

# ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO LAS PEÑAS 2 Y SU LÍNEA DE TRANSMISIÓN 230 KV

**Elaborado para:**  
HIDROLASPEÑAS S.A.S.

**Elaborado por:**  
INGEA INGENIERIA Y GESTION  
AMBIENTAL S.A.S.



AGOSTO, 2024

## **CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE LAS ACTIVIDADES DEL PROYECTO**

## CONTENIDO

CAPÍTULO 2.....	2-1
2. ALTERNATIVAS DEL PROYECTO .....	2-1
2.1. METODOLOGÍA.....	2-1
2.2. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.....	2-3
2.3. CRITERIOS DE DECICIÓN .....	2-5
2.4. RESULTADOS .....	2-7
2.4.1. Ponderación de criterios .....	2-7
2.4.2. Ponderación de alternativas .....	2-8
2.4.3. Jerarquización de alternativa.....	2-9

## FIGURAS

Figura 2-1. Alternativas del proyecto .....	2-3
---	-----

## GRÁFICOS

No se encuentran elementos de tabla de ilustraciones.

## TABLAS

Tabla 2-1. Escala de comparación por pares. ....	2-1
Tabla 2-2. Ejemplo de matriz de comparación por pares.....	2-2
Tabla 2-3. Características de los criterios de decisión .....	2-5
Tabla 2-4. Criterios de asignación de puntaje.....	2-6
Tabla 2-5. Matriz normalizada y ponderación de criterios .....	2-7
Tabla 2-6. Matriz de valoración de alternativas.....	2-8
Tabla 2-7. Matriz normalizada de valoración de alternativas .....	2-9
Tabla 2-8. Matriz jerarquización de alternativas .....	2-9

## CAPÍTULO 2

### 2. ALTERNATIVAS DEL PROYECTO

#### 2.1. METODOLOGÍA

Se empleó el proceso analítico jerárquico (AHP), desarrollado por Saaty en 1980 y ampliamente reconocido, para evaluar y determinar la alternativa más viable para el proyecto. Este método multicriterio es eficaz en la resolución de problemas complejos de toma de decisiones que involucran múltiples criterios o soluciones, como señalan Djokanovic et al. (2016).

Para evaluar los criterios, se elaboró una matriz de comparación por pares, considerada la fase más crucial del AHP según Tüdeş & Kumlu (2017). Esta comparación se realiza utilizando una escala del 1 al 9 para determinar el grado de importancia de cada criterio (ver siguiente tabla).

Tabla 2-1. Escala de comparación por pares.

IMPORTANCIA	DEFINICIÓN
1	Igual importancia
3	Importancia moderada
5	Importancia grande
7	Importancia muy grande
9	Importancia extrema
2, 4, 6 y 8	Valores intermedios entre los anteriores

Fuente: Saaty (2008)

En esta matriz, cada criterio de la primera columna (numeradores) se compara con cada uno de los criterios de la primera fila (denominadores) como se puede observar en la siguiente tabla, siempre teniendo en cuenta su importancia relativa. Cuando los criterios comparados son idénticos, por ejemplo,  $C1$  con  $C1$ , su importancia se asigna como 1. Sin embargo, al comparar  $C1$  con  $C2$  (criterios distintos), es necesario determinar cuál de los dos criterios se considera más importante y asignar los valores correspondientes según lo establecido en la Tabla anterior. Además, en la matriz debe existir reciprocidad; es decir, si  $C12 = x/1$ , entonces  $C21 = 1/x$ .

Tabla 2-2. Ejemplo de matriz de comparación por pares

		DENOMINADOR				
	Criterio	$C_1$	$C_2$	$C_3$	....	$C_n$
NUMERADOR	$C_1$	$C_{11}$	$C_{12}$	$C_{13}$	....	$C_{1n}$
	$C_2$	$C_{21}$	$C_{22}$	$C_{23}$	....	$C_{2n}$
	$C_3$	$C_{31}$	$C_{32}$	$C_{33}$	....	$C_{3n}$
	....	....	....	....	....	....
	$C_m$	$C_{m1}$	$C_{m2}$	$C_{m3}$	....	$C_{mn}$

Elaborado por: Equipo consultor, 2024

Después de completar la matriz de comparación por pares, se suman los valores de cada columna. Luego, se divide cada elemento de la matriz por la suma total de su respectiva columna. Esta versión ajustada de la matriz se conoce como matriz normalizada. Finalmente, para determinar el peso de cada criterio, se calcula el promedio de los elementos de cada fila de la matriz normalizada (Saaty, 2008). Para expresar los pesos en porcentaje, simplemente se multiplica por 100.

Para verificar la consistencia de la matriz construida con los valores asignados, se calcula el índice de consistencia, el índice aleatorio y la razón de consistencia. Estos se miden mediante las ecuaciones proporcionadas por Saaty en 1980.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

$$RI = \frac{1,98 (n - 2)}{n}$$

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Donde:

CI: Índice de consistencia

RI: Índice de consistencia aleatoria

CR: Razón de consistencia

n: número de columnas de la matriz o número de criterios en la matriz

Para que los pesos obtenidos de cada criterio puedan ser utilizados en el análisis, la matriz debe ser consistente; para ello CR debe ser menor a 0,1 (Saaty, 1980).

## 2.2. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Se mantiene constante la ubicación de la estructura de captación, conducción y tanque de carga, mientras se exploraron distintas configuraciones para el trazado de la tubería de presión y la casa de máquinas. Este enfoque buscaba garantizar la viabilidad del acceso, la altura necesaria para la generación de energía y la eficiente evacuación de la energía producida. En este contexto, se analizan dos alternativas diferentes, y ambas fueron sometidas a una evaluación exhaustiva que se basó en la experiencia y el conocimiento técnico del equipo multidisciplinario.

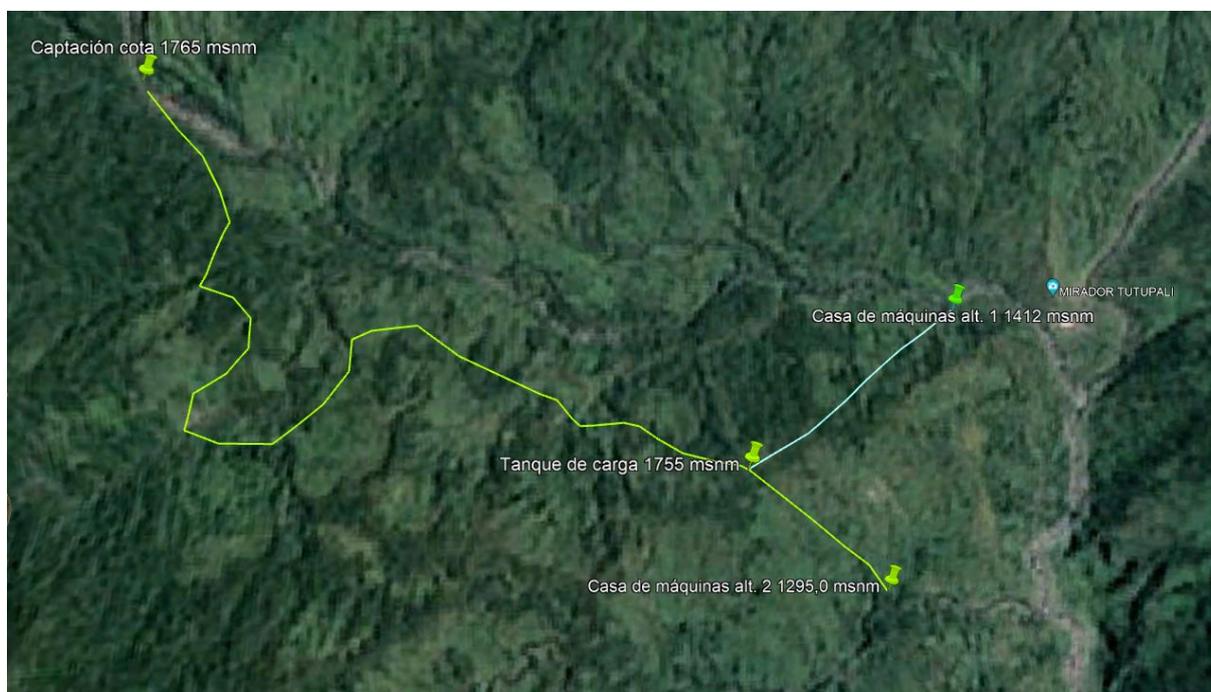


Figura 2-1. Alternativas del proyecto  
Fuente: HIDROLASPEÑAS S.A.S., 2023.

Ver ANEXO 10.4. Mapas temáticos - 30\_Mapa de alternativas.

### Alternativa 1

Manteniendo el mismo punto de captación o estructura de toma de agua, se ha planteado la construcción de un canal de conducción de 6,05 kilómetros que llevará el agua hasta un tanque de carga. Posteriormente, se instalará una tubería de presión con una longitud de 1,21 kilómetros y una caída neta de 337,60 metros para transportar el agua hasta la casa de máquinas. Esto asegura que no se afecten áreas propensas a deslizamientos y que el caudal sea suficiente para obtener un factor de planta superior al 0,70, lo que garantiza una generación de energía constante.

La línea de transmisión eléctrica se implantará siguiendo el margen derecho del río Yacuchingari. En el área del proyecto, la vegetación predominante consiste en tierras utilizadas principalmente para la agricultura y la ganadería, indicando una influencia humana en la zona. Además, en la trayectoria del proyecto, se encuentran solamente unos pocos asentamientos humanos. La longitud total de la línea de transmisión es de aproximadamente 76,41 kilómetros hasta llegar a la Subestación Bomboiza.

La elección de la ubicación de estas infraestructuras se basa en una evaluación integral que toma en consideración aspectos técnicos, ambientales y sociales del entorno. Estos incluyen análisis de geología, geotecnia, topografía, identificación de áreas propensas a deslizamientos, evaluación del tipo de vegetación existente y consideración de los asentamientos humanos presentes en la zona. El propósito principal es minimizar cualquier posible conflicto social, ya que la ruta de la línea de transmisión eléctrica pasa por áreas escasamente habitadas.

## **Alternativa 2**

Tanto en la opción previa como en esta alternativa, se mantiene el mismo punto de captación de agua. Se propone la construcción de un canal de conducción de 6,06 kilómetros de longitud que conducirá el agua hasta un tanque de carga. A continuación, se instalará una tubería de presión que abarcará 0,99 kilómetros y tendrá una caída neta de 461,61 metros, para transportar el agua hasta la casa de máquinas. Este diseño asegura que no se afecten áreas propensas a deslizamientos y que se pueda alcanzar un factor de planta superior al 0,70, lo que garantiza una producción de energía constante.

La línea de transmisión eléctrica se ubicará siguiendo el margen derecho del río Tutupali. En el área del proyecto, se caracteriza por la presencia de vegetación que en su mayoría ha sido modificada para la agricultura y la ganadería, indicando una influencia humana en la zona. Además, en el trayecto del proyecto se encuentran solamente unos pocos asentamientos humanos. La longitud total de la línea de transmisión se extiende aproximadamente 75,91 kilómetros hasta la Subestación Bomboiza.

La determinar la ubicación de estas infraestructuras se basa en una evaluación integral que toma en consideración aspectos técnicos, ambientales y sociales del entorno. Estos incluyen análisis de geología, geotecnia, topografía, identificación de áreas propensas a deslizamientos, evaluación del tipo de vegetación existente y consideración de los asentamientos humanos presentes en la zona. Este enfoque

busca minimizar posibles conflictos sociales y reducir el impacto en las comunidades locales, dado que la ruta de la línea de transmisión pasa por áreas escasamente habitadas.

### 2.3. CRITERIOS DE DECISIÓN

Para el estudio de alternativas del PROYECTO HIDROELÉCTRICO LAS PEÑAS 2 Y SU LÍNEA DE TRANSMISIÓN 230 KV, se establecieron criterios de toma de decisiones que abarcaban las siguientes características:

Tabla 2-3. Características de los criterios de decisión

CRITERIO	VARIABLE	DESCRIPCIÓN	ALTER 1	ALTER 2
Técnico	Caída neta	Altura total de la caída de agua desde el tanque hasta la casa de máquinas	337.60 m	461.61 m
	Longitud de la tubería de presión	Longitud total de la tubería desde el tanque de carga hasta la casa de máquinas	1.21 km	0.99 km
	Longitud de la línea de transmisión	Longitud total de la línea desde el proyecto hasta la subestación	76,41 km	75.91 km
	Pendiente	Pendiente del área destinada para la construcción de la tubería de presión y casa de máquinas	Fuerte (>40 – 70%)	Fuerte (>40 – 70%)
	Estabilidad geológica	Presencia de fallas geológicas	No muestran fallamiento local importante o de gran magnitud, así como también posee vulnerabilidad sísmica baja	

CRITERIO	VARIABLE	DESCRIPCIÓN	ALTER 1	ALTER 2
		en el área del proyecto		
Ambiental	Uso y cobertura vegetal	Cobertura vegetal del área del proyecto	Central hidroeléctrica Nivel 1.- Tierra agropecuaria Nivel 1.- Bosque Nivel 1. Cuerpo de agua Línea de transmisión Nivel 1.- Tierra agropecuaria Nivel 1.- Bosque Nivel 1. Cuerpo de agua Nivel 1.- Zona antrópica	
Socioeconómico	Costos	Coste total de inversión para la construcción y operación del proyecto	134.750.069	128.533.713
	Conflictividad social	Potencial de conflictos sociales con las comunidades locales	La línea de transmisión pasa por pocos lugares habitados además sus infraestructuras se encuentran a distancias considerables de las áreas pobladas.	

Fuente: HIDROLASPEÑAS S.A.S., 2023

Elaborado por: Equipo consultor, 2024

Considerando las características previamente mencionadas, se asignaron las siguientes puntuaciones a cada criterio de decisión.

Tabla 2-4. Criterios de asignación de puntaje

<b>CRITERIOS DE ASIGNACIÓN DE PUNTAJE</b>
---

CRITERIOS DE DECISIÓN	1	2	3
Técnica	La implementación de la alternativa se reduce significativamente tanto la eficiencia como la capacidad de generación de energía.	La implementación de la alternativa presenta limitaciones en la eficiencia y capacidad del proceso de generación de energía.	La implementación de la alternativa aumenta la eficiencia y capacidad del proceso de generación de energía.
Ambiental	Con la alternativa propuesta se generara una mayor alteración del hábitat natural del sector.	Con la alternativa propuesta se controlará y evitará una mayor alteración del hábitat natural del sector	Con la alternativa propuesta se generara una menor intervención hábitat natural.
Socioeconómico	Las inversiones requeridas sobrepasan en gran medida el costo asignado para el proyecto.	Las inversiones requeridas son razonables y están acorde al costo asignado del proyecto	Las inversiones necesarias son inferiores al presupuesto asignado para el proyecto.

Elaborado: Equipo consultor, 2024

## 2.4. RESULTADOS

### 2.4.1. Ponderación de criterios

Aplicando la metodología concebida por Saaty en 1980, se determinó la ponderación de los criterios, resultando en que, para este análisis de alternativas, el criterio técnico tiene el peso más alto con un 0,59 (59%), seguido del criterio Socioeconómico con un 0,25 (25%) y el Ambiental con un 0,16 (16%).

Tabla 2-5. Matriz normalizada y ponderación de criterios

CRITERIOS DE DECISIÓN	TÉCNICO	AMBIENTAL	SOCIOECONÓMICO	PONDERACIÓN
TÉCNICO	0,60	0,50	0,67	0,59

AMBIENTAL	0,20	0,17	0,11	0,16
SOCIOECONÓMIC O	0,20	0,33	0,22	0,25

Elaborado: Equipo consultor, 2024.

Con un índice de consistencia = 0,02

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

$$CI = 0,02$$

Índice de consistencia aleatoria = 0,66

$$RI = \frac{1,98 (n - 2)}{n}$$

$$RI = 0,66$$

Razón de consistencia = 0,04

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

$$CR = 0,04$$

El valor obtenido para la CR es inferior a 0,1, lo que indica, según Saaty, que la matriz es consistente y, por ende, los pesos obtenidos pueden ser empleados en el análisis.

#### 2.4.2. Ponderación de alternativas

Como se indicó previamente, en este análisis se tienen dos alternativas, a cada una de las cuales se les ha asignado una valoración por cada criterio. Los resultados obtenidos se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 2-6. Matriz de valoración de alternativas

CRITERIOS			
ALTERNATIVAS	TÉCNICA	AMBIENTAL	SOCIOECONÓMICO

ALTERNATIVA 1	2,00	1,00	1,00
ALTERNATIVA 2	3,00	2,00	2,00
SUMA	5,00	3,00	3,00

Elaborado: Equipo consultor, 2024

Tabla 2-7. Matriz normalizada de valoración de alternativas

CRITERIOS ALTERNATIVAS	TÉCNICA	AMBIENTAL	SOCIOECONÓMICO
ALTERNATIVA 1	0,40	0,33	0,33
ALTERNATIVA 2	0,60	0,67	0,67

Elaborado: Equipo consultor, 2024

### 2.4.3. Jerarquización de alternativa

En la siguiente tabla se presenta el resultado obtenido del proceso analítico jerárquico obtenido al sumar el producto de la ponderación de los criterios por la calificación asignada a cada alternativa:

Tabla 2-8. Matriz jerarquización de alternativas

CRITERIOS ALTERNATIVAS	TÉCNICA	AMBIENTAL	SOCIOECONÓMICO	PONDERACIÓN	PORCENTAJE (%)
ALTERNATIVA 1	0,24	0,05	0,08	0,37	37
ALTERNATIVA 2	0,35	0,11	0,17	0,63	63
TOTAL				1,00	100

Elaborado: Equipo consultor, 2024.

La anterior tabla, revela el análisis exhaustivo de las dos alternativas, considerando criterios técnicos, ambientales y socioeconómicos. Se destaca que la alternativa 2 ofrece un beneficio técnico superior debido a una caída neta del agua más favorable, lo que garantiza una mayor eficiencia y capacidad de generación de energía. Por el contrario, la alternativa 1 presenta una caída neta menor, lo que limita su eficiencia y capacidad de generación de energía. Además, la longitud de la tubería de presión y línea de transmisión son más extensa en la alternativa 1 en comparación con la alternativa 2.

En cuanto a las facilidades de acceso para la instalación de la tubería de presión y la casa de máquinas ambas alternativas, 1 y 2, cuentan con una vía existente, pero esta no llega hasta los sitios de implantación de las infraestructuras. Por lo tanto, será necesario abrir nuevos caminos de acceso. En este caso, la alternativa 2 está más cerca de la vía existente, lo que implica una menor intervención en el área. En cambio, los caminos para la alternativa 1 serán más largos, lo cual podría ocasionar complicaciones adicionales durante la ejecución del proyecto. Esto, sumado a la necesidad de una mayor inversión financiera y a un impacto ambiental más significativo debido a la apertura de nuevos caminos, podría resultar en la eliminación de vegetación y cambios en el uso del suelo.

En base a lo antes mencionado, se ha establecido que la alternativa más viable es la 2.