: Forecast and Trends, 2017-2022*. Obtenido de Cisco Visual Networking Index: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white-paper-c11-741490.pdf>
- Hernández, R.; Fernández, C., y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación*. México DF: Mac GrawHill.

*Luis Ruperto Alvarado Cáceres y Oscar Alvarado Mendoza*

INEI. (2020). *Perú: Proyecciones de Población, Según Departamento, Provincia y Distrito, 2018-2020*. Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática.

Osiptel. (2018). *Glosario de términos de telecomunicaciones en el Perú*. Lima: Editora Imprenta Rios S.A.C.

UNESCO. (2016). *Manual de sistema de alerta temprana*. San José de Costa Rica: Unesco.

Fecha de recepción: 05/04/23

Fecha de aceptación: 06/06/23

**Correspondencia**

Luis Ruperto Alvarado Cáceres

lalvaradoc@unasam.edu.pe