





Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

CONSULTORIA DE EVALUACIÓN DE RECURSO Y ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA PEQUEÑA HIDROELECTRICA REALIZADO EN BELEBÚ (BIOKO-SUR)

CONTENIDO

| 1. | INTRODUCCIÓN | 9 | | | | | | |
|----|---|----|--|--|--|--|--|--|
| 2. | INFORMACIÓN BÁSICA | 10 | | | | | | |
| 3. | ESTUDIO HIDROLÓGICO | | | | | | | |
| | 3.1. CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA | 11 | | | | | | |
| | 3.2. ESTIMACIÓN DE LOS CAUDALES MEDIOS MENSUALES Y DEL CAUDAL PROMEDIO | 15 | | | | | | |
| | 3.2.1. ASPECTOS GENERALES | 15 | | | | | | |
| | 3.2.1. ESTIMACIÓN A TRAVÉS DE APLICACIÓN DE COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO | 17 | | | | | | |
| | 3.2.2. BALANCE HÍDRICO A NIVEL MENSUAL | 19 | | | | | | |
| | 3.2.1. REGIONALIZACIÓN DE CAUDALES | | | | | | | |
| | 3.2.2. MEDICIONES DE CAUDAL POR AFOROS | | | | | | | |
| | 3.2.3. CONCLUSIONES | | | | | | | |
| | 3.3. CURVA DE DURACIÓN DE CAUDAL | | | | | | | |
| | 3.1. CAUDALES MÁXIMOS ESPERADOS | | | | | | | |
| | 3.2. PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA | 25 | | | | | | |
| 4. | CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL PROYECTO | 25 | | | | | | |
| 5. | POSIBLES ASPECTOS QUE PODRÁN CONDICIONAR LOS PRESUPUESTOS DE PROYECTO | 33 | | | | | | |
| 6. | EVALUACIÓN DE LOS COSTES DEL PROYECTO | 34 | | | | | | |
| | 6.1. ASPECTOS GENERALES | 34 | | | | | | |
| | 6.2. COSTES DE INVERSIÓN | | | | | | | |
| | 6.2.1. ASPECTOS GENERALES | | | | | | | |
| | 6.2.2. COSTES DIRECTOS | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | 6.2.2.2. OBRAS CIVILES | | | | | | | |
| | 6.2.2.3. OTROS COSTES | | | | | | | |
| | 6.2.2.4. EQUIPOS E INSTALACIONES ELÉCTRICAS | 37 | | | | | | |
| | 6.2.2.5. INTERCONEXIÓN A LA RED SEGESA | 38 | | | | | | |
| | 6.2.2.6. ACCESOS | 38 | | | | | | |
| | 6.2.3. COSTES INDIRECTOS | 39 | | | | | | |
| | 6.2.4. RESUMEN DE LOS COSTES DE INVERSIÓN | 39 | | | | | | |
| | 6.3. COSTES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (O&M) | 40 | | | | | | |
| | 6.4. COSTES DE REPOSIONES INTERMEDIAS | 41 | | | | | | |
| 7. | EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO | | | | | | | |
| | 7.1. ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA ANUAL PRODUCIDA | | | | | | | |
| | 7.2. FACTOR DE PLANTA | | | | | | | |
| 8. | ANÁLISIS ECONÓMICO | 45 | | | | | | |
| 9. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 55 | | | | | | |
| 10 | . ESTUDIO DE IMPACTES AMBIENTALES | 57 | | | | | | |

| 10.1.1. | | |
|---|--|-------------------|
| | Localización geográfica del proyecto | 57 |
| 10.1.1. | | |
| 10.1.2. | Geología, geomorfología y suelos | 58 |
| 10.1.1. | Biodiversidad (fauna, flora y vegetación) | 59 |
| 10.1.1. | Recursos Hídricos | 61 |
| 10.1.1. | Calidad del aire | 63 |
| 10.1.2. | Ambiente Sonoro | 63 |
| 10.1.3. | Socio Economía | 63 |
| 10.1.1. | Ordenación territorial | 69 |
| 10.2. PRINC | IPALES IMPACTES DEL PROYECTO | 71 |
| 10.2.1. | Impactes potenciales en la fase de construcción | 72 |
| 10.2.1. | 1. Impactes potenciales en la fase de construcción: instalaciones mecánica | as, hidráulicas y |
| civiles | 72 | |
| 10.2.1. | 1. Impactes potenciales en la fase de construcción: instalaciones eléct | tricas (línea de |
| distrib | ución de media tensión) | 76 |
| 10.2.1. | Impactes potenciales en la fase de exploración | 78 |
| 10.2.1. | 1. Impactes potenciales en la fase de exploración: instalaciones mecánica | as, hidráulicas y |
| civiles | 78 | , |
| CIVIICS | 70 | |
| 10.2.2. | 2. Impactes potenciales en la fase de exploración: instalaciones eléctricas (línea | de distribución |
| de med | dia tensión) | 81 |
| | | |
| | | |
| 10.2.2. | · | |
| | AS DE MINIMIZACIÓN Y MEDIDAS DE POTENCIACIÓN | 83 |
| 10.3. MEDID 10.3.1. | AS DE MINIMIZACIÓN Y MEDIDAS DE POTENCIACIÓN | 83 83 |
| 10.3.1. 10.3.2. | AS DE MINIMIZACIÓN Y MEDIDAS DE POTENCIACIÓN | 83 83 87 |
| 0.3. MEDID 10.3.1. 10.3.2. | AS DE MINIMIZACIÓN Y MEDIDAS DE POTENCIACIÓN | 83 83 87 |
| 10.3. MEDID 10.3.1. 10.3.2. 10.3.2. | AS DE MINIMIZACIÓN Y MEDIDAS DE POTENCIACIÓN | |
| 10.3. MEDID 10.3.1. 10.3.2. 10.3.2. | AS DE MINIMIZACIÓN Y MEDIDAS DE POTENCIACIÓN | |
| 10.3. MEDIC 10.3.1. 10.3.2. 10.3.2. hidrául 10.3.2. | AS DE MINIMIZACIÓN Y MEDIDAS DE POTENCIACIÓN | |
| 10.3. MEDIC 10.3.1. 10.3.2. 10.3.2. hidrául 10.3.2. | AS DE MINIMIZACIÓN Y MEDIDAS DE POTENCIACIÓN Medidas para la fase de planificación y desarrollo del proyecto de ejecución Medidas sectoriales para la fase de construcción del proyecto 1. Medidas sectoriales para la fase de construcción del proyecto: instalacion icas y civiles 2. Medidas sectoriales para la fase de construcción del proyecto: instalacion del distribución de media tensión) Medidas sectoriales para la fase de exploración del proyecto | |
| 10.3. MEDID 10.3.1. 10.3.2. 10.3.2. hidrául 10.3.2 (línea d | AS DE MINIMIZACIÓN Y MEDIDAS DE POTENCIACIÓN Medidas para la fase de planificación y desarrollo del proyecto de ejecución Medidas sectoriales para la fase de construcción del proyecto 1. Medidas sectoriales para la fase de construcción del proyecto: instalacion icas y civiles 2. Medidas sectoriales para la fase de construcción del proyecto: instalacion del distribución de media tensión) Medidas sectoriales para la fase de exploración del proyecto Medidas sectoriales para la fase de exploración del proyecto | |
| 10.3. MEDID 10.3.1. 10.3.2. 10.3.2. hidrául 10.3.2. (línea d 10.3.3. 10.3.3. | AS DE MINIMIZACIÓN Y MEDIDAS DE POTENCIACIÓN Medidas para la fase de planificación y desarrollo del proyecto de ejecución Medidas sectoriales para la fase de construcción del proyecto 1. Medidas sectoriales para la fase de construcción del proyecto: instalacion icas y civiles 2. Medidas sectoriales para la fase de construcción del proyecto: instalacion del distribución de media tensión) Medidas sectoriales para la fase de exploración del proyecto | |
| 10.3. MEDID 10.3.1. 10.3.2. 10.3.2. hidrául 10.3.2 (línea d 10.3.3. 10.3.3. | AS DE MINIMIZACIÓN Y MEDIDAS DE POTENCIACIÓN Medidas para la fase de planificación y desarrollo del proyecto de ejecución Medidas sectoriales para la fase de construcción del proyecto 1. Medidas sectoriales para la fase de construcción del proyecto: instalacion icas y civiles 2. Medidas sectoriales para la fase de construcción del proyecto: instalacion del distribución de media tensión) Medidas sectoriales para la fase de exploración del proyecto 1. Medidas sectoriales para la fase de exploración del proyecto 1. Medidas sectoriales para la fase de exploración del proyecto: instalacion icas y civiles | |
| 0.3. MEDID 10.3.1. 10.3.2. 10.3.2. hidrául 10.3.2. (línea d 10.3.3. hidrául 10.3.3. | AS DE MINIMIZACIÓN Y MEDIDAS DE POTENCIACIÓN Medidas para la fase de planificación y desarrollo del proyecto de ejecución Medidas sectoriales para la fase de construcción del proyecto 1. Medidas sectoriales para la fase de construcción del proyecto: instalacion icas y civiles 2. Medidas sectoriales para la fase de construcción del proyecto: instalacion del distribución de media tensión) Medidas sectoriales para la fase de exploración del proyecto 1. Medidas sectoriales para la fase de exploración del proyecto: instalacion del distribución del proyecto: instalacion del proyecto: | |
| 10.3. MEDID 10.3.1. 10.3.2. 10.3.2. hidrául 10.3.2.3 (línea d 10.3.3. hidrául 10.3.3.3. | AS DE MINIMIZACIÓN Y MEDIDAS DE POTENCIACIÓN Medidas para la fase de planificación y desarrollo del proyecto de ejecución Medidas sectoriales para la fase de construcción del proyecto 1. Medidas sectoriales para la fase de construcción del proyecto: instalacion icas y civiles 2. Medidas sectoriales para la fase de construcción del proyecto: instalacion del distribución de media tensión) Medidas sectoriales para la fase de exploración del proyecto 1. Medidas sectoriales para la fase de exploración del proyecto: instalacion del | |
| 10.3. MEDIC 10.3.1. 10.3.2. 10.3.2. hidrául 10.3.2.3 (línea d 10.3.3. hidrául 10.3.3.3. de dist | AS DE MINIMIZACIÓN Y MEDIDAS DE POTENCIACIÓN Medidas para la fase de planificación y desarrollo del proyecto de ejecución Medidas sectoriales para la fase de construcción del proyecto Medidas sectoriales para la fase de construcción del proyecto: instalación icas y civiles Medidas sectoriales para la fase de construcción del proyecto: instalación del distribución de media tensión) Medidas sectoriales para la fase de exploración del proyecto Medidas sectoriales para la fase de exploración del proyecto: instalación icas y civiles Medidas sectoriales para la fase de exploración del proyecto: instalación icas y civiles Medidas sectoriales para la fase de exploración del proyecto: instalación icas y civiles Medidas sectoriales para la fase de exploración del proyecto: instalaciones ribución de media tensión) | |
| 10.3. MEDIE 10.3.1. 10.3.2. 10.3.2. hidrául 10.3.2. (línea c 10.3.3. hidrául 10.3.3. de dist 10.1. CONCIADJUNTOS | AS DE MINIMIZACIÓN Y MEDIDAS DE POTENCIACIÓN | |

| 11.1. | VIABILI | DAD ECONÓMICA DEL PROYECTO EN 25 AÑOS | 97 |
|-------|---------|---|------|
| 11.1. | PERFILI | ES DE CARGA | 98 |
| | 11.1.1. | PERFIL DE CARGA: % DE USO DE LOS EQUIPOS | . 98 |
| | 11.1.2. | PERFIL DE CARGA: % DE HORAS DE UTILIZACIÓN | . 99 |
| | 11.1.3. | PERFIL DE CARGA: POTENCIA ELÉCTRICA CONSUMIDA [W] | 100 |

TABLAS INSERTADAS EN EL TEXTO

| Tabla 1 - Coeficientes de escurrimiento mensuales estimados para el proyecto (Fuente: Karamage et | al, |
|--|-----|
| 2018) | .17 |
| Tabla 2 – Coeficientes de escurrimiento. Resultados medios anuales | .17 |
| Tabla 3 – Balance hídrico. Resultados anuales | .20 |
| Tabla 4 - Tiempos del recorrido por el flotador en cada aforo | .22 |
| Tabla 5 – Estimativas de la velocidad del agua y caudal en cada aforo | 23 |
| Tabla 6 - Precios unitarios adoptados en la presente evaluación | .36 |
| Tabla 7 – Tubería forzada (acero). Costes por metro lineal de tubería (incluyen suministro, transporte | э у |
| montaje) | .37 |
| Tabla 8 - Resumen de la evaluación de costes en función de la relación $Q/Q_{	ext{mod}}$. Escenario | Α |
| (Q _{mod,A} =0,3 m ³ /s). Valores en millones de XAF | 39 |
| Tabla 9 - Resumen de la evaluación de costes en función de la relación $Q/Q_{	ext{mod}}$. Escenario | В |
| (Q _{mod,B} =0,6 m ³ /s). Valores en millones de XAF. | .39 |
| Tabla 10 - Resumen de la evaluación de costes en función de la relación $Q/Q_{	ext{mod}}$. Escenario | C |
| (Q _{mod,C} =0,8 m³/s). Valores en millones de XAF | .39 |
| Tabla 11 – Evaluación de la energía anual producida de la PCH en función de la relación Q/Q _{mod} . Escena | rio |
| A (Q/Q _{mod,A} =0,3 m ³ /s) | .42 |
| Tabla 12 - Evaluación de la energía anual producida de la PCH en función de la relación Q/Q _{mod} . Escena | rio |
| B (Q/Q _{mod,B} =0,6 m ³ /s) | .43 |
| Tabla 13 - Evaluación de la energía anual producida de la PCH en función de la relación Q/Q _{mod} . Escena | rio |
| C (Q/Q _{mod,C} =0,8 m ³ /s) | .43 |
| Tabla 14 - Factor de planta y número de horas equivalentes a la potencia máxima en función de la relaci | ón |
| Q/Q _{mod} | .44 |
| Tabla 15 – Resultados obtenidos para la Escenario A (Q _{mod,A} =0,3 m³/s). Rango de valores para cada íte | m. |
| | .56 |
| Tabla 16 - Resultados obtenidos para la Escenario B (Q _{mod,B} =0,6 m³/s). Rango de valores para cada ítem. | 56 |
| Tabla 17 - Resultados obtenidos para la Escenario C (Q _{mod,C} =0,8 m³/s). Rango de valores para cada ítem. | .56 |
| Tabla 18 - Especies vulnerables presentes en la isla de Bioko cuya distribución cubre el área de proyec | cto |
| | .60 |
| Tabla 19 - Población de la isla de Bioko por serie censal 1983-2015 (habitantes) | .64 |
| | |
| Tabla 20 – Cantidad de hogares y tamaño medio de hogares en la isla de Bioko (2015) | .64 |
| Tabla 21 - Equipos consumidores de energía eléctrica, instalados en el Municipio de Belebú y Buemeri | ba |
| | .68 |

| Tabla 22 - Estimación | de consumo de energía eléc | trica del Municipio de | e Belebú y Buemeriba | 69 |
|-----------------------|------------------------------|------------------------|--------------------------|-----------|
| Tabla 23 – Informació | ón sobre las áreas protegida | as en la isla de Bioko | . Fuente: Atlas Forestal | de Guinea |
| Ecuatorial (INDEFOR A | AP. 2013 -MAGBMA) | | | 70 |

FIGURAS INSERTADAS EN EL TEXTO

| Figura 1 – Cuenca del proyecto en el sitio de la presa | 11 |
|--|-----------|
| Figura 2 – Relevo y hidrografía de la isla Bioko | 12 |
| Figura 3 – Precipitación media anual en la isla de Bioko | 13 |
| Figura 4 – Composición geológica | 14 |
| Figura 5 – Composición de los suelos | 15 |
| Figura 6 – Histograma mensual de la precipitación y de la temperatura en el sitio de la presa (períoc | do entre |
| 1991 a 2016) | 16 |
| Figura 7 – Histograma de los caudales medios mensuales en el sito de la presa a través de aplicació | n de los |
| coeficientes de escurrimiento | 19 |
| Figura 8 – Histograma de los caudales medios mensuales en el sito de la presa a través del balance | |
| Figura 9 - Curvas adimensional de duración de caudal obtenidas para el proyecto | |
| Figura 10 - Curva adimensional del rendimiento hídrico obtenidas para el proyecto | 25 |
| Figura 11 - Ubicación general del proyecto (Fuente: Google Earth) | 26 |
| Figura 12 - Tramos identificados para emplazamiento del proyecto de Belebu (Fuente: Google Eartl | h)27 |
| Figura 13 - Rio Voholo. Perfil longitudinal del lecho del rio (Fuente: SRTM 1 arc-segundo) | 28 |
| Figura 14 - Central hidroeléctrica a filo de agua, con circuito de derivación | (fuente: |
| https://es.slideshare.net/jorgegillaverde/06-centrales-hidroelctricas-pequea-escala1) | 29 |
| Figura 15 – Partes de una toma tirolesa (fuente: Criterios de Diseño y Construcción de Obras de Ca | ıptación |
| para Riego. Tomas Tirolesas, 2002) | 30 |
| Figura 16 – Circuito de derivación. Trazado en planta (Fuente: Google earth) | 31 |
| Figura 17 – Circuito de derivación. Trazado en perfil longitudinal (Fuente: SRTM 1 arc-segundo) | 31 |
| Figura 18 – Equipo e instalaciones eléctricas. Costes unitarios en función de la potencia instalada | 38 |
| Figura 19 - Análisis económico en función de la relación Q/Qmod, con r=10%. Escenario A (Q _{mod,A} =0, | |
| Figura 20 - Análisis económico en función de la relación Q/Qmod, con r=15%. Escenario A (Q _{mod,A} =0, | |
| | 47 |
| Figura 21 - Análisis económico en función de la relación Q/Qmod, con $r=20\%$. Escenario A $(Q_{mod,A}=0, Q_{mod,A}=0)$ | ,3 m³/s). |
| | 48 |
| Figura 22 - Análisis económico en función de la relación Q/Qmod, con r=10%. Escenario B (Q _{mod,B} =0, | ,6 m³/s). |
| | 49 |
| Figura 23 - Análisis económico en función de la relación Q/Qmod, con r=15%. Escenario B (Q _{mod,B} =0, | ,6 m³/s). |
| | 50 |

| Figura 24 - Análisis económico en función de la relación Q/Q mod , con $\operatorname{r=20\%}$. Escenario B ($\operatorname{Q}_{\operatorname{mod}}$) | $_{I,B}$ =0,6 m ³ /s). |
|---|-------------------------------------|
| | 51 |
| Figura 25 - Análisis económico en función de la relación Q/Q mod , con $\operatorname{r=10\%}$. Escenario C ($\operatorname{Q}_{\operatorname{mod}}$) | $_{,C}$ =0,8 m ³ /s). |
| | 52 |
| Figura 26 - Análisis económico en función de la relación Q/Q mod , con $\operatorname{r=15\%}$. Escenario C ($\operatorname{Q}_{\operatorname{mod}}$) | $_{,C}=0.8 \text{ m}^3/\text{s}$). |
| | 53 |
| Figura 27 - Análisis económico en función de la relación Q/Q mod , con $\operatorname{r=20\%}$. Escenario C ($\operatorname{Q}_{\operatorname{mod}}$) | $_{,C}$ =0,8 m ³ /s). |
| | 54 |
| Figura 28 – Vegetación alrededor del rio Voholo | 61 |
| Figura 29 - Rede Hidrográfica de la isla de Bioko, Guinea Ecuatorial. Fuente: Medical Care D | Development |
| International | 62 |
| Figura 30 - Rio Voholo | 62 |
| Figura 31 – Secador de cacao | 65 |
| Figura 32 – Visión general de la población de Belebú | 65 |
| Figura 33 – Puente en el rio Voholo | 66 |
| Figura 34 – Carretera principal que conecta Luba a Ureca | 66 |
| Figura 35 - Acceso peatonal en tierra al área de inserción del proyecto | 66 |
| Figura 36 – Potencia instalada por fuente de energía (Región Insular de Bioko). Fuente: Plane | o Desarrollo |
| Energías Renovables Guinea Ecuatorial 2018-2025 | 67 |
| Figura 37 – Generador existente en Belebú y línea de distribución de electricidad | 67 |
| Figura 38 – Dominio de conservación y cobertura de tierra en la isla de Bioko (2013). Fuente: A | tlas Forestal |
| de Guinea Ecuatorial (INDEFOR AP. 2013 -MAGBMA) | 69 |
| Figura 39 – Áreas protegidas en la isla de Bioko (2013). Fuente: Atlas Forestal de Guinea Ecuatori | al (INDEFOR |
| AP. 2013 -MAGBMA) | 70 |
| Figura 40 –Lugar de implementación del proyecto en el contexto de la isla de Bioko | 71 |

2. INTRODUCCIÓN

En la presente consultoría, solicitada por PNUD en el marco del Proyecto SE4ALL – Energías Renovables para Todos, proyecto que tiene como objetivo general la creación de un mercado para soluciones de energías renovables descentralizadas para las islas pequeñas y territorios remotos se ha analizado la Evaluación de Recursos Hídricos en Belebu.

Así fue analizada la prefactibilidad del emplazamiento de una pequeña central hidroeléctrica, (PCH), en el rio Voholo, al fin de conectarla a la red SEGESA más cercana del sitio.

No obstante, señalase que el enfoque inicial del proyecto era la construcción de una PCH para suministro de energía eléctrica de las populaciones de Belebu y Buemeriba, a través de una red aislada. Sin embargo, después de evaluadas las pendientes naturales de la línea de agua en estudio, se observó que habría potencial para reforzar el sistema eléctrico de la isla.

Así, se han considerado los siguientes presupuestos:

- i. Se asume que la red SEGESA podrá absorber cualquier cantidad de energía y de potencia que la PCH pueda suministrar todo el tiempo.
- ii. Se propone conectar la PCH a la red SEGESA más cercana del sitio, a saber, la subestación de Musola (33 kV SE Potau Musola), ubicada a 3 km de la casa de máquinas de la PCH. Para el efecto, se propone la construcción de una línea eléctrica entre la central y la subestación.

Se hará el suministro de energía a las poblaciones de Belebu y Buemerida a través de una nueva línea eléctrica entre la subestación de Musola (33 kV SE Potau Musola) y las referidas poblaciones. Para este propósito se prevé la construcción de una línea trifásica de 15kV, con unos 7 km de longitud, y con un costo alrededor de 150 000 € (este precio incluye también los transformadores MT/BT en la entrada de cada población, excluyéndose los costes con las redes de distribución). Cabe señalar que, en el presente estudio, el costo de esta línea no se ha englobado en los costes de inversión de la PCH, con objetivo de no penalizar su evaluación económica.

3. INFORMACIÓN BÁSICA

La siguiente información básica se utilizó en el desarrollo del estudio:

- i. Generales:
 - a. Anuario Estadístico de Guinea Ecuatorial. INEGE 2018.
 - b. Plan de Acción Nacional para el Desarrollo de las Energías Renovables (PANDER)
 2018-2025. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Bosques y Medioambiente y el
 Ministerio de Industria y Energía, 2018.
 - c. Plan de Acción Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PANA). Ministerio de Pesca y Medio Ambiente, 2013.
- ii. Topografía y ortofomapa:
 - a. Datos SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) con una resolución de arcosegundo.
 - b. Google Earth Pro.
- iii. Hidrología:
 - a. Datos de precipitación temperatura del portal del Climate Change Knowledge. 1
 - b. *Spatial Relationship between Precipitation and Runoff in Africa* (Karamage et al, 2018). ²

¹ Disponible: https://climateknowledgeportal.worldbank.org/download-data (consultado en: Junio 2019).

² Disponible: https://www.hydrol-earth-syst-sci-discuss.net/hess-2018-424/hess-2018-424.pdf (consultado en: Junio 2019).

4. ESTUDIO HIDROLÓGICO

4.1. CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA

La pequeña central hidroeléctrica (PCH) de Belebu se ubica en el rio Voholo, un afluente del rio Mussola.

En el sitio de la presa el lecho del rio se encuentra a la cota 295 msnm (metros sobre el nivel de mar) y tiene un área de drenaje de 11,5 km² (véase **Figura 1**). La evaluación del área de la cuenca en la sección de la presa se basó en datos de SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) con una resolución de 1 arco-segundo (≈ 30 m).

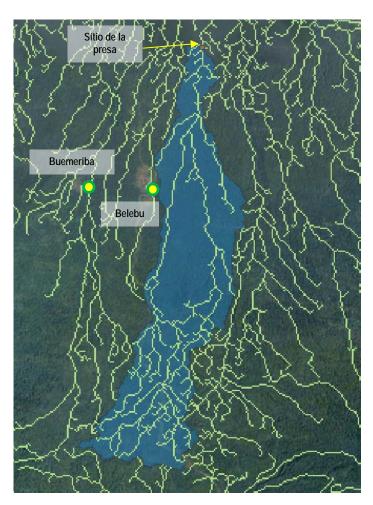


Figura 1 – Cuenca del proyecto en el sitio de la presa.

En la Figura 2 se presenta el relevo y la hidrografía de la isla de Bioko. Pico Basilé es el punto más alto de la isla de Bioko y Guinea Ecuatorial, con una altitud de 3 011 m.

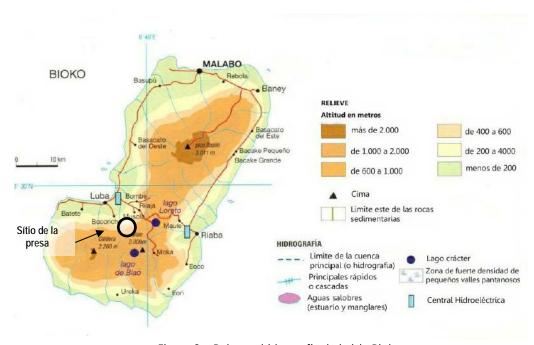


Figura 2 – Relevo y hidrografía de la isla Bioko

(Fuente: Anuario Estadístico de Guinea Ecuatorial, INEGE 2018).

Guinea Ecuatorial tiene un clima ecuatorial. Las regiones con este tipo de clima se caracterizan por tener lluvia en todos los meses del año, no se verificando la ocurrencia de una estación seca. En este tipo de clima los valores típicos de precipitación media anual son más de 2 000 mm y de la temperatura media anual alrededor de 25°C.

En la **Figura 3** se presenta la precipitación media anual en la isla de Bioko. Se observa que los valores promedios de precipitación son más elevados en la parte sur de la isla, zona donde se ubica el proyecto de Belebu.

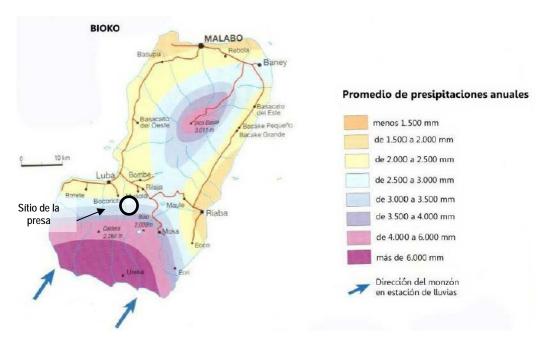


Figura 3 – Precipitación media anual en la isla de Bioko (Fuente: Anuario Estadístico de Guinea Ecuatorial, INEGE 2018).

A través de la figura anterior, en el sitio de la cuenca de la presa se estima una precipitación media anual alrededor 2 500 y los 3 500 mm. Señalase que la presa del proyecto se ubica en una zona en que los valores de precipitación son más altos.

En general la isla de Bioko presenta lluvia en todos los meses del año. Su estación principal se comprende en el período de marzo a octubre, que representa cerca el 85% del total de la precipitación anual, y presenta un periodo "poco lluvioso" en los restantes meses del año, lo que representa 15% del restante.

En la **Figura 4** se presenta la composición geológica de la isla de Bioko. Se observa que el proyecto se encuentra en una zona de rocas volcánicas y diversas y coladas basálticas.

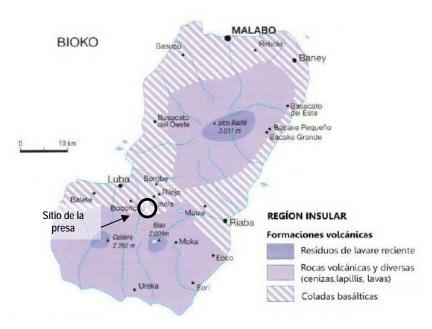


Figura 4 – Composición geológica

(Fuente: Anuario Estadístico de Guinea Ecuatorial, INEGE 2018).

Los suelos en la cuenca del proyecto son mayoritariamente constituidos por *Andosoles húmicos saturados en agua* y *Andosoles saturados en agua* conforme se puede observar a través de la **Figura 5**. Un andosol es un suelo que se denomina suelo de cenizas volcánicas y es de color negro. Posee un alto contenido de materia orgánica y tiene una alta capacidad de retención de agua. Sin embargo, en la cuenca del proyecto se refiere que los mismos se encuentran saturados, es decir que su capacidad de retención es nula.



Figura 5 - Composición de los suelos

(Fuente: Anuario Estadístico de Guinea Ecuatorial, INEGE 2018).

4.2. ESTIMACIÓN DE LOS CAUDALES MEDIOS MENSUALES Y DEL CAUDAL PROMEDIO

4.2.1. ASPECTOS GENERALES

Para determinar el régimen de operación de la planta se requiere la definición de los caudales medios en el sitio de la presa, y su distribución mensual y porcentual, para lo cual es conveniente contar con histogramas de caudal medio mensual, y curvas de duración de caudales.

En la cuenca del proyecto no hay estaciones de medición de caudal, ni tampoco información de precipitaciones y datos climatológicos.

En estas condiciones, se consideró preferible recurrir a modelos de lluvia-escorrentía, utilizando la mejor información disponible para los diferentes parámetros hidrometeorológicos que intervienen en el proceso de lluvia-escorrentía. De esta manera, se han considerado los siguientes métodos para estimar los caudales medios, en particular, a través de:

- coeficientes de escurrimiento mensual.
- y de balances hídricos a nivel mensual.

A pesar de las incertidumbres existentes particularmente en lo que se refiere a los procesos de flujo subsuperficial, que son importantes dado que todas las fuentes son perennes y existen periodos prolongados en los cuales la evapotranspiración regional excede en mucho las tasas de precipitación sobre el área, se consideró que dada la falta de información hidrológica más detallada, la aplicación de diferentes métodos permitirá obtener un rango de valores para los caudales medios.

Además, se ha hecho una evaluación de los caudales medios en la cuenca del proyecto a través de un proceso de regionalización basado en una cuenca con características hidrológicas y con área de drenaje similar a la del mismo.

A título complementario, señalase que se efectuó mediciones de caudal en el río Voholo, con vista evaluar su desviación en relación a los valores estimados en el presente estudio.

Los datos de precipitación y de temperatura en la sitio del proyecto fueron obtenidos a través del Portal Climate Change Knowledge³ del World Bank Group. Se tratan de valores medios mensuales y comprenden el período 1991-2016, con un total de 26 años. Se presenta en la **Figura 6** el histograma mensual de los valores medios de la precipitación y de la temperatura en el referido periodo.

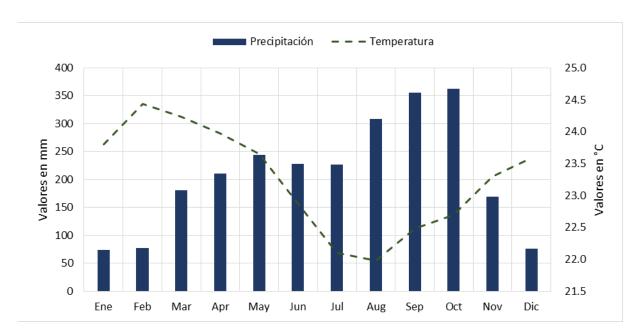


Figura 6 – Histograma mensual de la precipitación y de la temperatura en el sitio de la presa (período entre 1991 a 2016).

-

³ Disponible: https://climateknowledgeportal.worldbank.org/themes/custom/wb_cckp/resources/img/logo-wb-cckp.png (consultado en: Junio 2019).

Se observa que la precipitación media anual en la sección de la presa es alrededor de los 2 500 mm y una temperatura media anual de 23,3°C.

Como se refiere detrás, se observa que entre los meses de marzo a octubre llueve cerca de 2 100 mm (aproximadamente 85% del valor anual), mientras que en los restantes meses llueve los restantes 15%.

A continuación, se presentan los principales resultados obtenidos para cada uno de los métodos propuestos.

4.2.1. ESTIMACIÓN A TRAVÉS DE APLICACIÓN DE COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO

Los coeficientes de escurrimiento traducen el porcentaje de precipitación que se convierte en escurrimiento.

A tal efecto, se ha utilizado los coeficientes de escurrimientos mensuales presentados en el siguiente estudio: *Spatial Relationship between Precipitation and Runoff in Africa* (Karamage et al, 2018)⁴. La **Tabla 1** muestra los coeficientes de escurrimiento mensuales estimados para el proyecto.

Tabla 1 - Coeficientes de escurrimiento mensuales estimados para el proyecto (Fuente: Karamage et al, 2018)

| Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Anual |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 0,50 | 0,38 | 0,20 | 0,38 | 0,38 | 0,45 | 0,40 | 0,35 | 0,30 | 0,30 | 0,50 | 0,60 | 0,40 |

Señalase que se tratan de valores medios para el país, no se diferenciando sus valores para la parte continental e islas. Teniendo en cuenta las diferencias al nivel de la precipitación entre la parte continental e islas, y no obstante, la limitación del proprio método, se cree que su aplicación conducirá a una subestimación de los caudales medios.

En la **Tabla 2** se presenta los valores medios anuales de la precipitación, del escurrimiento, del déficit de escurrimiento y de los caudales promedios en el periodo 1991 a 2016.

Tabla 2 – Coeficientes de escurrimiento. Resultados medios anuales.

| Año | Precipitación (mm) | Escurrimiento (mm) | Déficit de escurrimiento (mm) | Caudal promedio (m³/s) |
|------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------|
| 1991 | 2 069 | 759 | 1 310 | 0,27 |
| 1992 | 2 046 | 736 | 1 309 | 0,26 |
| 1993 | 2 346 | 882 | 1 464 | 0,31 |
| 1994 | 2 500 | 912 | 1 587 | 0,32 |
| 1995 | 2 492 | 896 | 1 596 | 0,31 |

⁴ Disponible: https://www.hydrol-earth-syst-sci-discuss.net/hess-2018-424/hess-2018-424.pdf (consultado en: Junio 2019).

| Año | Precipitación (mm) | Escurrimiento (mm) | Déficit de escurrimiento (mm) | Caudal promedio (m³/s) |
|----------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------|
| 1996 | 2 584 | 923 | 1 662 | 0,32 |
| 1997 | 2 618 | 986 | 1 632 | 0,34 |
| 1998 | 2 531 | 964 | 1 567 | 0,34 |
| 1999 | 2 648 | 959 | 1 689 | 0,34 |
| 2000 | 2 413 | 879 | 1 534 | 0,31 |
| 2001 | 3 375 | 1 290 | 2 085 | 0,45 |
| 2002 | 3 102 | 1 126 | 1 976 | 0,39 |
| 2003 | 3 227 | 1 219 | 2 008 | 0,43 |
| 2004 | 3 031 | 1 132 | 1 899 | 0,40 |
| 2005 | 1 842 | 663 | 1 179 | 0,23 |
| 2006 | 2 350 | 852 | 1 497 | 0,30 |
| 2007 | 3 752 | 1 375 | 2 377 | 0,48 |
| 2008 | 2 585 | 888 | 1 697 | 0,31 |
| 2009 | 1 974 | 722 | 1 252 | 0,25 |
| 2010 | 2 428 | 915 | 1 513 | 0,32 |
| 2011 | 2 191 | 769 | 1 421 | 0,27 |
| 2012 | 2 725 | 1 003 | 1 722 | 0,35 |
| 2013 | 1 938 | 725 | 1 214 | 0,25 |
| 2014 | 2 310 | 846 | 1 464 | 0,30 |
| 2015 | 1 783 | 655 | 1 128 | 0,23 |
| 2016 | 2 450 | 893 | 1 557 | 0,31 |
| Promedio | 2 512 | 922 | 1 590 | 0,32 |

Como se ha mencionado, en la ubicación del proyecto se presenta una precipitación media anual es 2 500 mm. Por medio de la tabla anterior se observa un escurrimiento anual alrededor de 930 mm (para un coeficiente de escurrimiento anual de 0,40) y un déficit de escurrimiento medio anual alrededor de 1 600 mm.

Como se puede observar en el **punto 4.2.2**, el valor medio anual estimado para la evapotranspiración potencial en la cuenca del proyecto es de cerca de 1200 mm, por lo que se cree que la presente análisis conduce a una evaluación más desfavorable de los recursos superficiales.

En la **Figura 7** se presenta el histograma mensual de los caudales medios en el sito de la presa en el periodo de 1991 a 2016, a través de aplicación de los coeficientes de escurrimiento mensuales. Se estima un caudal promedio de 0,32 m³/s llevando de cuenta el área de drenaje de la cuenca del proyecto.

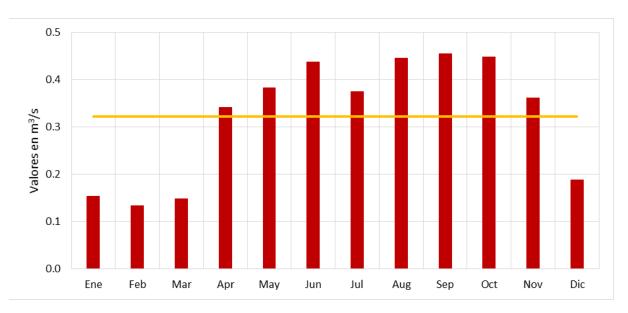


Figura 7 – Histograma de los caudales medios mensuales en el sito de la presa a través de aplicación de los coeficientes de escurrimiento.

En la figura anterior se puede observar que los caudales mensuales en los meses de abril y noviembre son superiores al su caudal promedio (anual), mientras que en los restantes meses estés son cerca de mitad del valor medio anual.

4.2.2. BALANCE HÍDRICO A NIVEL MENSUAL

En la construcción del modelo a nivel mensual se ha considerado los siguientes presupuestos:

- La evapotranspiración potencial (Ep) ha sido estimada a través del modelo Thornthwaite Mather.
- Teniendo en cuenta la existencia de suelos saturados en el sitio del proyecto (véase la Figura 5), se admitió una tasa de recarga/infiltración (R) nula.
- En los meses en que la Ep excede la precipitación (P), se admite que hay una contribución de los acuíferos, pues de otro modo los caudales serian inexistentes. Teniendo en cuenta la cuantidad y frecuencia de las lluvias en la isla, se supone razonable considerar de que el caudal nunca será nulo. Este ha sido también confirmado por la población local, que hay confirmado que la línea de agua donde se ubica el proyecto tiene agua todo el año. Así, una vez que no se dispone de datos de caudales, se tomó que la tasa de producción de agua de los acuíferos (A) es de 30 mm/mes (a validar en estudios futuros). Señalase

que en los meses que Ep no excede P la tasa es nula (hipótesis conservativa). Como se verá más adelante, este concepto influenciara solamente el tramo final de la curva de duración de caudal, una vez que hace que el caudal nunca sea nulo (véase **Figura 9**).

La **Tabla 3** muestra los resultados anuales del balance hídrico en el sitio de la presa, considerando un área drenaje de 11 km², delimitada en la **Figura 1**, y dando como resultado un caudal promedio de 0,55 m³/s.

Tabla 3 - Balance hídrico. Resultados anuales.

| Año | Precipitación | Evapotranspiración potencial | Escurrimiento | Caudal promedio |
|----------|---------------|------------------------------|---------------|-----------------|
| 71110 | (mm) | (mm) | (mm) | (m³/s) |
| 1991 | 2 069 | 1 137 | 1 153 | 0,40 |
| 1992 | 2 046 | 1 128 | 1 165 | 0,41 |
| 1993 | 2 346 | 1 142 | 1 366 | 0,48 |
| 1994 | 2 500 | 1 140 | 1 555 | 0,54 |
| 1995 | 2 492 | 1 167 | 1 546 | 0,54 |
| 1996 | 2 584 | 1 150 | 1 593 | 0,56 |
| 1997 | 2 618 | 1 133 | 1 670 | 0,58 |
| 1998 | 2 531 | 1 208 | 1 566 | 0,55 |
| 1999 | 2 648 | 1 155 | 1 606 | 0,56 |
| 2000 | 2 413 | 1 172 | 1 509 | 0,53 |
| 2001 | 3 375 | 1 187 | 2 562 | 0,89 |
| 2002 | 3 102 | 1 195 | 2 106 | 0,73 |
| 2003 | 3 227 | 1 207 | 2 151 | 0,75 |
| 2004 | 3 031 | 1 195 | 1 961 | 0,68 |
| 2005 | 1 842 | 1 190 | 960 | 0,33 |
| 2006 | 2 350 | 1 194 | 1 327 | 0,46 |
| 2007 | 3 752 | 1 194 | 2 795 | 0,97 |
| 2008 | 2 585 | 1 175 | 1 852 | 0,65 |
| 2009 | 1 974 | 1 188 | 1 033 | 0,36 |
| 2010 | 2 428 | 1 212 | 1 442 | 0,50 |
| 2011 | 2 191 | 1 175 | 1 293 | 0,45 |
| 2012 | 2 725 | 1 177 | 1 686 | 0,59 |
| 2013 | 1 938 | 1 181 | 962 | 0,34 |
| 2014 | 2 310 | 1 185 | 1 382 | 0,48 |
| 2015 | 1 783 | 1 201 | 895 | 0,31 |
| 2016 | 2 450 | 1 236 | 1 556 | 0,54 |
| Promedio | 2512 | 1178 | 1565 | 0,55 |

Por medio de la tabla anterior se puede observar un escurrimiento anual y una evapotranspiración potencial alrededor de los 1 600 y 1 200 mm, respectivamente.

En la **Figura 8** se presenta el histograma mensual de los caudales medios en el sito de la presa en el periodo de 1991 a 2016, a partir de los caudales resultantes de la aplicación del balance hídrico. El caudal promedio es de $0.55 \text{ m}^3/\text{s}$.

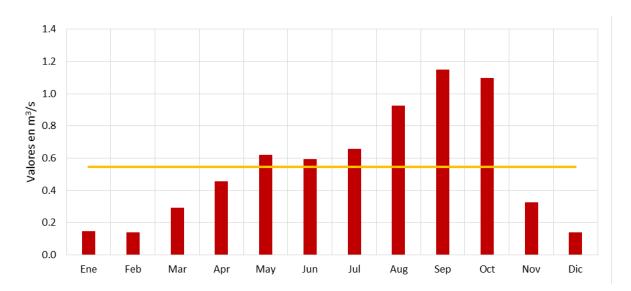


Figura 8 – Histograma de los caudales medios mensuales en el sito de la presa a través del balance hídrico.

Se observa que los valores mínimos de los caudales mensuales ocurren entre los meses de diciembre y febrero, y son inferiores a 0,2 m³/s (impuesto por un de los pre-conceptos del proyecto, a saber, por la tasa de producción de agua de los acuíferos), lo que representa cerca de 25% del tiempo en el año. Sin embargo, se observa que entre los meses de mayo y octubre el caudal en el rio es igual o superior al caudal promedio (0,6 m³/s), representando cerca de 50% de la duración en el año. En los restantes 25% del tiempo (meses de marzo, abril y noviembre) el valor mínimo del caudal es alrededor de los 0,3 m³/s.

En las **Figura 9** y **Figura 10** se presentan las curvas adimensionales de duración de caudal y del rendimiento hídrico, denominadas por **Curva 2**. Estas curvas fueron deducidas a partir del balance hídrico. Se recuerda que los datos comprenden un periodo de 26 años (1991 a 2016).

4.2.1. REGIONALIZACIÓN DE CAUDALES

Tal como ya se ha mencionado, una vez que no se dispone dados de medición de caudal en la isla, hubo la necesidad de recurrir a datos de una estación hidrométrica ubicada en una cuenca con condiciones hidrológicas (a nivel de precipitación y temperatura) y de cubiertos vegetales similares a las observadas en la isla de Bioko. Se la designa en presente estudio por *cuenca tipo*.

En la sección de la estación hidrométrica en la cuenca tipo presenta un área de drenaje con 12,7 km². La precipitación media anual en su cuenca es alrededor de 2 650 mm. El caudal promedio del rio es de 0,92 m³/s.

La transposición del caudal promedio para la cuenca del proyecto ha sido hecha a través de una relación de áreas:

$$Q_{mod,Belebu} = \frac{A_{Belebu}}{A_{Cuenca\;tipo}}\;Q_{mod,Cuenca\;tipo}$$

dónde: A_{Belebu} es la área de drenaje en el sitio de la presa del proyecto de Belebu (11,5 km²); A_{cuenca} tipo es la área de drenaje de la estación de cuenca tipo (12,7 km²) y $Q_{mod,cuenca tipo}$ es el caudal promedio en la referida estación hidrométrica (0,92 m³/s). Así, se estima un caudal promedio de 0,80 m³/s en la sección de la presa del proyecto.

En las **Figura 9** y **Figura 10** se presentan las curvas adimensionales de duración de caudal y del rendimiento hídrico, denominadas por **Curva 4**.

4.2.2. MEDICIONES DE CAUDAL POR AFOROS

Dada la ausencia de estaciones hidrométricas en la cuenca del proyecto, se hicieran algunas visitas locales para evaluación de los caudales en el rio Voholo.

Debe tenerse en cuenta que los caudales presentados en los **puntos 4.2.1** y **4.2.2** se tratan de valores medios mensuales, por lo que la no es posible compáralos directamente con los caudales estimados en las mediciones instantáneas por tratarse de valores diarios.

No obstante, se señala que llevando de cuenta la falta de información hidrológica, se consideran importantes los datos obtenidos en estas mediciones para evaluar su variación en relación con los valores estimados en cada método.

Se considerando las características del rio, se ha recorrido al método del flotador. Este método permite medir con mediana exactitud caudales en pequeñas líneas de agua.

Los trabajos de aforo han sido realizados en las fechas de 28 de Mayo y 5 de octubre de 2019. En este estudio se presentarán solamente las mediciones efectuadas en la última fecha Se efectuaron en el total 4 mediciones.

El tramo seleccionado presenta as siguientes principales características:

Sección del rio: rectangular;

- Altura media de agua: 0,3 m;

- Anchura: 5,5 m;

Longitud del tramo: 10,3 m.

La **Tabla 4** se presenta los tiempos del recorrido por el flotador en cada aforo.

Tabla 4 - Tiempos del recorrido por el flotador en cada aforo.

| Aforo | Tiempo del recorrido (s) |
|-------|-----------------------------|
| n.º 1 | 12 |

| n.º 2 | 10 |
|-------|----|
| n.º 3 | 9 |
| n.º 4 | 10 |

La **Tabla 5** se presenta las estimativas de las velocidades del agua y de los respetivos caudales para cada aforo.

Tabla 5 – Estimativas de la velocidad del agua y caudal en cada aforo.

| Aforo | Velocidad del agua (m/s) | Caudal (m³/s) |
|-------|-----------------------------|------------------|
| n.º 1 | 0,9 | 1,4 |
| n.º 2 | 1,0 | 1,6 |
| n.º 3 | 1,1 | 1,8 |
| n.º 4 | 1,0 | 1,6 |

Según los valores presentados en la tabla anterior, el caudal medio del día ha sido 1,5 m³/s. Teniendo en cuenta el valor medio del mes de octubre en los **párrafos 4.2.1** y **4.2.2**, se observa que la variación para el método del coeficiente de escurrimiento es de 320%, mientras que para el método del balance hídrico es de 37%.

4.2.3. CONCLUSIONES

Como ya se ha mencionado, dada la falta de información hidrológica más detallada se considera que la aplicación de diferentes métodos permitió definir un rango de valores para los caudales medios, y en particular de su caudal promedio (anual).

Así pues, se propone hacer el análisis de la producción de energía de la PCH considerando diferentes caudales promedio. Se consideró los siguientes escenarios:

- Escenario 1 (desfavorable): caudal promedio del rio igual a 0,3 m³/s;
- Escenario 2 (intermedio): caudal promedio del rio igual a 0,6 m³/s;
- Escenario 3 (optimista): caudal promedio del rio igual a 0,8 m³/s.

Respecto a la variabilidad de los caudales medios mensuales en relación al caudal promedio, se observó existir diferencias en sus histogramas mensuales, por lo que se propone la utilización de las curvas adimensionales presentadas en el punto siguiente para reflejar en su variabilidad anual.

4.3. CURVA DE DURACIÓN DE CAUDAL

La curva de duración de caudal es el resultado estadístico de analizar los registros diarios de caudal en estaciones hidrométricas, y determinan la persistencia de los caudales, indicando el porcentaje de tiempo dentro de un año típico, en el cual un caudal dado es igualado o excedido. En seguida se presenta las curvas adimensionales de duración de caudal obtenidas en el presente estudio.

- Curva 1 resulta de los caudales medios mensuales obtenidos por aplicación de los coeficientes de escurrimiento;
- Curva 2 resulta de los caudales medios mensuales obtenidos del balance de agua en suelo;
- Curva 3 es un promedio de las curvas 1 y 2;
- Curva 4 es la curva característica establecida para un rio con una cuenca con características hidrológicas y con área de drenaje similar a la del mismo.

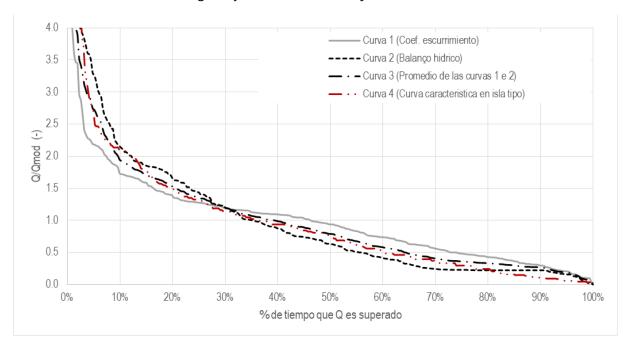


Figura 9 - Curvas adimensional de duración de caudal obtenidas para el proyecto.

En la **Figura 10** se presenta además, las curvas adimensionales del rendimiento hídrico. Cabe señalar que para cada relación Q/Q_{mod} corresponde a un rendimiento hídrico dado, siendo su respectivo volumen el producto entre el rendimiento hídrico y el volumen anual promedio. Señalase que Q es el caudal de diseño y Q_{mod} es caudal promedio del rio.

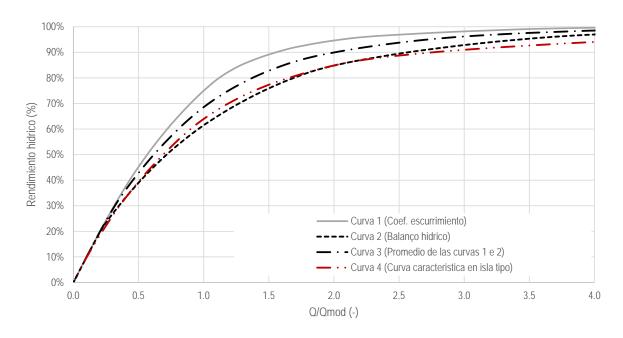


Figura 10 - Curva adimensional del rendimiento hídrico obtenidas para el proyecto.

Para evaluación de la producción de energía se consideró las curvas 4 de las **Figura 9** y **Figura 10**, unas vez que estas han sido obtenidas a través de datos de caudales.

4.1. CAUDALES MÁXIMOS ESPERADOS

Teniendo en la naturaleza preliminar del estudio, y por no disponerse de información hidrológica detallada, no se ha efectuado una estimativa de los caudales máximos esperados en el sitio del proyecto.

No obstante, señalase que se propone la construcción de una presa que podrá ser inundada en situación de una avenida, por lo que la evaluación de los niveles máximos de agua será más importantes para el diseño estructural de la presa.

4.2. PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA

Porque no existe información similar disponible, este punto deberá evaluarse en la fase siguiente del estudio dada suya importancia en las condiciones de operación de la PCH.

5. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL PROYECTO

La pequeña central hidroeléctrica, (PCH), de Belebú se ubicará en la provincia de Bioko-Sur, con coordenadas geográficas: Latitud 3°25'48.45"N y Longitud: 8°35'22.31"E (véase **Figura 11**).



Figura 11 - Ubicación general del proyecto (Fuente: Google Earth).

El enfoque del presente estudio es el análisis del escenario de interconexión de la PCH a la red SEGESA más cercana, a través de una línea de 33 kV a la subestación de Mussola.

Cabe señalar que, en el presente estudio, la PCH fue diseñada para minimizar el costo de producción del MWh. Este análisis se presenta en **Capítulo** Error! Reference source not found.

A continuación, se presenta una descripción de la solución propuesta para la PCH.

En lo trabajo de campo se efectuó un levantamiento de las líneas de agua más cerca de las dos poblaciones, y se observó la existencia de una línea de agua ubicada entre las mismas (Tramo 1 en la **Figura 12**).



Figura 12 - Tramos identificados para emplazamiento del proyecto de Belebu (Fuente: Google Earth).

Sus condiciones topográficas e hidrológicas fueran evaluadas durante una visita de reconocimiento realizada en mayo 2019. En el día de la visita no se observó existencia de agua en la misma. Según los locales, se trata de una situación muy frecuente, por esta razón se le ha descartado.

En alternativa, y con ayuda de los jefes del poblado, fue identificada una otra línea de agua con condiciones hidrológicas más favorables para la construcción de una PCH (es decir, con presencia de flujo de agua permanente durante todo el año), que se presenta en la **Figura 12** (desinado por Tramo 2). Esta línea de agua se llama el rio Voholo, y es un afluente del rio Mussola.

El tramo del rio Voholo visitado se ubica a 3 km Norte de la población de Belebu y dispone de un acceso peatonal a partir de la carretera existente, a saber, la carretera que conecta Luba a San Antonio de Ureca.

Teniendo en cuenta el cubierto vegetal presente en el tramo del rio donde se ubicará la presa, se considera que la sección transversal del rio no deberá ofrecer las mejores condiciones para el cierre de una presa muy alta, por lo que se recomienda la construcción de una presa más baja, y por consecuente, menos exigente del punto de vista estructural.

Después de analizado el perfil longitudinal del rio en estudio, entre el sitio visitado y la confluencia con el rio Mussola, se concluyó que su pendiente es moderada a fuerte (superior a 5%), por lo que habría una ganancia de salto con la utilización de tubería. Por esta razón se recomienda la implantación de una central de derivación para la PCH.

No se observa ningún salto o mudanza de pendiente acentuada, por lo que se plantea aprovechar la totalidad del salto disponible aguas abajo del sitio propuesto para la presa, con objetivo de maximizar la potencia instalada en la PCH (véase la **Figura 13**).

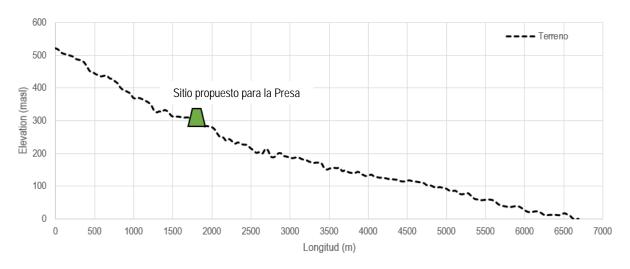


Figura 13 - Rio Voholo. Perfil longitudinal del lecho del rio (Fuente: SRTM 1 arc-segundo).

El salto natural existente entre el sitio propuesto para la presa (295 msnm) y el sitio de la central (20 msnm) es cerca de 275 m.

Sin embargo, cabe señalar que el desplazamiento de la presa para aguas arriba del sitio propuesto para la presa permitiría aumentar el salto disponible de la PCH, pero, por otro lado se reduciría sus afluencias debido a la reducción del área de drenaje.

Se propone el emplazamiento del circuito de derivación en la margen izquierda del rio Voholo, y muy próximo del acceso existente (en particular, carretera que conecta Luba a San Antonio de Ureca).

La PCH incluyera las siguientes infraestructuras principales: presa, toma de agua, circuito de derivación (canal, cámara de carga y tubería forzada) y edificio de la central hidroeléctrica. En la figura siguiente se presenta un ejemplo de la solución propuesta.

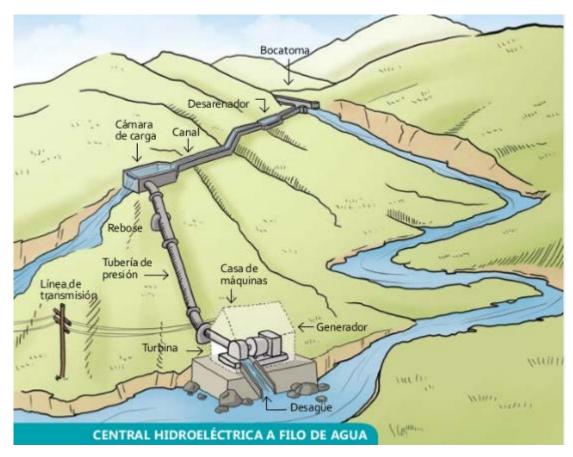


Figura 14 - Central hidroeléctrica a filo de agua, con circuito de derivación (fuente:

https://es.slideshare.net/jorgegillaverde/06-centrales-hidroelctricas-pequea-escala1).

En la sección de implantación de la presa el lecho del rio se encuentra a la cota aproximada 295 msnm.

La solución propuesta para la presa consiste en una presa vertedero de pared gruesa tipo Creager. Se consideró la construcción de una presa de gravedad, hecha mayoritariamente con concreto ciclópeo.

Se propone la construcción de una presa de pequeña altura (no superior a 2-3 m), por lo que la presa tendrá como único objetivo garantizar la derivación de las afluencias para el circuito de derivación.

Teniendo en cuenta su reducida altura de la presa se prevé dotar la presa de una compuerta a fin de posibilitar el vaciamiento total del embalse.

La toma de agua se hará a través de una toma tirolesa (véase un ejemplo en la figura siguiente), que se desplegará cerca del encuentro izquierdo de la presa. Este tipo de toma de agua permite que en caso de azoramiento del embalase la PCH pueda continuar su operación.

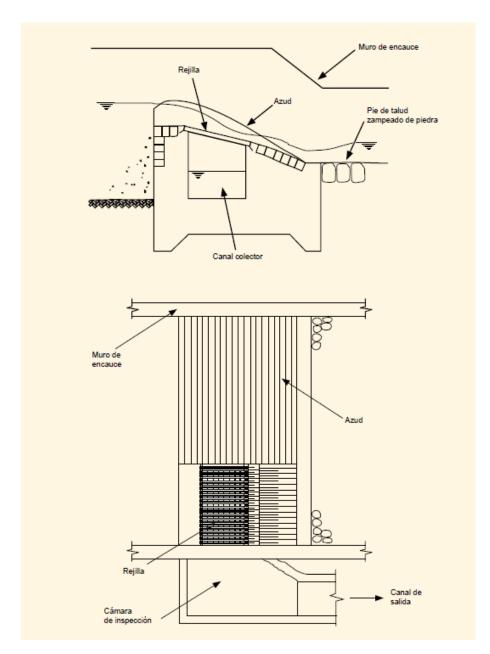


Figura 15 – Partes de una toma tirolesa (fuente: Criterios de Diseño y Construcción de Obras de Captación para Riego. Tomas Tirolesas, 2002).

Los encuentros de la presa tendrán una altura mínima en relación cresta del vertedero, para con objetivo de concentrar los caudales en la zona de la toma de agua. Sin embargo, se presupone que toda la infraestructura pueda ser inundada.

El circuito de derivación será constituido por un tramo en canal, seguido de una cámara de carga y por una tubería forzada. **Figura 16** y **Figura 17** se presentan en planta y perfil longitudinal el trazado preliminar del mismo.



Figura 16 - Circuito de derivación. Trazado en planta (Fuente: Google earth).

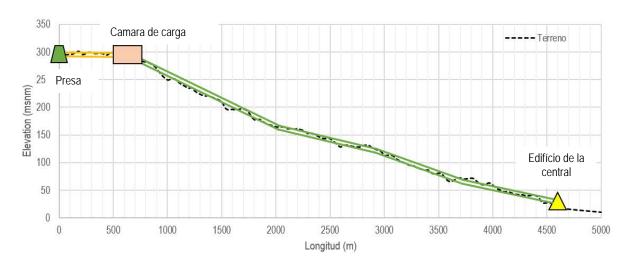


Figura 17 – Circuito de derivación. Trazado en perfil longitudinal (Fuente: SRTM 1 arc-segundo).

Se propone el emplazamiento de un canal excavado, de concreto, con 600 m de longitud y una sección trapezoidal con una pendiente de sus paredes a 1:1.5 (V:H). La pendiente del canal estará cerca del mínimo constructivo, tomado como 0,3 m / km en la etapa actual.

La sección del canal fue prediseñado de acuerdo con la velocidad máxima de flujo. Se consideró una velocidad de flujo limitante de 0,8 m/s en la etapa actual (con objetivo de promover la sedimentación de partículas). Se realizará una optimización económica de su sección en una fase posterior del estudio.

El trazado del canal seguirá la curva de nivel 295,00 msnm (simplificadamente) hasta a su entrada en la cámara de carga. El trazado y longitud deberá ser optimizada en las fases siguientes del estudio.

Se propone la construcción de un reservatorio excavado para la cámara de carga. La cámara de carga tiene como objetivos principales:

- promover la transición entre el canal y la tubería forzada (estructura en concreto);
- garantizar el almacenamiento de un volumen de agua que permita el arranque del grupo turbina-generador, así como permitir su funcionamiento continuo durante un período determinado.

Señalase que el aprovechamiento hidroeléctrico propuesto es a filo de agua, en donde el volumen de embalse será reducido, así como su capacidad de regulación. Sin embargo, se procuró garantizar que la cámara de carga disponga de un volumen mínimo de almacenamiento para operar la PCH durante 1 h con el caudal de diseño.

No obstante, en las próximas fases del estudio se evaluará la posibilidad de incluir otros usos al proyecto, como, por ejemplo, la agricultura, la pecuaria, entre otros, con vista a su valoración.

Se sugiere evaluar la posibilidad de hacer derivaciones de caudales de otras líneas de agua para la cámara de carga, con el objetivo de incrementar los volúmenes turbinados por la PCH, y por consecuente, su energía producida.

La tubería forzada tiene una longitud total de 4,0 km. Dada su extensión se propone la instalación de válvulas de seccionamiento de 2,0 km en 2,0 km (a optimizar en las fases siguientes), a instalarse en el interior de una caja de concreto, para permitir el vaciamiento parcial de la tubería durante los trabajos de mantenimiento a la misma. El trazado deberá ser optimizado en las etapas posteriores del estudio.

El diámetro de la tubería forzada fue prediseñado de acuerdo con la velocidad máxima de flujo. Se consideró una velocidad de flujo limitante de 2,5 m/s en la etapa actual. Se realizará una optimización económica de su diámetro en una fase posterior del estudio.

Sin embargo, a este respecto cabe señalar que utilización de velocidades de flujo más elevadas incrementaría el valor de las perdidas continuas en el circuito de derivación, lo que penalizaría fuertemente el salto neto del proyecto.

Se definió una presión nominal para la tubería forzada igual al 150% del salto bruto (criterio simplificado). Este aspecto será detallado en la próxima fase del proyecto, así como la posible necesidad de utilizar equipos de protección contra golpes de ariete.

En cuanto al tipo de material de la tubería forzada, se propone la utilización de tuberías de acero. Se propone su instalación, siempre que sea posible, en su propia zanja. Si resulta que la instalación en zanja no es posible, deberá ser contemplado el uso de tubos con mejor resistencia a la acción de elementos externos, bien como la instalación de juntas de expansión (debido al fenómeno de la expansión térmica) y de bloques de apoyo.

Se propone la instalación de la tubería forzada muy cerca de la carretera con el objetivo de evitar la construcción de un nuevo acceso.

Se construirá un edificio para el grupo turbina-generador, instalaciones eléctricas y demás equipos necesarios. Se propone su emplazamiento junto a la carretera (véase **Figura 16**), para reducir la construcción de un acceso más extenso.

Con respecto a los tipos de turbina, se consideró como la más adecuada la turbina tipo Pelton, dado el salto de la PCH. Señalase que este tipo de turbina permite operar con un flujo entre 10 a 100 % del caudal de diseño.

Se propone la instalación de una única turbina en la central. No obstante, en la fase siguiente del estudio se evaluará en términos de producción de energía y económicos cual el interés de instalarse más de que una unidad.

La restitución de los caudales turbinados por la central se hará a línea de agua más próxima a través de un canal excavado. Se prevé la necesidad de construir un canal con 250 m de longitud (a confirmar en las etapas posteriores).

La sección de generación y el punto de interconexión a la red SEGESA tendrán un nivel de tensión de 33 kV y una longitud total de cerca de 5 km.

Los postes podrán ser de madera tratada o de concreto.

Se consideró la instalación de un transformador, a la salida del edificio de la central.

Como ya se mencionó, se hará la interconexión a la red existente en la subestación de Mussola, a través de la subestación existente.

Además, se consideró la construcción de nueva línea eléctrica de 15 kV para el suministro de energía de eléctrica de las poblaciones de Belebu e Buemeriba, con inicio en el transformador en la ciudad de Luba, y con una longitud total de cerca de 7 km.

Dadas las características y dimensiones actuales del camino propuesto de acceso al sitio de la PCH, se propone en general aprovechar los existentes al fin de reducir los costes de inversión.

6. POSIBLES ASPECTOS QUE PODRÁN CONDICIONAR LOS PRESUPUESTOS DE PROYECTO

A continuación se presenta una lista de los principales puntos que podrán condicionar los preconceptos del proyecto, que a confirmarse van influenciar de forma negativa su evolución económica. Así, se recomienda en las etapas posteriores del estudio su evaluación más detallada, a fin de reducir la incertidumbre existente.

Hidrología:

Como ya mencionado, la evaluación de las condiciones de escurrimiento en la cuenca del proyecto fue desenrollada a través de modelos de lluvia-escorrentía (a saber, coeficientes de escurrimiento y balances hídricos), dado que no se disponía de datos de caudales.

El estudio fue complementado con una regionalización de caudales basado en una cuenca con características hidrológicas y con área de drenaje similar a la del mismo. Por consiguiente, se recurrió a una cuenca de un país vecino, a saber, la isla de Príncipe en San Tomé y Príncipe.

A título complementario, señalase que se efectuó mediciones de caudal en el río Voholo, con vista evaluar su desviación en relación a los valores estimados en el presente estudio.

De futuro, se recomienda la instalación de una estructura para medición de los caudales diarios, de modo continuado, durante el año, con objetivo de cuantificar y conocer la variación diaria de los caudales en el rio en estudio. Esta información será muy útil para calibración de los modelos de lluvia-escorrentía. Se estima un costo de 5.000.000,00 XAF para la instalación de la referida estructura.

Topografía:

Se recomienda la ejecución de trabajos de topografía para definición de las infraestructuras del proyecto, bien como evaluar el salto efectivo de la PCH.

Geología/geotecnia:

En la fase siguiente del estudio se recomienda de información geológica/geotécnica más detallada a fin de evaluar las condiciones de fundación de las infraestructuras de la PCH. Además, se debe realizar una visita de reconocimiento al sitio, con vista a su caracterización preliminar.

Existencia de infraestructuras u otros condicionantes:

El trazado propuesto para el circuito de derivación, en particular para la tubería forzada tendrá que ser confirmado en la fase siguiente de estudio, con vista a evaluar la existencia de infraestructuras u otros condicionantes a su emplazamiento.

Como se ha mencionado, se prevé el aprovechamiento del acceso existente, en particular la carretera que conecta Luba a San Antonio de Ureca, para reducir los costes del proyecto.

Interconexión a la red SEGESA:

Como se ha mencionado anteriormente, fueron considerados los siguientes puntos:

- Se asume que la red SEGESA podrá absorber cualquier cantidad de energía y de potencia que la PCH pueda suministrar todo el tiempo.
- Se propone conectar la PCH a la red SEGESA más cercana de la ubicación del proyecto, a saber la subestación de Musola, ubicada a 5 km de la casa de máquinas de la PCH. Para el efecto, se propone la construcción de una línea eléctrica entre la central y la subestación.

Los mismos tendrán que ser confirmados en las etapas posteriores del estudio.

7. EVALUACIÓN DE LOS COSTES DEL PROYECTO

7.1. ASPECTOS GENERALES

Para efecto del cálculo del coste de un proyecto hidroeléctrico se deben considerar los siguientes componentes:

- Inversión;
- Operación y mantenimiento;
- Reposiciones intermedias.

Los costes de inversión son los costes totales que se deben pagar para la construcción del proyecto hidroeléctrico. Estos costes se reparten en costes directos e indirectos.

Los costes de operación y mantenimiento son los gastos ocasionados por el personal y materiales necesarios para el funcionamiento normal del aprovechamiento, y pueden expresarse en un coste unitario por año.

Los costes de reposiciones intermedias son los costes con la reposición de obras y de equipos que tienen una vida útil menor a la vida útil del proyecto global y que deben ser repuestos para conseguir un adecuado funcionamiento de las instalaciones.

7.2. COSTES DE INVERSIÓN

7.2.1. ASPECTOS GENERALES

Para el cálculo de la inversión inicial en centrales hidroeléctricas, los costes se pueden dividir en: costes directos y costes indirectos.

Los costes directos incluyen la adquisición del activo fijo: obra civil, equipos electromecánicos e hidromecánicos, accesos, línea de eléctrica, y demás infraestructuras necesarias.

Los costes indirectos incluyen los gastos administrativos, los gastos por supervisión y fiscalización durante la construcción de la obra y supervisión de la puesta en marcha e imprevistos. Generalmente su valor se estima como un porcentaje del costo directo y que puede ir entre unos 10% y 15%.⁵

7.2.2. COSTES DIRECTOS

7.2.2.1. ASPECTOS GENERALES

Para el estimativo de los costes directos, se consideran las siguientes componentes principales de la pequeña central hidroeléctrica:

- Obras de infraestructuras:
 - Presa y bocatoma;
 - o Circuito de conducción (canal, cámara de carga y tubería forzada);
 - o Edificio de la central hidroeléctrica y canal de restitución;
- Otros costes

⁵De acuerdo con el estudio: *Manuales sobre energía renovable. Hidráulica a pequeña escala.* BUN-CA, 2002.

- Equipos e instalaciones eléctricas
- Interconexión a la red SEGESA.

7.2.2.2. OBRAS CIVILES

Los costes de las obras civiles engloban la construcción e emplazamiento de la presa, obras de derivación, edificio y obras anexas a la central.

Se han estimado las cantidades de trabajo preliminares con base en los presupuestos considerados en el estudio.

Los costes presentados se refieren a las principales componentes de la pequeña central hidroeléctrica, (PCH), pero los mismos engloban también los costes asociados a cualquier otro tipo de trabajo necesario.

Para la evaluación de los costes de las varias infraestructuras de la PCH se consideraron los costes con los movimientos de tierra y de concreto, apenas distinguiéndose el precio unitario por metro cubico de concreto en función del tipo de infraestructura.

Para la cámara de carga, además de los dos precios mencionados, se consideró el coste por metro cuadrado de la impermeabilización del reservorio.

Al respecto de los costes de concretos, se optó por considerar dos tipos de concreto, en particular, concreto ciclópeo para la presa y hormigón armado para las restantes infraestructuras de la PCH. Con relación al precio unitario de la excavación, se optó por no diferenciar el coste de una excavación en la margen o en el lecho del rio.

Los precios unitarios considerados en la presente evaluación son presentados en la tabla siguiente.

 A - CONCRETO
 XAF/m³

 Concreto ciclópeo
 164 000

 Hormigón armado
 262 400

 B - MOVIMIENTOS DE TIERRAS
 XAF/m³

 Excavación
 13 120

 C - IMPERMEABILIZACIÓN
 XAF/m²

 Impermeabilización del reservorio de la cámara de carga
 32 800

Tabla 6 - Precios unitarios adoptados en la presente evaluación.

Para la estimación del coste de la tubería forzada, se contabilizaron los costes por metro lineal de tubería de acero, presentados en la **Tabla 7**. Estos precios reflejan los costes de suministro, transporte y montaje de las tuberías. Se consideró 10% del coste de la conducta forzada para la contabilización de otros trabajos necesarios (como la construcción de los bloques de apoyo y de anclaje).

Tabla 7 – Tubería forzada (acero). Costes por metro lineal de tubería (incluyen suministro, ransporte y montaje).

| DN (mm) | Custo (XAF/m) |
|---------|---------------|
| 300 | 131 200 |
| 350 | 150 880 |
| 400 | 177 120 |
| 450 | 223 040 |
| 500 | 268 960 |
| 600 | 328 000 |
| 700 | 419 840 |
| 800 | 537 0 |

6.2.2.3. OTROS COSTES

Se consideró 10% de los costes de las obras de infraestructuras para la contabilización de otros trabajos necesarios, pero no incluidos en el presente estimativo. Este ítem incluye, entre otros costes, los costes de montaje y desmontaje del campamento de obra y la obra del desvió preliminar del rio durante la construcción de la presa y de los accesos temporarios necesarios durante su construcción.

7.2.2.4. EQUIPOS E INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Los costes de equipos e instalaciones eléctricas incluyen, en particular, los siguientes componentes del equipo: turbina, generador, sistemas de control y protecciones y transformador. Los costes fueron calculados con base en el gráfico siguiente, y se basan en costes de estudios similares. Este gráfico relaciona la potencia instalada con el costo unitario do kW instalado.

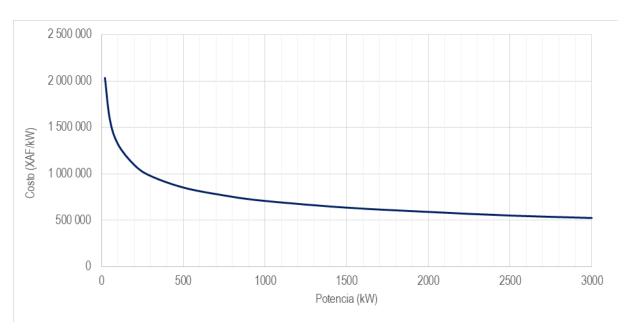


Figura 18 – Equipo e instalaciones eléctricas. Costes unitarios en función de la potencia instalada.

7.2.2.5. INTERCONEXIÓN A LA RED SEGESA

Los costes de interconexión a la red SEGESA engloban mayoritariamente el suministro e instalación de la línea eléctrica trifásica y el de la interconexión a la red existente. Se consideró los siguientes costes:

- Construcción de 3 km de línea de 33 kV e interconexión a la subestación de Mussola (interconexión de la pequeña central hidroeléctrica a la subestación existente): valor global de 80.000.000,00 XAF.
- Construcción de 7,5 km de línea de 15 kV para suministro de energía a las poblaciones de Belebu e Buemeriba (incluye los transformadores MT/BT a la entrada de las poblaciones): valor global de 90.000.000,00 XAF.

El costo del transformador a la salida del edificio de apoyo del grupo turbina-generador esta contabilizado en los costes de los equipos e instalaciones eléctricas, (véase **punto 7.2.2.4**).

7.2.2.6. ACCESOS

Se propone aprovechar los caminos y carreteras existentes, pero puntualmente puede ser necesario hacer algún tramo de acceso. Sin embargo, se han incorporado estos costes bajo el título "Otros costes".

7.2.3. COSTES INDIRECTOS

Se consideró que los costes indirectos representan cerca de 10% de los costes totales de cada PCH, e incluyen los siguientes gastos: estudios y proyecto, administrativos, supervisión y fiscalización, e imprevistos.

7.2.4. RESUMEN DE LOS COSTES DE INVERSIÓN

En las tablas siguientes se presentan los resúmenes de las evaluaciones de costes de las hipótesis analizadas en función de la relación Q/Q_{mod} . Señalase que Q es el caudal de diseño y Q_{mod} es caudal promedio del rio.

Se recuerda que en el presente estudio fueron analizados diferentes escenarios de caudal promedio, con vista a evaluar el rango de potencia y producción de energía de la PCH. Estés escenarios se justifican dada la naturaleza preliminar del estudio y para abordar la falta de registros hidrométricos en la cuenca del proyecto. Así, fueron analizados tres escenarios, en particular el Escenario A, con $Q_{mod,A}=0,3$ m³/s, el Escenario B, con $Q_{mod,B}=0,6$ m³/s, y el Escenario C, con $Q_{mod,C}=0,8$ m³/s.

Tabla 8 - Resumen de la evaluación de costes en función de la relación Q/Q_{mod} . Escenario A $(Q_{mod,A}=0,3 \text{ m}^3/\text{s})$. Valores en millones de XAF.

| | Q/Q _{mod} | | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 |
|-------------------|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Obras civiles | | 938 | 1 030 | 1 115 | 1 207 |
| Costes | Equipos e instalaciones eléctricas | 367 | 440 | 505 | 571 | 630 |
| Cos | Otros costes | 85 | 98 | 105 | 112 | 125 |
| | Interconexión a la red SEGESA | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 |
| Costes indirectos | | 147 | 165 | 181 | 197 | 213 |
| | Inversión total | 1 640 | 1 837 | 2 034 | 2 165 | 2 362 |

Tabla 9 - Resumen de la evaluación de costes en función de la relación $Q/Q_{mod.}$ Escenario B $(Q_{mod.B}=0.6 \text{ m}^3/\text{s})$. Valores en millones de XAF.

| | Q/Q _{mod} | | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 |
|--------|------------------------------------|-----|-------|-------|-------|-------|
| | Obras civiles | | 1 148 | 1 358 | 1 561 | 1 765 |
| Costes | Equipos e instalaciones eléctricas | 472 | 604 | 722 | 833 | 945 |
| Cos | Otros costes | 98 | 118 | 138 | 157 | 177 |
| | Interconexión a la red SEGESA | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 |
| | Costes indirectos | | 204 | 239 | 272 | 306 |
| | Inversión total | | 2 296 | 2 690 | 3 018 | 3 411 |

Tabla 10 - Resumen de la evaluación de costes en función de la relación $Q/Q_{mod.}$ Escenario C $(Q_{mod.C}=0.8 \text{ m}^3/\text{s})$. Valores en millones de XAF.

| | Q/Q _{mod} | | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 |
|--------------------|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Obras civiles | 1 122 | 1 384 | 1 647 | 1 935 | 2 224 |
| Costes directos | Equipos e instalaciones eléctricas | 584 | 741 | 892 | 1 030 | 1 161 |
| Cos | Otros costes | 118 | 144 | 171 | 197 | 223 |
| | Interconexión a la red SEGESA | 170 | 170 | 170 | 170 | 170 |
| Costes indirectos | | 199 | 244 | 288 | 333 | 378 |
| | Inversión total | 2 230 | 2 690 | 3 214 | 3 674 | 4 198 |

7.3. COSTES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (O&M)

Los costes de operación y mantenimiento pueden expresarse en costo unitario por año en función del tamaño de la central o como un monto anual dado en un porcentaje de la inversión total del proyecto.

Las principales componentes de estos costes son:

- personal de explotación de las instalaciones
- generales debidos a la organización y administración
- mantenimiento y reparación ocasionados por las instalaciones y elementos que se han
 de conservar y reparar, así como la mano de obra necesaria

En cuanto a la evaluación de sus costes anuales, según la bibliografía de la especialidad estos se pueden evaluar de diferentes maneras. A continuación, se presenta la compilación de las diferentes fuentes consultadas y valores propuestos:

- Según la guía elaborado por el CIDIAT, el valor anual es equivalente a un porcentaje variable entre 3 al 5% de la inversión⁶
- 40.000.000,00 XAF/año en centrales con potencias instaladas de hasta aproximadamente
 1 MW⁷
- Para pequeñas centrales los costes de operación y mantenimiento fluctúan entre
 650.000.00 XFAS a 13.500.000,00 XAF/GWh⁸

Teniendo en cuenta las características de las PCH y los costes de inversión de las mismas, la utilización de la primera metodología conduce a costes más elevados cuando se comparan con los valores que resultan de la aplicación de las últimas dos metodologías. Así, se optó por considerar un coste anual de 10.000.000,00XAF por cada GWh producido (es decir, 10 XAF/kWh).

⁶ Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras - CIDIAT. Guía Metodológica para la elaboración de proyectos mini centrales hidroeléctricas. 1995.

⁷ Manual sobre Fuentes de Energía para Sistemas de Impulsión en Obras Menores de Riego (http://bosques.ciren.cl/handle/123456789/9630).

⁸ Manuales sobre energía renovable. Hidráulica a pequeña escala. BUN-CA, 2002.

7.4. COSTES DE REPOSIONES INTERMEDIAS

Teniendo en cuenta el horizonte de evaluación, (25 años), no se consideró repercusión alguna en el coste.

8. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO

8.1. ESTIMACIÓN DE LA ENERGÍA ANUAL PRODUCIDA

La evaluación de la energía anual producida de la pequeña central hidroeléctrica, (PCH), propuesta se hizo con base en el salto neto y en el caudal diseño.

El salto neto (Hu) del aprovechamiento es dada por:

$$H_{u} = (N_{p} - N_{rest}) - \Delta H_{T}$$

Donde,

 N_p – nivel en la cámara de carga (se tomó el nivel 295 msnm);

 N_{rest} – nivel en el eje de grupo turbina-generador (se trata de una turbina de acción, se tomó el nivel 20 msnm);

 $\Box H_T$ – pérdida de carga total.

La pérdida de carga total, ($\Box H_{i}$), se obtiene sumando las diferentes partes de la pérdida de carga continua, ($\Box H_{c}$), y de las pérdidas de carga locales, ($\Box H_{l}$), a lo largo del circuito hidráulico.

Las pérdidas de carga continua se estimaron aplicando la fórmula *Manning-Strickler*. Para las pérdidas de carga locales, se supuso que estas pérdidas en todo el circuito hidráulico corresponderían al 10% de las pérdidas de carga continua.

Con base en el salto neto y en el caudal máximo turbinado se determinó la potencia máxima a la salida del grupo turbina-generador (P), en kW, dada por:

$$P = \gamma H_{u} \eta_{GTG} Q_{max}$$

Donde,

 $Q_{dise\tilde{n}o}$ – caudal de diseño (m³/s)

 γ - peso volumétrico del agua (9,81 kN/m³)

Hu - salto neto para Q_{diseño} (m)

η _{GTG} – eficiencia total del conjunto Turbina-Generador (se tomó igual a 0,88)

La evaluación del volumen medio anual turbinado se obtuvo a partir de la Curva 4 presentada en las curvas adimensionales de duración de caudal establecida en el punto 4.3 del Capítulo 4.

Se consideró el aprovechamiento de caudales por debajo del caudal mínimo de la turbina⁹, dado que se admite que es posible regularlos en la cámara de carga.

La energía anual producida (E), en MWh, se calculó con la siguiente expresión:

$$E = gH_{u}\eta V_{t}$$

Donde, V_t es el volumen anual turbinado, $\square\square$ es la eficiencia anual promedio del equipo, (se tomó igual a 0,87), y las restantes variables toman el significado ya presentado. Se optó por adoptar una eficiencia inferior al utilizado en el cálculo de la potencia, para tener en cuenta la variación del caudal turbinado a lo largo del año.

Cabe señalar que el cálculo de la energía ha sido determinado de forma simplificada, dado que los datos de caudal disponibles no permiten adoptar otro enfoque.

En cuanto al volumen turbinado por el aprovechamiento hidroeléctrico, se descontó la parte destinada al caudal ecológico, dado que se trata de central de derivación. Para este propósito, se tomó un caudal ecológico igual a 10% del caudal promedio (Q_{mod}). Este valor deberá ser validado en las etapas posteriores del estudio.

A continuación, se presentan en las tablas los resultados obtenidos, discriminando las potencias máximas instaladas y las generaciones anuales de energía producida teniendo en cuenta las diferentes relaciones Q/Q_{mod} .

Se recuerda que en el presente estudio fueron analizados diferentes escenarios de caudal promedio, con vista a evaluar el rango de potencia y producción de energía de la PCH. Estés escenarios se justifican dada la naturaleza preliminar del estudio y para abordar la falta de registros hidrométricos en la cuenca del proyecto. Así, fueron analizados tres escenarios, en particular el Escenario A, con $Q_{mod,A}=0,3$ m³/s, el Escenario B, con $Q_{mod,B}=0,6$ m³/s, y el Escenario C, con $Q_{mod,C}=0,8$ m³/s.

Tabla 11 – Evaluación de la energía anual producida de la PCH en función de la relación $Q/Q_{mod.A}$ Escenario A $(Q/Q_{mod.A}=0,3 \text{ m}^3/\text{s})$.

-

⁹ Se preconiza la instalación de una turbina del tipo Pelton. Se consideró 10% del caudal de diseño como el caudal mínimo turbinado (Qmin = 0,10 Qmax).

| Q/Q _{mod} | (-) | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 |
|---------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Qdiseño | (m³/s) | 0,18 | 0,24 | 0,30 | 0,36 | 0,42 |
| Volumen turbinado | (hm³) | 3,84 | 4,71 | 5,42 | 5,98 | 6,43 |
| Salto bruto | (m) | | | 275,0 | | |
| Salto neto | (m) | | | 220,5 | | |
| Potencia máxima instalada | (kW) | 0,343 | 0,457 | 0,571 | 0,685 | 0,799 |
| Energía anual producida | (GWh) | 2,007 | 2,461 | 2,831 | 3,127 | 3,361 |

Tabla 12 - Evaluación de la energía anual producida de la PCH en función de la relación $Q/Q_{mod,B}$ Escenario B $(Q/Q_{mod,B}=0,6 \text{ m}^3/\text{s})$.

| Q/Q _{mod} | (-) | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 |
|---------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Qdiseño | (m³/s) | 0,36 | 0,48 | 0,60 | 0,72 | 0,84 |
| Volumen turbinado | (hm³) | 7,68 | 9,42 | 10,83 | 11,96 | 12,86 |
| Salto bruto | (m) | | | 275,0 | | |
| Salto neto | (m) | | | 220,5 | | |
| Potencia máxima instalada | (kW) | 0,685 | 0,914 | 1,142 | 1,371 | 1,599 |
| Energía anual producida | (GWh) | 4,015 | 4,923 | 5,662 | 6,254 | 6,723 |

Tabla 13 - Evaluación de la energía anual producida de la PCH en función de la relación Q/Q_{mod} . Escenario C ($Q/Q_{mod,C}$ =0,8 m^3/s).

| Q/Q _{mod} | (-) | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 |
|---------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Qdiseño | (m³/s) | 0,32 | 0,48 | 0,64 | 0,80 | 0,96 |
| Volumen turbinado | (hm³) | 7,42 | 10,24 | 12,56 | 14,44 | 15,95 |
| Salto bruto | (m) | | | 275,0 | | |
| Salto neto | (m) | | | 220,5 | | |
| Potencia máxima instalada | (kW) | 0,609 | 0,914 | 1,218 | 1,523 | 1,827 |
| Energía anual producida | (GWh) | 3,881 | 5,353 | 6,564 | 7,549 | 8,339 |

Teniendo en cuenta los resultados presentados en las tablas anteriores, se observa para las diferentes relaciones de Q/Q_{mod} , lo siguiente:

- Escenario A (Q/Q_{mod,A}=0,3 m^3/s):
 - la potencia máxima instalada (a la salida del grupo) oscila entre 340 y 800 kW
 - la energía anual producida se sitúa entre 2,0 y 3,4 GWh
- Escenario B ($Q/Q_{mod,B}=0.6 \text{ m}^3/\text{s}$):
 - la potencia máxima instalada (a la salida del grupo) oscila entre 680 y 1 600 kW
 - la energía anual producida se sitúa entre 4,0 y 6,7 GWh

- Escenario C ($Q/Q_{mod,C}=0.8 \text{ m}^3/\text{s}$):
 - la potencia máxima instalada (a la salida del grupo) oscila entre 600 y 1 820 kW
 - la energía anual producida se sitúa entre 3,8 y 8,3 GWh

8.2. FACTOR DE PLANTA

El factor de planta es la relación entre la energía real generada y la energía generada si hubiera trabajado al 100% en plena carga. Es una indicación de la utilización de la capacidad de la planta en el tiempo.

Dado que los equipos de generación deben detenerse para realizar mantenimientos y reparaciones, el factor de planta, en la práctica, nunca es 100%. Existen aún otros motivos que son responsables por su disminución, como por ejemplo, la ausencia de demanda de electricidad y la intermitencia o irregularidad de la fuente de energía.

Para una central hidroeléctrica los valores usuales del factor de planta se encuentran comprendidos entre 40 y 60%

En la tabla siguiente se presentan el factor de planta, el número de horas equivalentes a la potencia máxima en función de la relación Q/Q_{mod} , y el porcentaje de tiempo a potencia máxima. El número de horas equivalentes a la potencia máxima fue determinado a través de la relación entre la energía anual producida y la potencia máxima instalada, mientras que el porcentaje de tiempo a potencia máxima corresponde al punto en la curva de duración de caudal en que el caudal en el rio es mayor o igual a la relación Q/Q_{mod} .

Tabla 14 - Factor de planta y número de horas equivalentes a la potencia máxima en función de la relación O/O_{mod}.

| Q/Q _{mod} | (-) | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | |
|--|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Factor de planta | (%) | 73 | 67 | 62 | 57 | 52 | 48 |
| N.º de horas equivalentes a la potencia máxima | (h) | 6 371 | 5 859 | 5 388 | 4 957 | 4 563 | 4 205 |
| Porcentaje de tiempo a potencia máxima | (%) | 67 | 56 | 46 | 37 | 27 | 23 |

Señalase que los valores de los parámetros calculados para las mismas relaciones Q/Q_{mod} son idénticos para las hipótesis en estudio, pues para los dos primeros parámetros dependen en exclusivo de la relación entre el volumen turbinado y el caudal de diseño, mientras que para el último solo del caudal de diseño.

Teniendo en cuenta los valores presentados en la tabla anterior, se observa que los valores del factor de planta y del número de horas equivalentes a la potencia máxima disminuyen ligeramente con el aumento del caudal de diseño, debido al aumento de la potencia instalada.

El rango del factor de planta de la PCH propuesta oscila entre 50 y 70% del año, en función del caudal de diseño seleccionado.

En relación al porcentaje de tiempo que la PCH puede operar la potencia máxima, se verifica que hay una diminución con al aumento del caudal de diseño, siendo el rango de valores entre 20 y 60%.

Cabe observar que los valores presentados son estimados teniendo en cuenta la explotación en año medio.

9. ANÁLISIS ECONÓMICO

La evaluación del punto óptimo de las diferentes alternativas estudiadas para el proyecto ha sido efectuada a través de la determinación del costo del kWh producido, (XAF/KWh).

El costo del kWh producido, también designado por costo de producción o LCOE, (Levelized Cost Of Electricity), pretende reflejar la eficiencia económica del aprovechamiento y tiene en consideración todos los costes del proyecto, en particular, la inversión, los costes de operación fijos y variables, los costes financieros divididos por la energía producida que por la pequeña central hidroeléctrica (PCH), a lo largo de un determinado horizonte temporal. La PCH será más rentable cuanto menor sean los costes de producción del MWh y más eficiente si este costo es inferior al valor estimado de la tarifa de venta de energía considerado para los cálculos de los ingresos por la venta de energía.

El costo del kWh producido a lo largo de la vida útil de la PCH, se calculó de la siguiente forma:

Costo kWh =
$$\frac{\text{suma de los costes durante el período de exploración}}{\text{suma de la energía producida durante el período de exploración}} = \frac{I + \sum_{t=1}^{n} \frac{O\&M_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^{n} \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

I – inversión del proyecto (XAF)

 $O\&M_t$ – costes de operación y mantenimiento en el año t, se admitió un valor unitario de 10~XAF/kWh, en relación a la energía anual media producida

E_t – producción anual media en el año t (kWh)

r – tasa de descuento (se consideró 10%, 15% y 20%)

n – período de exploración de la PCH (se consideró 25 años)

Se optó por presentar los valores del costo de producción para diferentes tasas de descuento al fin de demonstrar su influencia en el mismo. Esta tasa es utilizada para actualizar los valores futuros, por lo que cuanto menor sea la tasa, mayor será su valor actualizado. Teniendo en cuenta que los aprovechamientos hidroeléctricos se caracterizan por tener un costo inicial de inversión relativamente alto, y bajos costes de operación y mantenimiento, se observa que la utilización de tasas de descuento más bajas conduce a costes de producción también más bajos, como se verá a continuación.

Además, también se incluye en el presente análisis, el cálculo del costo de inversión por la potencia instalada, (XAF/kW). Este costo, como su designación indica, relaciona el costo de inversión con la potencia instalada en la PCH. Es un indicador de comparación con otros proyectos, aunque no tenga en cuenta la producción.

A continuación, se presentan los resultados del análisis desarrollado para las diferentes hipótesis analizadas para el proyecto y en función de la relación Q/Q_{mod} . Q es el caudal de diseño y Q_{mod} es caudal promedio del rio.

Se recuerda que en el presente estudio fueron analizados diferentes escenarios de caudal promedio, con vista a evaluar el rango de potencia y producción de energía de la PCH. Estés escenarios se justifican dada la naturaleza preliminar del estudio y para abordar la falta de registros hidrométricos en la cuenca del proyecto. Así, fueron analizados tres escenarios, en particular el Escenario A, con $Q_{mod,A}=0,3$ m³/s, el Escenario B, con $Q_{mod,B}=0,6$ m³/s, y el Escenario C, con $Q_{mod,C}=0,8$ m³/s.

| Qdim/Qmod | Potencia máxima instalada (MW) | Energia anual producida (GWh) | Costes de inversión (XAF) | Costo kW instalado (XAF/kW) | Costo KWh (XAF/kWh) |
|-----------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| 0,60 | 0,343 | 2,007 | 1,574,E+09 | 4 595 070 | 96,2 |
| 0,80 | 0,457 | 2,461 | 1,706,E+09 | 3 733 495 | 86,2 |
| 1,00 | 0,571 | 2,831 | 1,902,E+09 | 3 331 426 | 83,9 |
| 1,20 | 0,685 | 3,127 | 2,099,E+09 | 3 063 380 | 83,8 |
| 1,40 | 0,799 | 3,361 | 2,296,E+09 | 2 871 919 | 85,1 |

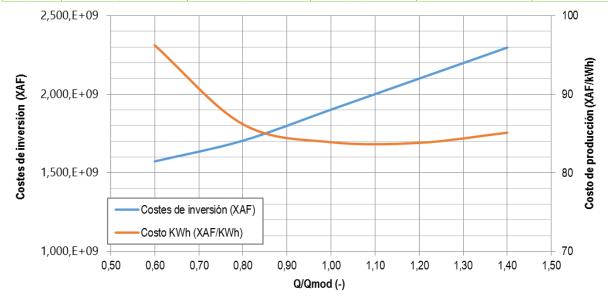


Figura 19 - Análisis económico en función de la relación Q/Qmod, con r=10%. Escenario A $(Q_{mod,A}=0,3 \text{ m}^3/\text{s}).$

| Qdim/Qmod | Potencia máxima instalada (MW) | Energia anual producida (GWh) | Costes de inversión (XAF) | Costo kW instalado (XAF/kW) | Costo KWh (XAF/kWh) |
|-----------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| 0,60 | 0,343 | 2,007 | 1,574,E+09 | 4 595 070 | 131,2 |
| 0,80 | 0,457 | 2,461 | 1,706,E+09 | 3 733 495 | 117,0 |
| 1,00 | 0,571 | 2,831 | 1,902,E+09 | 3 331 426 | 113,8 |
| 1,20 | 0,685 | 3,127 | 2,099,E+09 | 3 063 380 | 113,7 |
| 1,40 | 0,799 | 3,361 | 2,296,E+09 | 2 871 919 | 115,5 |

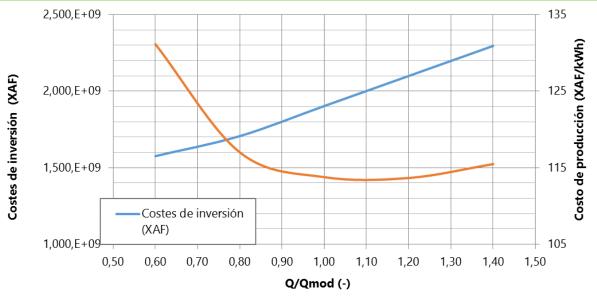


Figura 20 - Análisis económico en función de la relación Q/Qmod, con r=15%. Escenario A $(Q_{mod,A}{=}0{,}3~m^3/s).$

| Qdim/Qmod | Potencia máxima instalada (MW) | Energia anual producida (GWh) | Costes de inversión (XAF) | Costo kW instalado (XAF/kW) | Costo KWh (XAF/kWh) |
|-----------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| 0,60 | 0,343 | 2,007 | 1,574,E+09 | 4 595 070 | 168,4 |
| 0,80 | 0,457 | 2,461 | 1,706,E+09 | 3 733 495 | 149,9 |
| 1,00 | 0,571 | 2,831 | 1,902,E+09 | 3 331 426 | 145,7 |
| 1,20 | 0,685 | 3,127 | 2,099,E+09 | 3 063 380 | 145,5 |
| 1,40 | 0,799 | 3,361 | 2,296,E+09 | 2 871 919 | 147,9 |

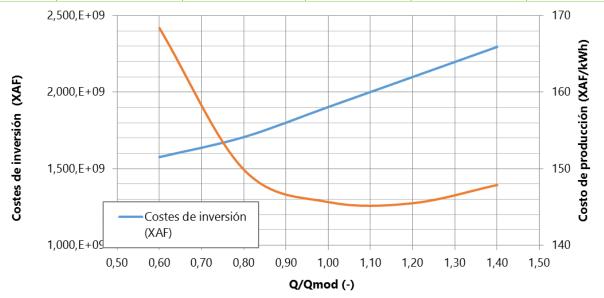


Figura 21 - Análisis económico en función de la relación Q/Qmod, con r=20%. Escenario A $(Q_{mod,A}{=}0{,}3~m^3/s).$

| Qdim/Qmod | Potencia máxima instalada (MW) | Energia anual producida (GWh) | Costes de inversión (XAF) | Costo kW instalado (XAF/kW) | Costo KWh (XAF/kWh) |
|-----------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| 0,60 | 0,685 | 4,015 | 2,099,E+09 | 3 063 380 | 67,4 |
| 0,80 | 0,914 | 4,923 | 2,427,E+09 | 2 656 525 | 64,2 |
| 1,00 | 1,142 | 5,662 | 2,821,E+09 | 2 469 850 | 64,7 |
| 1,20 | 1,371 | 6,254 | 3,214,E+09 | 2 345 400 | 66,5 |
| 1,40 | 1,599 | 6,723 | 3,542,E+09 | 2 215 480 | 67,9 |

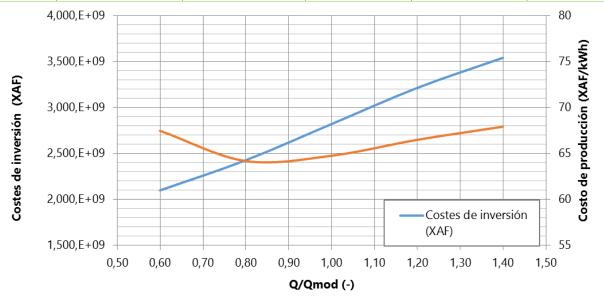


Figura 22 - Análisis económico en función de la relación Q/Qmod, con r=10%. Escenario B $(Q_{mod,B}{=}0,6~m^3/s).$

| Qdim/Qmod | Potencia máxima instalada (MW) | Energia anual producida (GWh) | Costes de inversión (XAF) | Costo kW instalado (XAF/kW) | Costo KWh (XAF/kWh) |
|-----------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| 0,60 | 0,685 | 4,015 | 2,099,E+09 | 3 063 380 | 90,7 |
| 0,80 | 0,914 | 4,923 | 2,427,E+09 | 2 656 525 | 86,1 |
| 1,00 | 1,142 | 5,662 | 2,821,E+09 | 2 469 850 | 86,9 |
| 1,20 | 1,371 | 6,254 | 3,214,E+09 | 2 345 400 | 89,3 |
| 1,40 | 1,599 | 6,723 | 3,542,E+09 | 2 215 480 | 91,4 |

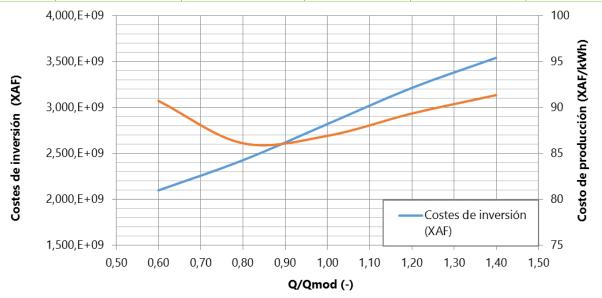


Figura 23 - Análisis económico en función de la relación Q/Qmod, con r=15%. Escenario B $(Q_{mod,B}{=}0,6~m^3/s).$

| Qdim/Qmod | Potencia máxima instalada (MW) | Energia anual producida (GWh) | Costes de inversión (XAF) | Costo kW instalado (XAF/kW) | Costo KWh (XAF/kWh) |
|-----------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| 0,60 | 0,685 | 4,015 | 2,099,E+09 | 3 063 380 | 115,5 |
| 0,80 | 0,914 | 4,923 | 2,427,E+09 | 2 656 525 | 109,5 |
| 1,00 | 1,142 | 5,662 | 2,821,E+09 | 2 469 850 | 110,5 |
| 1,20 | 1,371 | 6,254 | 3,214,E+09 | 2 345 400 | 113,7 |
| 1,40 | 1,599 | 6,723 | 3,542,E+09 | 2 215 480 | 116,3 |

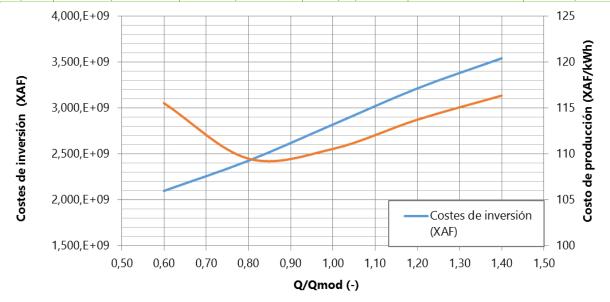


Figura 24 - Análisis económico en función de la relación Q/Qmod, con r=20%. Escenario B $(Q_{mod,B}{=}0,6~m^3/s).$

| Qdim/Qmod | Potencia máxima instalada (MW) | Energia anual producida (GWh) | Costes de inversión (XAF) | Costo kW instalado (XAF/kW) | Costo KWh (XAF/kWh) |
|-----------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| 0,40 | 0,609 | 3,881 | 1,968E+09 | 3 230 909 | 65,7 |
| 0,60 | 0,914 | 5,353 | 2,427E+09 | 2 656 525 | 59,8 |
| 0,80 | 1,218 | 6,564 | 2,952E+09 | 2 423 182 | 59,4 |
| 1,00 | 1,523 | 7,549 | 3,477E+09 | 2 283 176 | 60,6 |
| 1,20 | 1,827 | 8,339 | 3,936E+09 | 2 153 939 | 61,8 |

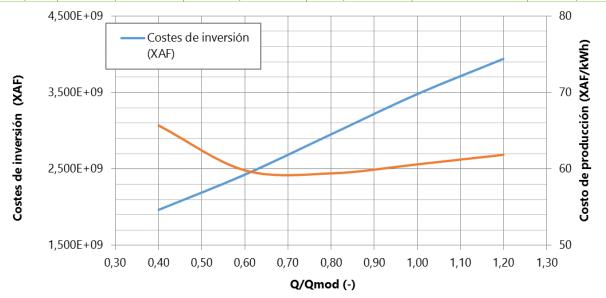


Figura 25 - Análisis económico en función de la relación Q/Qmod, con r=10%. Escenario C $(Q_{mod,C}{=}0,8~m^3/s).$

| Qdim/Qmod | Potencia máxima instalada (MW) | Energia anual producida (GWh) | Costes de inversión (XAF) | Costo kW instalado (XAF/kW) | Costo KWh (XAF/kWh) |
|-----------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| 0,40 | 0,609 | 3,881 | 1,968E+09 | 3 230 909 | 88,3 |
| 0,60 | 0,914 | 5,353 | 2,427E+09 | 2 656 525 | 80,0 |
| 0,80 | 1,218 | 6,564 | 2,952E+09 | 2 423 182 | 79,4 |
| 1,00 | 1,523 | 7,549 | 3,477E+09 | 2 283 176 | 81,1 |
| 1,20 | 1,827 | 8,339 | 3,936E+09 | 2 153 939 | 82,9 |

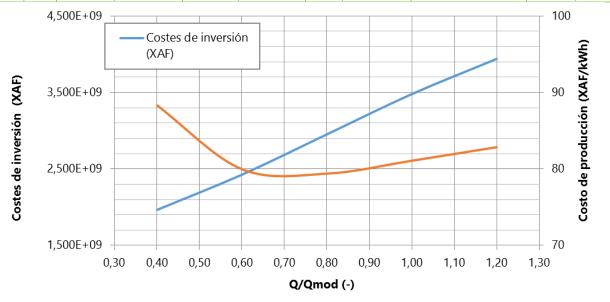


Figura 26 - Análisis económico en función de la relación Q/Qmod, con r=15%. Escenario C $(Q_{mod,C}{=}0,8~m^3/s).$

| Qdim/Qmod | Potencia máxima instalada (MW) | Energia anual producida (GWh) | Costes de inversión (XAF) | Costo kW instalado (XAF/kW) | Costo KWh (XAF/kWh) |
|-----------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| 0,40 | 0,609 | 3,881 | 1,968E+09 | 3 230 909 | 112,3 |
| 0,60 | 0,914 | 5,353 | 2,427E+09 | 2 656 525 | 101,5 |
| 0,80 | 1,218 | 6,564 | 2,952E+09 | 2 423 182 | 100,7 |
| 1,00 | 1,523 | 7,549 | 3,477E+09 | 2 283 176 | 102,9 |
| 1,20 | 1,827 | 8,339 | 3,936E+09 | 2 153 939 | 105,2 |

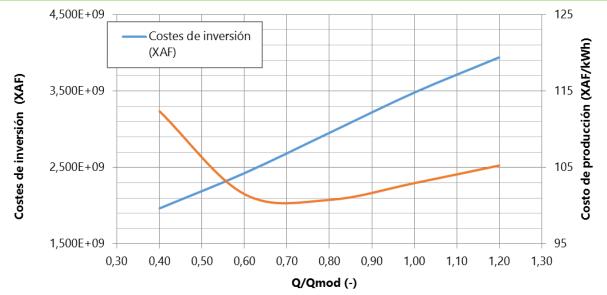


Figura 27 - Análisis económico en función de la relación Q/Qmod, con r=20%. Escenario C $(Q_{mod,C}=0.8 \text{ m}^3/\text{s}).$

Teniendo en cuenta los resultados presentados en las tablas y figuras, se han extraído las siguientes conclusiones:

- El costo de inversión del aprovechamiento hidroeléctrico aumenta en función de la relación Q/Q_{mod}, dado que la bocatoma y casa de las maquinas son diseñadas para caudales mayores;
- El costo del kW instalado baja con el aumento de la relación Q/Q_{mod}, dado que se verifican economías de escala;
- El costo del MWh producido baja con la diminución de la tasa de descuento, como ya había sido comentado;

– Independientemente del valor de la tasa de descuento, el costo del MWh producido más bajo es obtenido para la relación $Q/Q_{mod} = 1,1$ para el escenario A, $Q/Q_{mod} = 0,8$ para los escenarios B y C.

Cabe observar que los valores presentados son estimados teniendo en cuenta la explotación para un año medio de caudales.

En el primer año se estima que la producción hidroeléctrica disponible con una potencia instalada máxima de 1 MW será de 4 923 MWh ($Q_{dim}/Q_{mod} = 0.8$, para el escenario B $Q_{mod,B} = 0.6$ m³/s).

En Adjunto 11.2 se presentan los cálculos de viabilidad económica del proyecto en 25 años. Si el capital invertido fuera 100% público o financiación comunitaria a fondo perdido, el periodo de retorno del investimento seria de 25 años, con una tasa de interés de 15%.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente estudio fue analizada la prefactibilidad de construcción de una pequeña central hidroeléctrica, (PCH), en el rio Voholo, al fin de conectarla a la red SEGESA más cercana del sitio. La PCH fue diseñada para minimizar el costo de producción del MWh, por lo que se ha realizado la evaluación tanto de la energía anual producida, como de los costes de inversión totales de la PCH para diferentes relaciones de Q/Q_{mod}, (caudal de diseño/caudal promedio). El propósito de este análisis fue optimizar la potencia a instalar. Señalase que Q es el caudal de diseño y Q_{mod} es caudal promedio del rio.

En el marco del estudio de prefactibilidad se ha realizado un reconocimiento de campo a fin de evaluar las condiciones hidrológicas y topográficas del rio.

Después de analizado el perfil longitudinal del rio en estudio, entre el sitio visitado y la confluencia con el rio Mussola, se concluyó que su pendiente es moderada a fuerte (superior a 5%), por lo que habría una ganancia de salto con la utilización de tubería. Por esta razón se recomienda la implantación de una central de derivación para la PCH.

En las tablas siguientes se presentan los resultados obtenidos para las hipótesis en estudio, en función de las relaciones Q/Q_{mod} . Se recuerda que en el presente estudio fueron analizados diferentes escenarios de caudal promedi

o, con vista a evaluar el rango de potencia y producción de energía de la PCH. Estés escenarios se justifican dada la naturaleza preliminar del estudio y para abordar la falta de registros hidrométricos en la cuenca del proyecto. Así, fueron analizados tres escenarios, en particular el Escenario A, con $Q_{mod,A}=0.3~m^3/s$, el Escenario B, con $Q_{mod,B}=0.6~m^3/s$, y el Escenario C, con $Q_{mod,C}=0.8~m^3/s$.

Señalase que se ha optado por presentar los valores del coste de producción para diferentes tasas de descuento (r) al fin de demonstrar su influencia en el mismo. Se consideró las siguientes tasas de descuento 10%, 15% y 20%.

Tabla 15 – Resultados obtenidos para la Escenario A (Q_{mod,A}=0,3 m³/s). Rango de valores para cada ítem.

| Relación Q/Q _{mod} | 0,6 | | 1,4 |
|-------------------------------------|-------|---|-------|
| Potencia máxima instalada (kW) | 0,343 | | 0,799 |
| Energía anual producida (GWh) | 2,007 | - | 3,361 |
| Costo del kW instalado (106 XAF/kW) | 4,595 | _ | 2,872 |
| Factor de planta (%) | 67 | | 48 |

Tabla 16 - Resultados obtenidos para la Escenario B ($Q_{mod,B}$ =0,6 m 3 /s). Rango de valores para cada ítem.

| Relación Q/Q _{mod} | 0,6 | | 1,4 |
|-------------------------------------|-------|---|-------|
| Potencia máxima instalada (kW) | 0,685 | - | 1,599 |
| Energía anual producida (GWh) | 4,015 | - | 6,723 |
| Costo del kW instalado (106 XAF/kW) | 3,063 | - | 2,215 |
| Factor de planta (%) | 67 | | 48 |

Tabla 17 - Resultados obtenidos para la Escenario C ($Q_{mod,C}$ =0,8 m 3 /s). Rango de valores para cada ítem.

| Relación Q/Q _{mod} | 0,4 | | 1,2 |
|-------------------------------------|-------|---|-------|
| Potencia máxima instalada (kW) | 0,609 | - | 1,827 |
| Energía anual producida (GWh) | 3,881 | - | 8,339 |
| Costo del kW instalado (106 XAF/kW) | 3,231 | - | 2,154 |
| Factor de planta (%) | 73 | | 52 |

Independientemente del valor de la tasa de descuento, el costo del MWh producido más bajo es obtenido para la relación Q/Qmod = 1,1 para el escenario A, Q/Qmod = 0,8 para los escenarios B y C.

11. ESTUDIO DE IMPACTES AMBIENTALES

11.1. CARACTERIZACIÓN DE LA SITUACIÓN DE REFERENCIA

Para obtener una base de referencia para evaluar los efectos causados por el Proyecto, se hizo una caracterización de la zona en estudio para el Proyecto a nivel de los diversos componentes del ambiente previsiblemente de ser afectado. Son objeto de análisis los siguientes descriptores:

- Clima;
- Biodiversidad (fauna, flora y vegetación);
- Geología, geomorfología y suelos
- Recursos Hídricos
- Ambiente sonoro
- Calidad del air
- Socio economía
- Territorio: ordenación territorial, condicionantes y uso de los suelos; el patrimonio cultural y el paisaje.

Esta caracterización tuve como base los datos/informaciones obtenidas en el decurso de las visitas de reconocimiento realizadas en mayo y en octubre de 2019 con objetivo de reconocer las poblaciones de Belebú y Buemeriba y el área de implantación del azud, así como los accesos existentes. Se basó también con recurso a bibliografía y otras informaciones proporcionadas por fuentes oficiales, específicamente el Anuario Estadístico de Guinea Ecuatorial 2018 del INEGE – Instituto Nacional de Estadística de Guinea Ecuatorial.

La ausencia o indisponibilidad de obtener más información del área en estudio no permitió una caracterización más completa y específica, de manera que algunos descriptores se caracterizan a nivel de la isla de Bioko.

11.1.1. Localización geográfica del proyecto

La ubicación geográfica del proyecto está presentada en Figura 11.

11.1.1. Clima

El clima de Guinea Ecuatorial es húmedo tropical (Clase Am), caracterizado por una temperatura promedio alta y bajas variaciones térmicas, y abundantes lluvias monzónicas.

En la isla de Bioko, el clima adquiere características monzónicas más obvias, siendo influenciado por las cálidas corrientes marinas del Golfo de Guinea y el relieve volcánico. La temperatura media anual es de 25°C. La lluvia es más abundante que en el continente. Las condiciones climatológicas varían con la altitud, o sea, hasta 600 metros las lluvias alcanzan un promedio anual de 1 200 a 3 000 mm, en altitudes de 600 a 1000 metros las lluvias llegan a los 2 000 a 4 000mm y en altitudes superiores (encima de los 1 500 mm) las precipitaciones anuales aumentan y pueden llegar hacia 10 000mm en las zonas montañosas del sur de Bioko. Lo período menos lluvioso ocurre entre diciembre y febrero. La estación lluviosa comprende el período de abril a octubre. La humedad relativa tiene un promedio de 90%, siendo más alta en el sur de la isla y en altitudes entre 1 000m y 1 500m.

En la Figura 3 se presenta la precipitación media anual de la isla de Bioko.

11.1.2. Geología, geomorfología y suelos

La morfología de Bioko presenta esencialmente dos tipos de paisajes naturales: el paisaje de terrazas, que se extiende alrededor de toda la isla y presenta suelos jóvenes y de buena fertilidad, y el paisaje montañoso (en la parte central de la isla) formado por terrenos de origen tectónico, presentando elevaciones hasta 3 000 metros.

La isla de Bioko tiene ondulaciones con pendientes suaves, moderados y escarpadas (afloramientos rocosos) con profundos valles separados por crestas y calderas. En las pendientes suaves y moderadas existen suelos de gran fertilidad.

Teniendo en cuenta el perfil longitudinal del rio en estudio, entre el sitio visitado para implantación de lo azud y la confluencia con el rio Musola, se ha constatado que su pendiente es moderada a fuerte (superior a 5%).

Debido a la homogeneidad de la roca madre, compuesta de lavas basálticas, existe poca variedad de suelos en la isla (suelos aluviales en las tierras bajas y los suelos que resultan de la erosión del basalto en las tierras altas) y estos son muy fértiles pues están formados por material volcánico. La composición geológica de la isla está presentada en la Figura 4. Se observa que el proyecto se encuentra en una zona de rocas volcánicas y diversas. En la Figura 5 se puede observar que los suelos en la cuenca del proyecto se clasifican como *Andosoles húmicos saturados en agua* y *Andosoles saturados en agua*. Los suelos presentes en las tierras bajas, entre las poblaciones de Belebú y Luba, se caracterizan como *Suelos ferralíticos*.

11.1.1. Biodiversidad (fauna, flora y vegetación)

Guinea Ecuatorial es muy rica en biodiversidad, es una de las zonas con mayor biodiversidad en África y muchas especies aún están siendo inventariadas. La biodiversidad aporta una serie de beneficios a la economía del país en la forma de bienes y servicios ambientales, usados como materia prima en algunas actividades económicas, o como bienes o servicios de consumo final en otras actividades.

En específico en la isla de Bioko es posible encontrar más de 1 000 especies de flora, más de 300 especies de vertebrados, más de 65 especies de mamíferos terrestres, incluyendo formas endémicas (28%), llamando la atención para los primates. Se han detectado más de 140 especies de aves, más de 30 especies de peces y más de 30 especies de anfibios. Hay 52 especies de reptiles y 4 especies de tortugas marinas que utilizan las playas de sur para desove (*Anuario Estadístico de Guinea Ecuatorial (2017)*).

De acuerdo con la base de dados *FishBase* existe una especie de pece de agua dulce endémica de la isla de Bioko clasificada como "en peligro" segundo la Lista Roja de UICN: *Fundulopanchax oeseri* (Schmidt, 1928) (nombre común: Nfvong). No fue posible identificar el río o ríos donde se encuentra presente, pero es conocida de la selva tropical en el lado norte de la isla de Bioko. Ocurre en pantanos y arroyos pantanosos y pequeños arroyos en la selva y es una especie no migratoria.

Otra especie de pece, clasificada como "vulnerable", presente en la isla de Bioko es *Awaous bustamantei* (Greeff, 1882), cuyo hábitats son ríos en cascada: ríos con alta velocidad, agua fría y clara.

De acuerdo con la Lista Roja de Especies Amenazadas elaborada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) (2019) se identificaron las siguientes especies clasificadas como "vulnerables" a tener en cuenta en el área de estudio del proyecto, una vez que puede ser hábitat de estas especies:

Tabla 18 - Especies vulnerables presentes en la isla de Bioko cuya distribución cubre el área de proyecto

| Nombre común | Nombre científico | Distribución de la especie | Hábitat | Clase |
|---|--------------------------|----------------------------|---|--------------------|
| Angraecum pungens | Angraecum pungens | | Bosque (densos bosques de tierras bajas, aguas abajo de cascadas, que crecen en ramas caídas cerca de cursos de agua aguas arriba de áreas con vegetación de manglar) | Liliopsida (Flora) |
| Mono de orejas rojas | Cercopithecus erythrotis | Van | Bosque (se encuentra en bosques húmedos tropicales y submontanos de tierras bajas primarias y secundarias, y a veces vive cerca de los humanos) | Mamífero |
| Pangolín de tierra gigante | Smutsia gigantea | Halabe | Bosque | Mamífero |
| Pangolín de vientre blanco | Phataginus tricuspis | Halabo | Bosque (esta especie ocurre predominantemente en bosques húmedos de tierras bajas tropicales, pero también ocurre en bosques densos, especialmente a lo largo de cursos de agua) | Mamífero |
| Murciélago de hoja redonda de cola corta | Hipposideros curtus | Walake Park | Cuevas y hábitats subterráneos (no acuáticos) y bosques (Esta especie poco conocida está asociada con el bosque húmedo tropical de tierras bajas y no está presente en áreas de bosque deforestado) | Mamífero |

El Programa de Protección de la Biodiversidad de Bioko en 2010 ha advertido para el grave peligro de extinción de los primates de la isla (la mayor parte no se encuentran en ninguna otra parte del mundo). De acuerdo con la Lista Roja de Especies Amenazadas de UICN nueve de las once especies de primates de Bioko son subespecies clasificadas como "en peligro" o "vulnerables". Combatir la caza furtiva de especies de vida silvestre protegidas es uno de los principales desafíos del país relacionados con la protección y conservación de los ecosistemas.

Debido al efecto de la altitud y a los cambios notables en la pluviosidad se pueden diferenciar diversas comunidades vegetables en la isla. La región es caracterizada pela presencia de vegetación de hoja ancha y perenne (presencia de fanerófitas, así como muchas lianas y epifitas).

En el sur de la isla, el bosque es más denso y también rico en orquídeas, gracias a los 10 000 mm de lluvia que precipita anualmente.

Alrededor del local para la implantación de lo azud se encuentra vegetación muy densa con elevados niveles de humedad. Las formaciones vegetales en la zona están poco o no están afectadas, pues no ha intervención humana (véase Figura 28).







Figura 28 - Vegetación alrededor del rio Voholo

11.1.1. Recursos Hídricos

En la isla de Bioko, el sistema fluvial emana radialmente de las masas volcánicas de Basilé, Biao y Luba. Los ríos tienen un curso rápido debido a las pendientes considerables, con numerosas cascadas. Los principales ríos que drenan las tierras altas del sur incluyen el Ole, Osa, Moaba y Iladyi.

En la Figura 29 se presenta la Rede Hidrográfica de la Isla de Bioko. Las características hidrográficas de la isla favorecen la generación de energía hidroeléctrica. En Bioko se localizan tres centrales hidroeléctricas: una en Riaba, puesta en marcha en 1989 (con una potencia instalada de 3,8 MW, con dos turbinas Francis de tipo horizontal) y dos centrales en Musola, central Musola I y II (con una capacidad total de 0,114 MW), pero se encuentran descapitalizadas y fuera de operación (*Plan de Acción Nacional para El Desarrollo de las Energías Renovables 2018-2025— PANDER*).

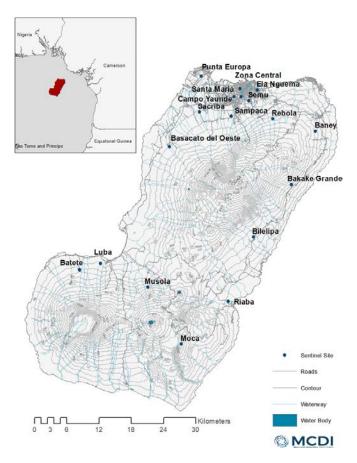


Figura 29 - Rede Hidrográfica de la isla de Bioko, Guinea Ecuatorial. Fuente: Medical Care Development International.

La pequeña central hidroeléctrica (PCH) de Belebú se ubica en el rio Voholo, un afluente del rio Mussola. En Figura 30 se muestran fotografías del tramo del rio Voholo visitado que se ubica a 3 km de la población de Belebú.

No se dispone de datos o información sobre la calidad de agua en el lugar en esta fase de estudio preliminar.



Figura 30 - Rio Voholo

11.1.1. Calidad del aire

La calidad del aire en el lugar de implementación del proyecto se considera cómo globalmente buena, debido la ausencia de actividades humanas existiendo condiciones favorables para la dispersión de contaminantes. La vegetación de la floresta tropical tiene una gran capacidad de secuestro de carbono.

11.1.2. Ambiente Sonoro

No se identifican pueblos o actividades generadoras de ruido en el lugar de implementación del proyecto y el área circundante se caracteriza por ser un área rural y tiene niveles de densidad de población muy bajos, lo que permite un ambiente sonoro de calidad.

11.1.3. Socio Economía

Contexto demográfico

En la tabla siguiente se presenta la población de la isla de Bioko por serie censal 1983-2015.

Tabla 19 - Población de la isla de Bioko por serie censal 1983-2015 (habitantes)

| Ubicación | 1983 | 1994 | 2001 | 2015 |
|-------------|--------|---------|---------|---------|
| Bioko Norte | 47 170 | 110 258 | 231 428 | 300 374 |
| Bioko Sur | 10 570 | 18 444 | 29 034 | 34 674 |

Fuente: Anuario Estadístico de Guinea Ecuatorial 2018 del Instituto Nacional de Estadística de Guinea Ecuatorial (INEGE)

Basado en el crecimiento de la población descrito en la Tabla la población de Bioko Sur ha crecido 19%/año. Así, cada año, se espera que Bioko Sur crezca un 1,3% por año.

Suponiendo una proporcionalidad directa entre el crecimiento de la población y el consumo de energía, se espera un aumento en el consumo anual de electricidad de 263,83 MWh / año a 356,19 MWh / año (después de 25 años).

43,1% de la población de Bioko Sur vive en el ámbito rural (2015). Por otro lado, Bioko Norte la población rural representa 11,2%.

Como se observa en la tabla siguiente, el tamaño medio de hogares (urbanos y rurales) en la región de Bioko Sur es de 3,9 habitantes/hogar.

En las visitas realizadas al lugar se puede constatar que, demográficamente, la población de Belebú se caracteriza como envejecida, aunque hay algunos niños.

Tabla 20 – Cantidad de hogares y tamaño medio de hogares en la isla de Bioko (2015)

| Ubicación | Cantidad de hogares (2015) | Tamaño medio de hogares (hab./nº hogares) |
|-------------|----------------------------|--|
| Bioko Norte | 71 521 | 4,3 |
| Bioko Sur | 8 802 | 3,9 |

Fuente: Anuario Estadístico de Guinea Ecuatorial 2018 del Instituto Nacional de Estadística de Guinea Ecuatorial (INEGE)

Estructura productiva

Belebú y Buemeriba son poblaciones rurales cuya actividad económica principal es la agricultura (por ejemplo, recogida de fruta como plátano y piña). Hay rastros de la existencia del cultivo de cacao en Belebú, pero hoy en día parece abandonado (Figura 31 – Secador de cacao).

De hecho, la economía de Guinea Ecuatorial en 1990 se basaba principalmente en la producción de cacao y café y también en la exportación de la madera en rollo. En 1950, la mayor parte del bosque en Bioko debajo de 1 000 m altitud fue autorizado para la producción de cacao. Se estima que al final del siglo XIX más de 90 000 hectáreas habrían sido transformadas en plantaciones de cacao, pero los cambios políticos y el abandono de las plantaciones hicieron caer la producción de cacao. Desde el año 1995, debido al descubrimiento y la explotación de importantes yacimientos de crudo, este ha sido el motor principal de la economía del país. La exportación de la madera ocupa el segundo lugar en la economía del país.



Figura 31 – Secador de cacao

La edificación o infraestructuras y accesibilidades

Belebú tiene 98 hogares, una escuela y una iglesia (Figura 32). Buemeriba es una pequeña aldea con 24 hogares.



Figura 32 – Visión general de la población de Belebú

Se identificó en el en el lugar de implementación del proyecto un puente (Figura 33). En esta fase de estudio, no fue posible obtener datos o información sobre la existencia de más infraestructuras o elementos que constituyen patrimonio cultural en el área de inserción de proyecto.



Figura 33 - Puente en el rio Voholo

En cuanto a los accesos cerca del 40% de la isla es inaccesible por tierra debido a la densa selva tropical.

El acceso a las poblaciones se realiza por la carretera principal que conecta Luba a Ureca (Figura 34).





Figura 34 - Carretera principal que conecta Luba a Ureca

La Figura 35 muestra lo acceso peatonal en tierra al área de inserción del proyecto, a partir de la carretera existente que conecta Luba a San Antonio de Ureca (se encuentra a 2 km del sitio de visita).





Figura 35 - Acceso peatonal en tierra al área de inserción del proyecto

Fuentes de energía eléctrica/ nivel de electrificación

La principal fuente de energía de la isla es la Central Térmica Turbogas ubicada en Malabo con una potencia instalada de 156 MW. Suministra energía eléctrica a la ciudad de Malabo por líneas de transmisión a 66kV y a poblados del Norte y Sur de la Isla por líneas de distribución aéreas a 33kV.

Como se observa en la Figura 36, la principal fuente de energía en la región insular es diésel o gas (fuentes de energía no renovables).

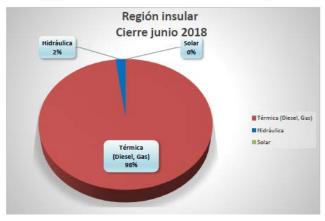


Figura 36 – Potencia instalada por fuente de energía (Región Insular de Bioko). Fuente: Plano Desarrollo Energías Renovables Guinea Ecuatorial 2018-2025

Los hogares existentes en Belebú y Buemeriba no tienen servicio eléctrico nacional (SEGESA Insular). La población de Belebú tiene instalado un generador diésel de 80 kW (índice de consumo de 210 g/kWh), no suficiente para atender la demanda de energía. Este generador funciona solo de noche y depende del suministro de diésel (Figura 37).





Figura 37 – Generador existente en Belebú y línea de distribución de electricidad

Consumos energéticos / Perfil de consumo de electricidad

El actual suministro de electricidad se realiza con un generador a gasóleo, donde no existe ni datos históricos de consumo de gasóleo ni datos de consumos a partir de las facturas de energía eléctrica (aunque algunas casas tienen contador de electricidad).

Se realizó una campaña de levantamiento de equipos y sus horas de funcionamiento en el parque habitacional de Belebú y Buemeriba.

Con base en datos recogidos en el lugar, se estimó un perfil de carga de consumo del Municipio de Belebú y Buemeriba

La tabla siguiente presenta un resumen de las tipologías de equipos, cantidades y potencias.

Tabla 21 - Equipos consumidores de energía eléctrica, instalados en Belebú y Buemeriba

| LEVANTAMIENTO EQUIPOS | | | | | | |
|-----------------------|---|-----------|-----------------------|-----------------------|--|--|
| Código | Designación | Cantidade | Potencia unit. [W] | Potencia total [W] | | |
| 1. | Pequeñas habitaciones (BELEBU+BUEMERIBA) | 122 | - | - | | |
| 1.1 | Bombias | 1 379 | 11,00 | 15 169,00 | | |
| 1.2 | Congelador | 50 | 50,00 | 2 500,00 | | |
| 1.3 | Televisor | 98 | 150,00 | 14 700,00 | | |
| 1.4 | Decoder | 3 | 0,00 | 0,00 | | |
| 1.5 | Plancha | 60 | 1 600,00 | 96 000,00 | | |
| 1.6 | M.Lavadora | 42 | 1 388,00 | 58 296,00 | | |
| 1.7 | Calentador | 8 | 2 000,00 | 16 000,00 | | |
| 1.8 | Aparato | 12 | 0,00 | 0,00 | | |
| 1.9 | DVD | 10 | 30,00 | 300,00 | | |
| 1.10 | Frigorifico | 62 | 100,00 | 6 200,00 | | |
| 1.11 | Radio | 28 | 50,00 | 1 400,00 | | |
| 1.12 | Cafetera | 1 | 2 000,00 | 2 000,00 | | |
| 1.13 | Nevera | 7 | 80,00 | 560,00 | | |
| 1.14 | E.Musical | 41 | 40,00 | 1 640,00 | | |
| 1.15 | Microondas | 9 | 750,00 | 6 750,00 | | |
| 1.16 | Máquina de Cozer | 1 | 75,00 | 75,00 | | |
| 1.17 | Secador | 3 | 1 500,00 | 4 500,00 | | |
| 1.18 | lluminación pública | 12 | 150,00 | 1 800,00 | | |

Los perfiles de carga relacionados con el porcentaje (%) uso de equipos, el porcentaje (%) de horas en utilización de los equipos y la potencia eléctrica consumida se describen en Adjunto 11.3.

En el análisis de los perfiles de carga, se estimó el consumo diario, mensual y anual y potencia de pico de Belebu y Buemeriba, descritos en la siguiente Tabla.

Tabla 22 - Estimación de consumo de energía eléctrica del Municipio de Belebú y Buemeriba

| RESULTADOS | | | | | | | |
|------------|-------------------------------------|-----------|-------------------|--|--|--|--|
| Código | Designación | Cantidade | Unidad | | | | |
| 2. | Consumo diario | 720 079,4 | Wh/dia | | | | |
| 3. | Consumo mensual | 21 962,4 | kWh/mês | | | | |
| 4. | Consumo anual | 262 829,0 | kWh/ano | | | | |
| 5. | Potencia Pico | 77 539,3 | W | | | | |
| | Consumo mensal | 21 962,4 | kWh/mês | | | | |
| | | 79 064,7 | MJ/mês | | | | |
| | | 2 186,8 | l/mês | | | | |
| | Custo mensal médio por habitação | 350,0 | XAF/I | | | | |
| | | 765 378,8 | XAF/mês | | | | |
| | | 122,0 | habitacões | | | | |
| | | 6 273,6 | XAF/mês.habitação | | | | |
| | Precio de kWh | 180,0 | kWh/mês.habitação | | | | |
| | | 34,8 | XAF/kWh | | | | |

11.1.1. Ordenación territorial

Uso del suelo

La mayor parte del territorio está cubierto por bosque tropical y las áreas artificiales incluyen poblaciones y caminos de acceso. Las poblaciones existentes son dispersas. La Figura 38 y la Figura 39 presentan la cobertura de tierra en la isla y las áreas protegidas, respectivamente.

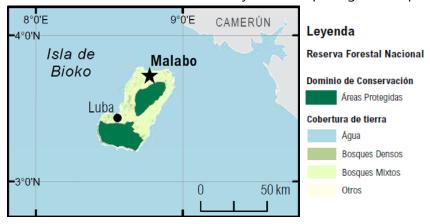


Figura 38 – Dominio de conservación y cobertura de tierra en la isla de Bioko (2013). Fuente: Atlas Forestal de Guinea Ecuatorial (INDEFOR AP. 2013 -MAGBMA)

Como descrito en el punto anterior la densa selva húmeda de tierras bajas en la isla a finales del siglo XIX fue reemplazada por plantaciones de cacao, aunque como consecuencia del abandono de la mayoría de las plantaciones hoy en día la selva densa húmeda de tierras bajas permanece. Por otro lado, los bosques de montaña han sido poco afectados debido a su mayor altitud, muy poca accesibilidad y el clima extremo.

Todos los bosques aptos al aprovechamiento forestal a gran escala se encuentran en el territorio continental. La Ley nº1 sobre Uso y Manejo de los Bosques (1997) excluye cualquier actividad de explotación de los bosques con fines comerciales (tala industrial) en la isla. La actividad del corte de madera en la isla está destinado al consumo local.

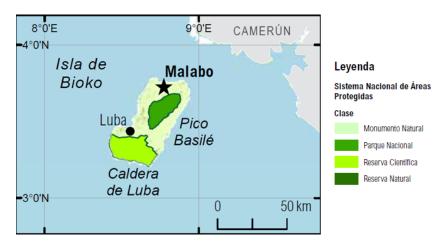


Figura 39 – Áreas protegidas en la isla de Bioko (2013). Fuente: Atlas Forestal de Guinea Ecuatorial (INDEFOR AP. 2013 - MAGBMA)

Hay dos áreas protegidas en la isla, pero ninguna de estas se gestiona aún de manera efectiva (segundo el Atlas Forestal de Guinea Ecuatorial à data de 2013, véase la tabla siguiente). Sin embargo, existe la Ley nº 4/2000 sobre Áreas Protegidas que concede especial importancia a la protección de los ecosistemas naturales y a las practicas que se realizan dentro de estas áreas por las comunidades humanas.

Las áreas protegidas en la isla de Bioko son la Caldera de Luba (Reserva Científica de La Caldera de Luba) y el Parque Nacional Pico Basilé. La tabla siguiente presenta la superficie, año de creación y el estado del plan de manejo de las respectivas áreas à data de 2013.

Tabla 23 – Información sobre las áreas protegidas en la isla de Bioko. Fuente: Atlas Forestal de Guinea Ecuatorial (INDEFOR AP. 2013 -MAGBMA)

| Clase | Nombre | Año de creación | Estado del Plan de Manejo | Superficie (ha) |
|--------------------|-----------------|-----------------|------------------------------|-----------------|
| Reserva Científica | Caldera de Luba | 2000 | No ha comezado¹ | 51 000 |
| Parque Nacional | Pico Basilé | 2000 | No ha comezado ¹ | 30 000 |

1- A la fecha de 2013

Se puede constatar en la Figura 40 que el lugar de implementación del proyecto se encuentra fuera del ámbito de la Reserva Científica (representada en color verde).

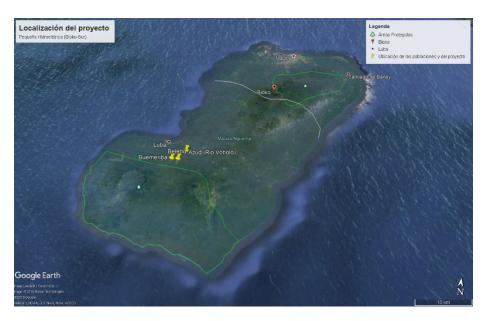


Figura 40 -Lugar de implementación del proyecto en el contexto de la isla de Bioko

11.2. PRINCIPALES IMPACTES DEL PROYECTO

Este subcapítulo identifica los impactes ambientales y sociales potencialmente asociados con la construcción y explotación de la pequeña hidroeléctrica realizado en Belebú (Bioko-Sur), proyecto que incluya las infraestructuras mencionadas en el capítulo 4 y las siguientes actividades abajo mencionadas.

De señalarse que el proyecto también contempla la interconexión de la central hidroeléctrica a la red SEGESA a través de la subestación existente de Musola y la consiguiente distribución de electricidad a las poblaciones de Belebú y Buemeriba, pero que los potenciales impactos asociados con esta actividad también fueron identificados.

Principales acciones en la fase de construcción:

- Construcción de un pequeño azud (introducción de barrera en el curso de agua) y de estructuras de captación y conducción de agua que implican: terraplén de la presa, apertura de zanjas (línea de tubería), excavación de los cimientos de azud, desarenador, cámara de carga y edificio de la central hidroeléctrica, con creación de excedentes de tierra.
- Ocupación de terrenos con toda la infraestructura asociada al proyecto
- Instalación de un transformador a la salida del edificio de la central y interconexión a la red eléctrica de la isla

- Construcción de nueva línea eléctrica para el suministro de energía eléctrica a las poblaciones de Belebú y Buemeriba

La construcción de todas las estructuras implica:

- -Desviación temporal del curso del río;
- Implantación de astilleros;
- Suministro de materiales:
- Extensión del acceso existente o posible creación de nuevos accesos para apoyar la obra civil;
- -Movimiento de maquinaria y vehículos para apoyar los trabajos de ejecución de estructuras y movimiento de personal;
- Acumulación y depósito de excedente inerte (tierra y piedras);
- -Movimiento de tierras
- -Desmonte de bosque, de la cubierta vegetal y del terreno

Al final de la obra se llevan a cabo las siguientes actividades: limpieza de áreas de intervención, desmontaje de astillero, eliminación de todo el equipo, recuperación de accesos y reforestación.

Fase de exploración:

- Operación de Central Hidroeléctrica (producción de energía hidroeléctrica)
- Captación de agua del río aguas arriba de lo azud y su restitución aguas abajo de la central, con la alteración del régimen hídrico en la sección del río Voholo interferido
- Acciones específicas de mantenimiento de la mini central hidroeléctrica (equipos mecánicohidráulicos y mantenimiento eléctrico y general)
- Mantenimiento de la distancia de protección y gestión de vegetación (protección contra incendios) a lo largo de las líneas de distribución de electricidad

11.2.1. Impactes potenciales en la fase de construcción

Los impactos negativos y positivos en resultado de las intervenciones de obra previstas son presentados y analizados por descriptor / factor ambiental y de acuerdo con las actividades inherentes y tipología de las instalaciones.

11.2.1.1. Impactes potenciales en la fase de construcción: instalaciones mecánicas, hidráulicas y civiles

CLIMA

Impactes negativos: No se esperan impactes locales en el clima o en microclima debido al hecho de que lo azud esperado tiene pequeñas dimensiones (no superior a 2-3 metros) y tendrá la única misión de elevar el nivel de este y conseguir una zona de aguas tranquilas desde la cual se desvía el caudal necesario por la central. Señalase que el aprovechamiento hidroeléctrico propuesto es a filo de agua, en donde el volumen de embalse se espera reducido, así como su capacidad de regulación.

GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

Impactes negativos: Mayor vulnerabilidad a la erosión / fenómenos de erosión de formaciones geológicas debido a excavaciones y rellenos para materializar las infraestructuras y sus cimientos.

RECURSOS HÍDRICOS

Impactes negativos:

- El incremento potencial en la concentración total de sólidos suspendidos y la turbidez del agua debido a las actividades de construcción y desviación del río;
- La posibilidad de contaminación accidental del curso de agua durante esta fase puede ocurrir debido a la descarga accidental de contaminantes (aceites u otros) en las zonas de construcción. Los impactos negativos en esta etapa están asociados con: la construcción de lo pequeño azud y las estructuras de toma y conducción de agua; introducción de barrera transversal en cursos de agua; represas de agua aguas arriba; captación del agua del río aguas arriba de la presa y su restitución aguas abajo de la central, con alteración del régimen hídrico en la sección del río interferido.

SUELOS

Impactes negativos:

- Aumento de los fenómenos de erosión en el transcurso de la construcción, debido a la deforestación, reforzados por la movilización de tierras y/o suelo desnudo (las áreas de
- intervención serán una fuente de producción de sedimentos aguas abajo (arrastre de partículas por agua y / o viento).

Se prevé un gran movimiento de tierras para instalación de tubería forzada enterrada y de otras infraestructuras asociadas al aprovechamiento hidroeléctrico.

- Posibilidad de contaminación accidental del suelo en o alrededor de los sitios de infraestructura.

PAISAJE

Impactes negativos: Alteraciones paisajísticas debido a: movimiento de tierras, construcción del edificio y canales de derivación, otras obras civiles. Pérdida de componentes biofísicos y paisajísticos preexistentes (vegetación)

Elementos básicos para la evaluación de impactes

La ubicación propuesta para la implementación de lo azud está aislado, tiene baja exposición visual y está rodeado por un bosque denso. De señalar también que en el proyecto se propone el emplazamiento del circuito de derivación en la margen izquierda del rio Voholo, próximo del acceso existente (la carretera que conecta Luba a San Antonio de Ureca), permitiendo aprovechar los caminos y carreteras existentes.

BIODIVERSIDAD (FAUNA, FLORA Y VEGETACIÓN)

Impactes negativos:

- Destrucción de la vegetación/especies arbóreas
- Pierda y perturbación del hábitat de ciertas especies animales y vegetales asociada a los trabajos de construcción y a la circulación de vehículos y equipamientos.

El corte de vegetación ocurrirá en las zonas adyacentes de infraestructura y potenciales accesos para ampliar o construir, afectando áreas de bosques densos que constituyen hábitats naturales / originales sin cambios sin intervención humana.

Elementos básicos para la evaluación de impactes

Teniendo en cuenta la naturaleza preliminar de este estudio, en las próximas fases, es necesario hacer un inventario de las especies presentes y su estado biogeográfico o de protección en toda el área de influencia del proyecto, y es importante recoger datos/información sobre las comunidades acuáticas presentes en lo río o ríos a ser interferidos y potencialmente afectados negativamente por el proyecto.

También es importante evaluar cómo los cambios en las características fisicoquímicas del agua debido al aumento de la turbidez y las partículas tendrán una influencia potencialmente negativa en la estructura de las comunidades presentes, especialmente las más sensibles.

Considerando la caracterización preliminar de la fauna y flora realizada en el punto 10.1.4. se llama la atención sobre las especies enumeradas en la tabla 18, que tienen el estado de especies en peligro y cuya distribución en la isla puede cubrir el sitio de la PCH.

CUALIDAD DEL AIRE

Impactes negativos:

- Aumento de las emisiones atmosféricas y las emisiones de polvo (aumento de partículas en el aire en áreas no pavimentadas adyacentes a sitios de construcción en períodos secos) debido a la construcción y movimiento de maquinaria y vehículos.

Elementos básicos para la evaluación de impactes

Estos impactos son característicos de cualquier trabajo de construcción, tienen mayor relevancia en el caso de la existencia de poblaciones muy cercanos al sitio del proyecto y también en el caso de sitios de construcción y accesos sin pavimentar con bajo nivel de humedad del suelo.

En el presente proyecto, el sitio propuesto para la implementación de lo azud se ubica a 2,5 km de la población más cercana, Belebú.

AMBIENTE SONORO

Impactes negativos: Aumento del ruido debido al tráfico hacia el sitio, la operación de equipos y maquinaria y la posible necesidad del uso de explosivos durante las actividades de construcción. <u>Elementos básicos para la evaluación de impactes</u>

Estos impactos son característicos de cualquier trabajo de construcción, tienen mayor relevancia en el caso de la existencia de poblaciones muy cercanos al sitio del proyecto.

El sitio propuesto para la implementación de la PCH está ubicado en un área sin fuentes de ruido de actividades humanas o económicas y a 2,5 km de Belebú.

SOCIO ECONOMÍA

Impactes negativos:

- Aumento potencial en el tráfico de vehículos pesados en la red local de carreteras que se utiliza para vincular diferentes sitios.
- Posibilidad de afectar directa o indirecta elementos patrimoniales.

Impactes positivos: Incremento de empleos directos asociados a la construcción de la PCH. Elementos básicos para la evaluación de impactes

En esta fase de estudio preliminar no se dispone de datos o información sobre la existencia de elementos patrimoniales culturales, arqueológicos o edificados en el local de implantación de lo proyecto. La existencia del patrimonio en el área de influencia del proyecto debe identificarse para garantizar que el trabajo a realizar no tenga un impacto directo en él.

Con respecto a los condicionamientos de uso del suelo en las áreas protegidas no se esperan impactos negativos una vez que el área prevista del proyecto no se inserta en la Reserva Científica de la Caldera de Luba.

11.2.1.1. Impactes potenciales en la fase de construcción: instalaciones eléctricas (línea de distribución de media tensión)

Se presentan de seguida los principales impactes asociados a la interconexión a la red eléctrica de la isla y a la construcción de nuevas líneas eléctricas.

Cabe señalar que en esta etapa del Estudio preliminar, se desconocen las ubicaciones exactas del implementación de soporte y, en consecuencia, el diseño de la línea, por lo que los impactos descritos son aún preliminares y indicativos y relacionado con los descriptores ambientales más relevantes.

BIODIVERSIDAD (FAUNA, FLORA Y VEGETACIÓN)

Impactes negativos: Pérdida de hábitat debido a la deforestación (corte de vegetación / árboles) y el movimiento de la tierra asociado con la construcción o mejora del acceso, cimentaciones y el establecimiento del rango de protección de la línea de distribución eléctrica.

SUELOS Y USO DEL SUELO

Impactes negativos:

- Pérdida temporal de suelo y riesgos de erosión como resultado de la excavación y la ocupación temporal de la tierra.
- Cambios en la ocupación del suelo como resultado de la excavación y la ocupación temporal del suelo.

Elementos básicos para la evaluación de impactes

La relevancia e importancia de este impacto depende del tipo de uso de la tierra en el área de influencia del proyecto que se limita a la distancia de protección (donde ocurrirá lo corte de árboles/vegetación), a las áreas de implementación de los soportes de lo tendido eléctrico de media tensión y a las áreas del astilleros y accesos.

ORDENAMIENTO DEL TERRITORIO / USOS CONDICIONADOS

Elementos básicos para la evaluación de impactes

Sobre la posible afectación de áreas clasificadas o condicionadas en los instrumentos de gestión territorial cabe señalar que el sitio de implantación de la PCH y las poblaciones de Belebú y Buemeriba no se insertan en el área clasificada de la Reserva Científica de la Caldera de Luba.

PATRIMONIO CULTURAL /ARQUEOLÓGICO

Impactes negativos: Posible afectación directa o indirecta de elementos patrimoniales y culturales.

Elementos básicos para la evaluación de impactes

Se debe tener en cuenta la existencia y ubicación de elementos de interés patrimonial, cultural o arqueológico.

En esta fase no es posible determinar existencia de áreas de posible afectación directa o indirecta ya que no se conoce aún el diseño de la línea de distribución de energía.

PAISAJE

Impactes negativos: Alteración temporal de paisaje debido a instalación de astilleros, a desforestación y apertura/mejora de accesos

AMBIENTE SONORO

Impactes negativos: aumento de los niveles de ruido en las áreas que rodean los sitios de construcción relacionados con el uso de maquinaria diversa y con la circulación de vehículos para el transporte de material.

Elementos básicos para la evaluación de impactes

Los impactos en el entorno sonoro dependen de la distancia de las fuentes de ruido a receptores sensibles. Sin embargo, como las operaciones de construcción son de corta duración, se considera que los impactos en esta fase serán poco significativos.

Socio Economía

Elementos básicos para la evaluación de impactes

Sobre los posibles **impactos negativos** asociados a las líneas es necesario en próximas fases evaluar la percepción social de los impactos de este tipo de infraestructuras, que integra tres dimensiones principales: seguridad y riesgo, valor de los espacios y calidad ambiental.

Recursos Hídricos

En la fase de estudio preliminar aún no se conoce la ubicación de los apoyos del tendido eléctrico de manera que no es posible evaluar en esta fase los posibles impactes que podrían afectar los recursos hídricos.

11.2.1. Impactes potenciales en la fase de exploración

11.2.1.1. Impactes potenciales en la fase de exploración: instalaciones mecánicas, hidráulicas y civiles

Se presentan los principales impactes negativos y positivos por descriptor identificados en la fase de exploración. Más allá de estos hay impactes permanentes iniciados en la fase de construcción y cuyo efecto se prolonga también a la fase de exploración.

CLIMA

Impactes negativos: No se esperan impactos climáticos o micro climáticos (debido al área pequeña del embalse esperado).

- **Impactes positivos**: Transferencia del uso de energía fósil a energía renovable, con la consiguiente reducción de gases de efecto invernadero y beneficios para la economía de las familias, las empresas y la región.

Geología y geomorfología

- **Impactes negativos**: El impacto que puede surgir está asociado con posibles deformaciones en la litología debido al peso / carga de las estructuras construidas y depende de las características geológicas y geomorfológicas encontradas en el sitio de implementación del proyecto y el tamaño del trabajo.

Elementos básicos para la evaluación de impactes

En el caso de este proyecto y en la siguiente fase del estudio, es importante recopilar información más detallada sobre el grado de alteración o inestabilidad de las formaciones rocosas existentes en el sitio para evaluar la existencia de posibles impactos negativos asociados con este descriptor.

Recursos Hídricos

Impactes negativos:

- -Detracción de caudales aguas abajo del azud a construir debido a desviación de caudales y a introducción de barrera en el río (efectos de barrera por lo azud)
- Disminución de la capacidad de dilución, especialmente en épocas del año con menor precipitación.

Elementos básicos para la evaluación de impactes

- La ocurrencia de inundaciones contribuirá a reducir periódicamente los efectos negativos reportados.
 - En este estudio de viabilidad, se tomó para cada relación Q/Qmod un caudal ecológico igual a 10% de la relación Q/Qmod considerada, pero es importante validar esta relación en las etapas posteriores del estudio o evaluar la necesidad de garantizar valores de caudales ecológicos más elevados teniendo en cuenta las características locales y las especies de fauna y flora presentes.
- También se debe tener en cuenta que no se conocen los usos de las aguas superficiales y subterráneas aguas abajo del sitio de la presa, por lo que en una etapa posterior del estudio este aspecto debe tenerse en cuenta en la evaluación de estos impactos.

Señalase también que el aprovechamiento hidroeléctrico propuesto es a filo de agua, sin embargo, se evaluará en las próximas fases del estudio la posibilidad de incluir otros usos al proyecto y en este caso debe tenerse en cuenta al evaluar los impactos con respecto a la calidad del agua y los usos potenciales.

Para verificar si la implementación de la PCH presenta o no una presión negativa significativa sobre el estado del cuerpo de agua y para verificar la necesidad de posibles medidas, se presenta la medida de establecer un programa de seguimiento ecológico de la calidad del agua. aguas abajo de la infraestructura construida (véase el capítulo de las medidas de minimización).

SUELOS

Con la finalización de los trabajos y el inicio de la exploración del CHP, los problemas relacionados con la erosión y / o contaminación cesarán progresivamente; El impacto directo que comenzó en la fase anterior se mantendrá y se refiere a la pérdida de suelo en el área de implantación de las estructuras construidas, que puede ser de poca importancia si las áreas ocupadas se consideran pequeñas.

PAISAJE

Impactes negativos:

Alteración del paisaje con la introducción de estructuras como azud, cámara de carga, desarenador y central hidroeléctrica.

Elementos básicos para la evaluación de impactes

En el presente proyecto, se prevé la instalación de tubería forzada enterrada, lo que anula el impacto visual asociado con esta infraestructura, después de que se recupere la vegetación existente inicialmente. También se prevé la implantación de un pequeño azud.

Independientemente del grado de afectación del paisaje en las áreas de intervención, los impactos negativos solo se identifican cuando hay observadores potenciales en el dominio visual de las infraestructuras, ya sean permanentes o temporales, asumiendo una mayor relevancia en el caso del valor turístico-económico del paisaje.

En este sentido, la evaluación del impacto negativo potencial dependerá de la existencia de observadores visuales potenciales de la PCH, y se debe identificar la existencia de ubicaciones potencialmente críticas.

También cabe señalar que dado que es un sitio aislado con una cubierta forestal densa (con crecimiento rápido) en las proximidades del proyecto, contribuirá a anular los posibles impactos del paisaje. El edificio central también se puede integrar en el paisaje a través de arreglos de paisajismo apropiados.

BIODIVERSIDAD (FAUNA, FLORA Y VEGETACIÓN)

Impactes negativos: Potenciales impactes en la fauna acuática debido a efectos de barrera por lo azud y disminución de caudal aguas debajo de la tomada de agua.

Elementos básicos para la evaluación de impactes

En la fase de exploración del proyecto, los impactos potencialmente negativos se asociarán con las implicaciones permanentes iniciadas durante la construcción.

Se prevé pequeño tamaño de azud en el presente proyecto, sin embargo, después del inventario de especies presentes en el sitio de estudio, es importante evaluar la existencia de organismos acuáticos que puedan verse afectados por la reducción del flujo del río, incluidas las especies de peces migratorios, ya que las barreras creadas pueden tener cierta influencia en los movimientos migratorios. Si se confirman las situaciones de impacto mencionadas anteriormente, se debe considerar la adopción de un Programa de Seguimiento de Ecosistemas Acuáticos y la adopción de medidas adicionales (véase el capítulo de las medidas de minimización).

Con respecto a la vegetación, se supone que las condiciones preexistentes se restaurarán rápidamente y los impactos se reducirán a cero en la fase de exploración.

CUALIDAD DEL AIRE

Impactes negativos: No se esperan impactos negativos en la calidad del aire con la operación del PCH.

Impactes positivos: Aunque no es percibida por la población en términos de calidad del aire, se considera que la generación de energía hidroeléctrica tiene un impacto regional positivo que corresponde a la reducción de la combustión de combustible para la producción de energía y la consiguiente reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo a la mejora de la calidad del aire.

AMBIENTE SONORO

Impactes negativos: No se esperan cambios significativos en los niveles de ruido como resultado de la operación de la PCH, sin embargo, es importante asegurar la insonorización del edificio de la Central y de las turbinas.

SOCIO ECONOMIA

Impactes negativos: No se esperan impactos negativos como resultado de la exploración de la PCH.

Impactes positivos:

<u>A nivel local</u>: Posibilidad de crear empleos asociados con el mantenimiento de la Central utilizando la mano de obra existente en la isla.

A nivel regional:

- Reducción en el uso de combustibles fósiles debido a la producción de electricidad a partir de fuentes renovables, con beneficios en el contexto de la producción de energía en la isla y en contexto de las actividades socioeconómicas locales. (suministro de la electricidad a las poblaciones de Belebú y Buemeriba, donde solo había acceso a través de un generador con capacidad limitada e insuficiente).

10.2.2.2. Impactes potenciales en la fase de exploración: instalaciones eléctricas (línea de distribución de media tensión)

BIODIVERSIDAD (FAUNA, FLORA Y VEGETACIÓN)

Impactes negativos:

- Eventual colisión y/o electrocución de aves y quirópteros por el tendido eléctrico
- Impactes sobre la flora debido a necesidad de mantener las distancias de seguridad y la franja de gestión de vegetación (para protección contra incendios) a las líneas de distribución de energía eléctrica

- Perturbación del hábitat de otras especies especialmente sensibles

Elementos básicos para la evaluación de impactes

Deben identificarse las especies y hábitats que pueden estar sujetos a impactos en las etapas de construcción y exploración y debe ser evaluado los respectivos impactes si se confirma su existencia en la zona del proyecto.

Se debe prestar especial atención a las especies de aves y quirópteros, en particular lo murciélago de hoja redonda de cola corta (*Hipposideros curtus*), especie vulnerable presente en la isla de Bioko ya identificada en el punto 10.1.4 en esta fase del estudio preliminar. Por eso, es importante identificar o localizar refugios (cuevas) de esta especie en el área de influencia del proyecto.

Las amenazas a esta especie incluyen la pérdida continua de bosques y la alteración de los sitios de descanso en cuevas. Algunos de los pocos refugios conocidos en la isla ya han sido abandonados presumiblemente debido a disturbios.

SUELOS Y USO DEL SUELO

Impactes negativos: ocupación del suelo con los soportes estructurales de lo tendido eléctrico (alrededor 120 m² por apoyo de lo tendido eléctrico)

PAISAJE

Impactes negativos: la instalación de una estructura lineal en el territorio introducirá una alteración de paisaje, que dependerá de las características de las áreas visualmente accesibles y de los efectos de esos cambios sobre quién las observa.

Elementos básicos para la evaluación de impactes

Es necesario evaluar los puntos de sensibilidad visual del paisaje.

AMBIENTE SONORO

Impactes negativos: La operación de una línea de distribución de electricidad puede conducir a un aumento de los niveles sonoros (no permanentes) como resultado de la acción del viento y el llamado fenómeno de la "descarga de corona".

El efecto corona es originado por micro descargas eléctricas alrededor de los conductores, en función de las características de estos y también de voltaje de la línea y la humedad relativa del aire. Este fenómeno puede tener significado en días con lluvia ligera o niebla debido al agua acumulada en los conductores.

SOCIO ECONOMÍA

Impactes positivos:

- Refuerzo de la red eléctrica de la isla, contribuyendo a asegurar el servicio de distribución de electricidad a las poblaciones de Belebú y Buemeriba con efectos no solo en términos de bienestar sino también en el desarrollo de actividades económicas locales.

- Posibilidad de creación de puestos de trabajo asociados a las actividades de manutención com recurso a mano-de-obra local.

Elementos básicos para la evaluación de impactes

Sobre los posibles impactos negativos asociados a las líneas es importante evaluar la percepción social de los impactos de este tipo de infraestructuras (también abordado en la identificación de los impactes en la fase de construcción).

11.2.2. Impactes en la fase de desactivación

En la fase de desactivación pueden ocurrir impactos similares a los identificados para la fase de construcción. Se destaca, que la remoción de las estructuras y materiales asociados y adecuada recuperación paisajística implicará, por la eliminación de estos elementos exógenos del territorio, un impacto positivo. Sin embargo, la eliminación de esta infraestructura retira todo el carácter positivo, obtenido con la explotación, en particular la producción de energía a partir de una fuente renovable.

11.3. MEDIDAS DE MINIMIZACIÓN Y MEDIDAS DE POTENCIACIÓN

En esta fase de estudio preliminar, las medidas para minimizar los impactos negativos o para mejorar los impactos positivos se presentan como:

- recomendaciones para tener en cuenta en las próximas fases del proyecto de implementación
- medidas más específicas estructuradas según las etapas (construcción y operación) y los descriptores anteriormente analizados y el tipo de instalaciones / infraestructuras del proyecto.

En este último caso, no se proponen medidas de minimización para los descriptores donde no se esperan impactos negativos.

En la fase del Proyecto de Ejecución, las medidas a aplicar deben desarrollarse con más detalle, de acuerdo con todos los impactos negativos relevantes identificados, así como la descripción de medidas generales para minimizar los impactos en la fase de construcción (buenas prácticas ambientales para tener en cuenta en la ejecución de la obra).

11.3.1. Medidas para la fase de planificación y desarrollo del proyecto de ejecución

Caracterización de la biodiversidad local

- Anteriormente a los inicios del trabajo, se deberá buscar un especialista en Ecología (Fauna, Flora y vegetación), que identificará objetivamente hábitats y especies con un estado de conservación desfavorable o legalmente protegido, de posible ocurrencia en el área de estudio. En el caso de especies que pueden verse directamente afectadas por la implementación de estructuras relacionadas con el proyecto, el experto designado evaluará, junto con el proponente y la autoridad ambiental local, la mejor forma de preservación, proporcionando educación ambiental dirigida a los trabajadores con la explicación de razones de salvaguardia.
- Evaluar la existencia de especies de peces protegidas o cuyo ciclo de reproducción o movimiento migratorio pueda verse afectado por la instalación y explotación de la PCH, identificando medidas para salvaguardar a las especies y evitar su muerte.
- Caracterizar los hábitats y la distribución de especies que pueden verse afectadas por el proyecto en el área de influencia donde se desarrollará la línea de interconexión a la subestación de Musola, con el fin de guiar la ubicación futura de la implementación de los apoyos, en la fase del proyecto de ejecución.
- Identificación de los tramos a menos de 5 km de los sitios de anidación de especies amenazadas y a menos de 1 km de los principales sitios de colisión de aves con mayor probabilidad de ser impactados por líneas de media tensión.

Programas de Seguimiento

Con el fin de monitorear la evolución real de las condiciones en el terreno en presencia del proyecto con el fin de detectar cualquier desviación desfavorable que requiera una corrección adicional, se propone adoptar Programas de Seguimiento (que todavía comienzan en la fase previa a la construcción y se extienden a la fase de exploración) relativos a los factores ambientales "Recursos Hídricos" y "Fauna y Flora", a saber:

- Establecimiento de un programa para monitorear la calidad ecológica del agua aguas abajo de la infraestructura construida (elementos biológicos y elementos de calidad física y química) (en 3 fases de implementación: fase previa a la construcción, fase de construcción y fase de exploración) permitiendo verificar si PCH establece, o no, una presión negativa significativa sobre el estado del cuerpo de agua y verifica la necesidad de cualquier medida.

Si es justificable, también se propone llevar a cabo el análisis anual de los valores de caudal ecológico utilizando datos de caudal de la turbina y datos hidrométricos (previendo una futura instalación de la estación hidrométrica en el sitio).

- Si se confirman las situaciones de impacto en la biota dulceacuícola, la adopción de un Programa de Seguimiento de Ecosistemas Acuáticos y la adopción de medidas adicionales en el proyecto de ejecución deben planificarse en vista de los resultados obtenidos (por ejemplo, la implementación de dispositivos de encaminamiento y transposición de peces aguas abajo y aguas arriba y río arriba, respectivamente).

El Programa se establecerá en tres fases de implementación: fase previa a la construcción, fase de construcción y fase de explotación, y deberá prever el seguimiento de las especies afectadas por el proyecto, la evaluación de la efectividad de las medidas implementadas, la evaluación de la eficiencia del caudal ecológico a través de monitorear la calidad ecológica del agua (referida en el punto anterior y en el descriptor de Recursos Hídricos).

Ubicación de las instalaciones relacionadas con el proyecto

La planificación de la ubicación de los astilleros, la apertura de los accesos y las diversas instalaciones inherentes al trabajo, en colaboración con todas las partes interesadas, es la forma más efectiva de evitar impactos en el terreno.

Se debe promover la consulta, la creación de redes y la participación de representantes de los residentes de la aldea, actividades económicas, instituciones públicas y otros elementos en el proyecto, dependiendo de las características de las áreas afectadas.

Los astilleros no deben ubicarse:

- En las proximidades de las poblaciones;
- En lugares con pendientes pronunciadas o en zonas inundadas;
- En áreas de patrimonio cultural, áreas protegidas o sitios paisajísticos más sensibles;
- A menos de 50 metros de los ríos;

-En lugares donde es necesario destruir vegetación con interés botánico o paisajístico (para la instalación de astilleros y áreas de apoyo al trabajo debe privilegiarse, en la medida de lo posible, áreas ya degradadas o áreas sin vegetación desarrollada y cerca de accesos existentes).

Los astilleros deben estar conectados a la red local de saneamiento. Cuando esto no sea posible, se pueden adoptar cabinas químicas o tanques para la recogida de aguas residuales. Donde no exista, se debe realizar una red de drenaje periférica en las plataformas de despliegue del sitio.

También se deben garantizar y mantener en el astillero los contenedores de residuos adecuados para el almacenamiento de los residuos pendientes de envío al destino apropiado.

Para las líneas de distribución de electricidad es importante seleccionar corredores y caminos que eviten las situaciones más críticas (también se deben definir corredores alternativos).

Se debe definir y ajustar el lugar de colocación de la casa de las máquinas y de los apoyos de la Línea Eléctrica para evitar determinados efectos negativos, resultantes de su presencia o proximidad, realizando también, en su caso, solicitudes de autorización y negociación a tiempo de indemnizaciones y contrapartidas con los propietarios de los terrenos.

Evaluación de la existencia de elementos patrimoniales en las áreas de influencia del proyecto

- Se deberá identificar la existencia de elementos patrimoniales en las áreas de influencia del proyecto para garantizar que el trabajo a realizar no cause impactos directos en estos.

Siempre que en el área potencialmente afectada haya patrimonio arqueológico, se debe realizar un seguimiento arqueológico de las acciones de deforestación, excavación y rellenos. Se debe también realizar prospección arqueológica en áreas cuya identificación no pudo realizarse cuando se caracterizó la situación de referencia.

<u>Plan de recuperación del área de intervención, Plan de Seguimiento Ambiental de la Obra y Plan</u> <u>de Gestión de Residuos</u>

- Definición de un Plan para la Recuperación de Áreas Degradadas y la integración paisajística de las obras. La recuperación de estas áreas tiene como objetivo el restablecimiento de la vegetación

autóctona, que a su vez promueve la minimización del impacto en el paisaje, minimizando la acción erosiva de los vientos y las lluvias.

- Definición de un Plan de Seguimiento Ambiental de la Obra (PSAO). Este documento funciona como un compromiso del Dueño de Obra para asegurar el cumplimiento de las medidas de minimización previstas en la fase de construcción.
- Definición un Plan de Gestión de Residuos (PGR) considerando todos los residuos que probablemente se produzcan en el sitio, definiendo las responsabilidades de gestión e identificando el destino final más apropiado para los diferentes flujos de residuos.

11.3.2. Medidas sectoriales para la fase de construcción del proyecto

11.3.2.1. Medidas sectoriales para la fase de construcción del proyecto: instalaciones mecánicas, hidráulicas y civiles

| Medidas de Minimización /Medidas de Potenciación | Descriptores Asociados |
|---|---------------------------------------|
| Asegurar intervenciones constructivas adecuadas de acuerdo con los estudios geológicos y geotécnicos y prestar atención y cumplir con las condiciones eventuales de inestabilidad de las formaciones geológicas de superficie. | Geología y Geomorfología |
| Asegurar la reutilización de los suelos excedentes de la obra (para cerramiento de zanjas, rellenos y compactaciones, accesos, recalificación de áreas afectadas por las obras) y / o en otras obras que ocurran en la región por parte de empresas constructoras locales. La tierra sobrante resultante del trabajo de excavación debe enviarse para depósitos de materiales sobrantes debidamente autorizados y seguros Garantizar la restitución y estabilización de los relieves (relleno de los huecos excavados) | Geología y Geomorfología Suelos |
| Adoptar buenas prácticas ambientales, en particular en lo que respecta a las actividades que implican el riesgo de descargar contaminantes en el cauce del río, a saber: Controlar todas las escorrentías en las zonas de obra; Las actividades que pueden afectar negativamente a los recursos hídricos deben, en la medida de lo posible, llevarse a cabo lejos de los cursos de agua; No permitir descargas de aguas residuales, residuos y contaminantes en el suelo y en los cursos de agua; El mantenimiento de la maquinaria o la manipulación de combustibles o productos químicos deben realizarse en plataformas impermeables del tamaño adecuado diseñadas para controlar derrames accidentales; Garantizar condiciones adecuadas de despliegue, gestión y deconstrucción del astillero: implementar una gestión adecuada de los residuos, aceites y combustibles y aguas residuales producidas y utilizadas en el astillero, mediante la recogida y transporte hasta el destino final apropiado (Implementar el Plan de Gestión de Residuos) Garantizar la protección de acuíferos existentes | Recursos Hídricos Suelos |

| | Medidas de Minimización /Medidas de Potenciación | Descriptores Asociados |
|---|--|--|
| • | Cumplir con las medidas de salvaguardia para especies sensibles de acuerdo con el | |
| | inventario de especies locales identificadas por el especialista en Ecología; | |
| | Evaluar a necesidad de instalar escalas de peces, de acuerdo con el inventario y estudio de | |
| | las especies locales de fauna acuática; | |
| | Garantizar la protección de la estructura de toma de agua del tipo tirolesa para impedir el | |
| | acceso de peces al circuito hidráulico o definir el ancho máximo de las rejillas (menor que | |
| | el tamaño de las especies de peces) en el proyecto de ejecución; | |
| | Restringir lo más posible las áreas afectadas por el trabajo, incluida la circulación de | |
| | maquinaria y trabajadores, delimitándola y señalizándola adecuadamente; | Biodiversidad (fauna, flora y vegetación) |
| • | Reducir el corte de vegetación arbórea al mínimo necesario; | |
| | Proporcionar acciones de sensibilización / capacitación a todo el equipo que integrarán el | |
| | trabajo dentro del alcance del Plan de Gestión Ambiental para garantizar la preservación | |
| | de las especies endémicas protegidas y evitar la introducción y proliferación de especies | |
| | invasoras; | |
| | En la fase final de la construcción, a nivel de rehabilitación de las áreas afectadas o en sus | |
| | alrededores, se deben utilizar especies nativas (Plan de Recuperación de las Zonas | |
| | Afectadas). | |
| • | Almacenamiento temporal del suelo de decapado; | |
| | Separar la tierra vegetal excavada para rehabilitar las áreas de intervención, ya sean zanjas, | |
| | áreas de astillero o otras áreas de apoyo. | |
| • | Regularizar las áreas afectadas después del final de los trabajos, colocando tierra vegetal | |
| | de superficie y sembrando con especies adecuadas de rápido crecimiento y adaptadas al | Suelos |
| | entorno físico local (Implementar el Plan de Recuperación de las Áreas de Intervención); | |
| • | En el caso de la tierra cultivable, garantizar la reposición de la tierra vegetal no menos de | |
| | 80 cm. | |
| • | Respetar la tipología constructiva de la zona (uso de formas tradicionales de construcción | |
| | en edificios y uso de espacios verdes y cortinas de árboles para integrar o ocultar las | |
| | infraestructuras); | Paisaje |
| | Promover acciones de replantación con flora autóctona y remodelación de las pendientes: | |
| | Implementar el Plan de Recuperación de las Áreas de Intervención. | |
| • | Hay que asegurar que el sitio del astillero esté lo más alejado posible del sitio de la | |
| | población para proteger a la población de las actividades más ruidosas causadas por el | |
| | trabajo realizado | Ambiente Sonoro |
| • | Insonorización del edificio de la Central y de las turbinas | |
| • | Humedecer las vías de acceso sin pavimentar o las áreas de circulación de maquinaria | |
| | siempre que sea necesario reducir las emisiones de polvo; | Cualidad del Aire |
| • | Considerar transportar vehículos pesados o livianos con la menor cantidad de viajes posible | |
| | | |

| Medidas de Minimización /Medidas de Potenciación | Descriptores Asociados |
|---|--|
| Asegurar el transporte de partículas o materiales particulados en vehículos adecuados con | |
| la carga cubierta para evitar la dispersión del polvo. | |
| Adopción de medidas apropiadas para reducir las perturbaciones y las implicaciones para las | |
| infraestructuras: | |
| • En su caso, debe garantizarse la restauración de pavimentos degradados por el tráfico | |
| pesado (por ejemplo, carretera Luba-Eureka); | |
| Alerta temprana a la población local sobre la ejecución de las obras y la posible | Socio Economía (población y actividad |
| interrupción de la circulación de vehículos en la carretera principal, utilizando señales | productiva) |
| de tráfico en las inmediaciones de las obras; | |
| • Implementar un sistema de gestión que permita la recogida y el tratamiento de las | |
| reclamaciones de la población local. | |
| Para potenciar las incidencias positivas, se recomienda el uso de mano de obra local y | Socio Economía |
| empresas para la construcción y / o adquisición de bienes y servicios. | (población y actividad productiva) |

11.3.2.2. Medidas sectoriales para la fase de construcción del proyecto: instalaciones eléctricas (línea de distribución de media tensión)

| | Medidas de Minimización /Medidas de Potenciación | Descriptores Asociados |
|---|--|------------------------|
| • | Restringir lo más posible las áreas afectadas por la obra; | |
| • | Limitar las acciones de deforestación para construir o mejorar el acceso y los apoyos de lo | |
| | tendido eléctrico a áreas indispensables; | |
| • | Las áreas seleccionadas para la deforestación y los árboles para podar o cortar deben | |
| | marcarse con marcas visibles (por ejemplo, cintas de colores), lo que permite la | |
| | identificación de las áreas de intervención en cualquier momento; | Biodiversidad (Fauna, |
| • | Limitar las intervenciones durante las estaciones reproductivas en áreas donde se ha | Flora y Vegetación) |
| | identificado zonas de reproducción de especies susceptibles a perturbaciones de | |
| | reproducción y/o pérdida de crías; | |
| • | Instalar balizas salva pájaros (marcas visuales); | |
| • | Al definir los accesos, en áreas próximas a los refugios de Quirópteros, se debe garantizar | |
| | una distancia mínima de 100 m siempre que sea posible. | |
| • | Reutilizar parte del volumen de las excavaciones para llenar las cimentaciones; | |
| • | No almacenar el material de la excavación y la extracción del suelo a menos de 50 m de los | Suelos y Uso de los |
| | cursos de agua o de las zonas de inundación; | suelos |
| • | Separación de la tierra vegetal para su uso en la recuperación de las áreas de intervención. | |
| • | Las operaciones de construcción, particularmente las ruidosas, que tienen lugar en los | Ambiente Concre |
| | alrededores de la población, solo deben realizarse en días laborables y durante el día. | Ambiente Sonoro |

| | Medidas de Minimización /Medidas de Potenciación | Descriptores Asociados |
|---|--|------------------------|
| • | Implementar un sistema de gestión que permita la recogida y el tratamiento de las dudas y reclamaciones de la población local. | Socio Economía |
| • | Adoptar buenas prácticas ambientales en particular en lo que respecta a las actividades que implican el riesgo de descargar contaminantes en los recursos hídricos. | Recursos Hídricos |
| • | Realizar un seguimiento arqueológico (por un arqueólogo) de todas las actividades que | |
| | impliquen la extracción o el movimiento de la tierra (Deforestación y decapados superficiales en acciones de preparación y regularización del terreno y excavaciones en el | |
| | suelo relacionadas con la apertura de las zanjas de cables, de las fundaciones de los apoyos de la Línea Eléctrica). | Patrimonio |
| • | Si se ha detectado la existencia de elementos patrimoniales en la zona de incidencia de la | |
| | obra, se deben delimitar estas ocurrencias, con cinta de señalización, en las fases de deforestación, excavación y recuperación. | |

11.3.3. Medidas sectoriales para la fase de exploración del proyecto

11.3.3.1. Medidas sectoriales para la fase de exploración del proyecto: instalaciones mecánicas, hidráulicas y civiles

| | Medidas de Minimización /Medidas de Potenciación | Descriptores Asociados |
|---|---|--|
| • | Realizar actividades de mantenimiento de los equipos de la PCH utilizando la fuerza laboral | |
| | local. Estas actividades de mantenimiento deben ser realizadas adecuadamente | |
| | respectando las buenas prácticas ambientales, por ejemplo, en la relación con la gestión de | Socio Economía |
| | residuos y el respeto de los valores ambientales y sociales locales. | Socio Economia (población y actividad |
| • | El reenvío de los diversos tipos de residuos resultantes de las operaciones de | productiva) |
| | mantenimiento y reparación de equipos para operadores de gestión de residuos | |
| | debidamente licenciados. | |
| • | Mantener unos caudales mínimos / régimen de caudales ecológicos en el cauce del río aguas abajo | |
| | de lo azud, de acuerdo con el proyecto final de ejecución, para minimizar los posibles impactos | Recursos Hídricos |
| | resultantes de la alteración del régimen hidrológico. | |
| • | El control de la vegetación en el área de la Central debe ser realizado sin recurso a fitoquímicos. | Biodiversidad (fauna, flora y vegetación) |

11.3.3.2. Medidas sectoriales para la fase de exploración del proyecto: instalaciones eléctricas (línea de distribución de media tensión)

| Medidas de Minimización /Medidas de Potenciación | Descriptores Asociados |
|---|--------------------------------|
| • En el rango de protección a la Línea Eléctrica, quitar únicamente las especies arbóreas o | le Biodiversidad (fauna, flora |
| crecimiento rápido existentes en el local que no sean endémicas y/o protegidas; | y vegetación) |

| | Medidas de Minimización /Medidas de Potenciación | Descriptores Asociados |
|---|---|------------------------|
| • | El control de la vegetación debe ser realizado sin recurso a fitoquímicos. | |
| • | Realizar actividades de mantenimiento utilizando la fuerza laboral local. Estas operaciones | |
| | de mantenimiento deben ser realizadas adecuadamente respectando las buenas prácticas | |
| | ambientales, por ejemplo, en la relación con la gestión de residuos y el respeto de los | |
| | valores ambientales y sociales locales; | Socio Economía |
| • | El reenvío de los diversos tipos de residuos resultantes de las operaciones de | |
| | mantenimiento y reparación de equipos para operadores de gestión de residuos | |
| | debidamente licenciados. | |

Para garantizar la seguridad de la población, la mejora de la calidad del servicio y de las redes eléctricas y la protección del patrimonio forestal deben ser considerados una franja de gestión de la vegetación con el ancho bilateral de 7 m para las líneas de media tensión. Debe mantenerse distancias mínimas de 2,5m entre los árboles y la línea eléctrica dentro de la zona de intervención permitida (distancia máxima de 15m).

11.1. CONCLUSIONES

En este estudio de viabilidad, se presentaron los posibles impactos generados por la implementación de la pequeña central hidroeléctrica en el río Voholo y los elementos básicos para su evaluación en las fases posteriores del estudio.

El análisis se realizó en función de los elementos de proyecto previstos en este estudio y en función de la caracterización de la situación de referencia (también todavía preliminar).

Es posible verificar que las acciones previstas en el proyecto generen principalmente impactos ambientales potenciales relacionados con la interferencia con la fauna y flora locales (condiciones ecológicas) y la alteración del sistema hídrico natural, este último en particular en la fase de exploración. Por lo tanto, se identifica la necesidad de llevar a cabo, en las siguientes fases, estudios de identificación y caracterización de especies en el área de influencia del proyecto que puedan verse afectadas por el mismo.

Siendo el aprovechamiento hidroeléctrico propuesto a filo de agua, en donde el volumen de embalse será reducido, los impactes negativos en la fase de exploración son reducidos en comparación con los beneficios de la operación de la pequeña central hidroeléctrica, que permitirá la producción de electricidad a partir de fuentes renovables, reforzando la red eléctrica de la isla y cubriendo las necesidades de consumo de energía de las poblaciones de Belebú y Buemeriba.

ANEXOS

12. ANEXOSS

12.1. DATOS DE GPS DE LA APLICACIÓN GEOTRACKER

| Período de registro | Latitud [º] | Longitud [°] | Altitud [m] | Velocidad [km/h] |
|---------------------|-------------|--------------|-------------|------------------|
| 1/10/19 9:46:50 | 3,4389240 | 8,5826540 | 296,9 | 5,6 |
| 1/10/19 9:46:58 | 3,4388350 | 8,5826110 | 298,1 | 4,7 |
| 1/10/19 9:47:08 | 3,4387690 | 8,5826740 | 298,9 | 2,8 |
| 1/10/19 9:47:22 | 3,4387570 | 8,5827680 | 299,9 | 5,8 |
| 1/10/19 9:47:33 | 3,4387610 | 8,5828690 | 301,1 | 7,4 |
| 1/10/19 9:47:47 | 3,4387400 | 8,5829700 | 303,0 | 4,1 |
| 1/10/19 9:47:56 | 3,4387110 | 8,5830620 | 302,5 | 3,3 |
| 1/10/19 9:48:04 | 3,4386920 | 8,5831560 | 299,9 | 4,2 |
| 1/10/19 9:48:13 | 3,4387130 | 8,5832520 | 301,6 | 9,4 |
| 1/10/19 9:48:22 | 3,4386670 | 8,5833450 | 305,7 | 6,0 |
| 1/10/19 9:48:28 | 3,4386340 | 8,5834420 | 308,6 | 6,1 |
| 1/10/19 9:48:37 | 3,4386220 | 8,5835310 | 309,0 | 5,0 |
| 1/10/19 9:48:47 | 3,4385860 | 8,5836180 | 308,4 | 4,7 |
| 1/10/19 9:49:01 | 3,4385330 | 8,5836940 | 315,2 | 4,1 |
| 1/10/19 9:49:09 | 3,4385220 | 8,5837850 | 313,4 | 2,3 |
| 1/10/19 9:49:19 | 3,4384910 | 8,5838890 | 311,4 | 2,2 |
| 1/10/19 9:49:29 | 3,4385030 | 8,5839920 | 317,1 | 3,3 |
| 1/10/19 9:49:41 | 3,4385420 | 8,5840760 | 313,9 | 4,3 |
| 1/10/19 9:49:49 | 3,4385410 | 8,5841740 | 318,3 | 2,1 |
| 1/10/19 9:49:56 | 3,4385240 | 8,5842670 | 316,0 | 0,9 |
| 1/10/19 9:50:05 | 3,4385350 | 8,5843610 | 315,9 | 5,3 |
| 1/10/19 9:50:11 | 3,4385210 | 8,5844670 | 311,9 | 5,1 |
| 1/10/19 9:50:17 | 3,4385070 | 8,5845670 | 307,9 | 6,4 |
| 1/10/19 9:50:24 | 3,4384950 | 8,5846710 | 303,8 | 6,9 |
| 1/10/19 9:50:37 | 3,4385130 | 8,5847610 | 308,4 | 2,2 |
| 1/10/19 9:50:46 | 3,4385230 | 8,5848530 | 306,4 | 3,5 |
| 1/10/19 9:50:58 | 3,4384840 | 8,5849350 | 306,8 | 2,3 |
| 1/10/19 9:51:09 | 3,4384270 | 8,5850170 | 307,4 | |
| 1/10/19 9:51:18 | 3,4383630 | 8,5850830 | 306,2 | 5,3 |
| 1/10/19 9:51:25 | 3,4383000 | 8,5851620 | 305,8 | 4,0 |
| 1/10/19 9:51:38 | 3,4382620 | 8,5852470 | 307,4 | 0,9 |
| 1/10/19 9:51:54 | 3,4381950 | 8,5853120 | 307,0 | |
| 1/10/19 9:52:04 | 3,4381640 | 8,5854090 | 303,7 | 2,4 |

| Período de registro | Latitud [º] | Longitud [°] | Altitud [m] | Velocidad [km/h] |
|---------------------|-------------|--------------|-------------|------------------|
| 1/10/19 9:52:10 | 3,4381320 | 8,5855120 | 306,9 | 6,0 |
| 1/10/19 9:52:16 | 3,4380590 | 8,5855810 | 308,8 | 7,6 |
| 1/10/19 9:52:22 | 3,4380100 | 8,5856640 | 311,1 | 2,6 |
| 1/10/19 9:52:37 | 3,4379590 | 8,5857390 | 312,2 | 2,0 |
| 1/10/19 9:52:52 | 3,4379200 | 8,5858350 | 310,8 | 1,6 |
| 1/10/19 9:52:59 | 3,4377200 | 8,5859200 | 310,0 | 2,3 |
| 1/10/19 9:53:10 | 3,4378540 | 8,5860170 | 308,4 | 4,5 |
| 1/10/19 9:53:18 | 3,437750 | 8,5860820 | 308,8 | 7,7 |
| 1/10/19 9:53:30 | | | 310,7 | 3,7 |
| 1/10/19 9:53:40 | 3,4376970 | 8,5861680 | | |
| | 3,4376330 | 8,5862380 | 310,7 | 3,9 |
| 1/10/19 9:53:49 | 3,4376270 | 8,5863330 | 310,9 | 2,9 |
| 1/10/19 9:54:04 | 3,4376060 | 8,5864350 | 312,2 | 3,5 |
| 1/10/19 9:54:19 | 3,4375770 | 8,5865320 | 314,3 | 4,3 |
| 1/10/19 9:54:29 | 3,4375180 | 8,5866130 | 317,0 | 3,0 |
| 1/10/19 9:54:37 | 3,4374680 | 8,5867060 | 315,2 | 7,3 |
| 1/10/19 9:54:45 | 3,4374010 | 8,5867700 | 313,8 | 2,2 |
| 1/10/19 9:54:54 | 3,4373530 | 8,5868490 | 312,6 | 2,0 |
| 1/10/19 9:55:02 | 3,4373080 | 8,5869320 | 313,4 | 2,3 |
| 1/10/19 9:55:15 | 3,4372510 | 8,5870030 | 312,0 | 4,4 |
| 1/10/19 9:55:21 | 3,4372250 | 8,5870930 | 312,8 | 7,3 |
| 1/10/19 9:55:27 | 3,4371690 | 8,5871840 | 308,4 | 7,0 |
| 1/10/19 9:55:42 | 3,4371870 | 8,5872780 | 311,0 | 1,6 |
| 1/10/19 9:55:56 | 3,4372090 | 8,5873720 | 312,5 | 2,4 |
| 1/10/19 9:56:02 | 3,4371840 | 8,5874720 | 306,6 | 2,8 |
| 1/10/19 9:56:11 | 3,4371460 | 8,5875610 | 308,6 | 2,5 |
| 1/10/19 9:56:24 | 3,4371030 | 8,5876470 | 312,4 | 6,6 |
| 1/10/19 9:56:39 | 3,4370730 | 8,5877340 | 317,4 | 2,7 |
| 1/10/19 9:56:46 | 3,4370510 | 8,5878350 | 314,1 | 5,7 |
| 1/10/19 9:56:56 | 3,4370360 | 8,5879360 | 314,4 | 7,8 |
| 1/10/19 9:57:06 | 3,4369950 | 8,5880230 | 314,6 | 3,1 |
| 1/10/19 9:57:13 | 3,4369660 | 8,5881100 | 312,9 | 8,4 |
| 1/10/19 9:57:17 | 3,4369310 | 8,5881930 | 312,2 | 3,2 |
| 1/10/19 9:57:23 | 3,4368950 | 8,5882870 | 309,6 | 6,0 |
| 1/10/19 9:57:32 | 3,4368620 | 8,5883710 | 310,5 | 5,3 |
| 1/10/19 9:57:44 | 3,4368440 | 8,5884620 | 313,3 | 1,3 |
| 1/10/19 9:57:58 | 3,4368350 | 8,5885560 | 314,4 | 1,5 |
| 1/10/19 9:58:06 | 3,4367920 | 8,5886470 | 312,6 | 3,3 |
| 1/10/19 9:58:14 | 3,4367390 | 8,5887240 | 312,5 | 5,5 |
| 1/10/19 9:58:22 | 3,4366610 | 8,5887810 | 310,8 | 4,0 |
| 1/10/19 9:58:35 | 3,4366100 | 8,5888570 | 313,0 | 4,4 |
| 1/10/19 9:58:46 | 3,4365580 | 8,5889380 | 313,4 | 5,4 |
| 1/10/19 9:58:59 | 3,4364880 | 8,5890030 | 309,9 | 2,3 |
| 1/10/19 9:59:06 | 3,4364470 | 8,5890840 | 309,5 | 3,5 |
| 1/10/19 9:59:17 | 3,4363910 | 8,5891560 | 313,2 | -,- |
| 1/10/19 9:59:26 | 3,4363560 | 8,5892540 | 315,0 | 6,6 |
| 1/10/19 9:59:38 | 3,4362970 | 8,5893310 | 317,3 | 2,4 |
| 1/10/19 9:59:45 | 3,4362150 | 8,5893800 | 314,9 | 6,0 |
| 1/10/19 9:59:54 | 3,4361510 | 8,5894630 | 315,9 | 7,5 |
| 1/10/19 10:00:02 | 3,4361320 | 8,5895540 | 314,2 | 2,0 |
| 1/10/19 10:00:17 | 3,4361170 | 8,5896440 | 307,3 | 2,4 |
| 1/10/19 10:00:26 | 3,4360630 | 8,5897240 | 308,3 | 1,7 |
| 1/10/19 10:00:38 | 3,4360340 | 8,5898150 | 308,2 | 4,1 |
| 1/10/19 10:00:48 | 3,4360130 | 8,5899030 | 308,1 | 3,3 |
| 1/10/19 10:00:48 | 3,4359710 | 8,5899840 | 309,6 | 5,7 |
| 1/10/17 10.01.01 | J,7JJ7/ IU | 0,3077040 | 307,0 | J, I |

| Período de registro | Latitud [º] | Longitud [º] | Altitud [m] | Velocidad [km/h] |
|---------------------|-------------|--------------|-------------|------------------|
| 1/10/19 10:01:14 | 3,4359860 | 8,5900780 | 307,1 | 3,4 |
| 1/10/19 10:01:34 | 3,4359950 | 8,5901670 | 302,8 | σ,. |
| 1/10/19 10:01:54 | 3,4359110 | 8,5902250 | 299,9 | 5,8 |
| 1/10/19 10:03:04 | 3,4358320 | 8,5902780 | 294,7 | 0,0 |
| 1/10/19 10:04:41 | 3,4358630 | 8,5903650 | 295,4 | 5,3 |
| 1/10/19 10:05:37 | 3,4359110 | 8,5904420 | 295,4 | 5,5 |
| 1/10/19 10:06:00 | 3,4360010 | 8,5904470 | 291,5 | 6,4 |
| 1/10/19 10:06:39 | 3,4360850 | 8,5904820 | 294,4 | 0,4 |
| 1/10/19 10:07:07 | 3,4361300 | | 293,8 | |
| 1/10/19 10:07:07 | | 8,5905620 | | |
| | 3,4360730 | 8,5904900 | 290,4 | 1 - |
| 1/10/19 10:16:54 | 3,4360260 | 8,5904110 | 302,2 | 1,5 |
| 1/10/19 10:18:10 | 3,4360230 | 8,5905010 | 290,1 | |
| 1/10/19 10:19:29 | 3,4360730 | 8,5904260 | 298,7 | 0.0 |
| 1/10/19 10:20:51 | 3,4359830 | 8,5904460 | 291,0 | 0,9 |
| 1/10/19 10:26:39 | 3,4360590 | 8,5904960 | 286,4 | |
| 1/10/19 10:29:21 | 3,4359700 | 8,5904790 | 292,2 | |
| 1/10/19 10:29:41 | 3,4358750 | 8,5904780 | 293,7 | 5,0 |
| 1/10/19 10:29:55 | 3,4358340 | 8,5903920 | 298,5 | 2,4 |
| 1/10/19 10:30:15 | 3,4357850 | 8,5903160 | 292,3 | 4,0 |
| 1/10/19 10:35:05 | 3,4356980 | 8,5902850 | 285,4 | |
| 1/10/19 10:45:50 | 3,4357680 | 8,5902270 | 288,0 | |
| 1/10/19 10:49:03 | 3,4357910 | 8,5903140 | 288,6 | |
| 1/10/19 10:52:04 | 3,4358110 | 8,5902250 | 277,0 | 1,3 |
| 1/10/19 10:52:49 | 3,4358760 | 8,5901630 | 300,7 | 0,6 |
| 1/10/19 10:53:07 | 3,4358700 | 8,5900680 | 301,0 | 7,6 |
| 1/10/19 10:53:17 | 3,4358810 | 8,5899770 | 302,8 | 3,1 |
| 1/10/19 10:53:30 | 3,4358840 | 8,5898850 | 308,7 | 6,3 |
| 1/10/19 10:53:45 | 3,4358860 | 8,5897930 | 308,9 | 2,1 |
| 1/10/19 10:53:55 | 3,4359360 | 8,5897060 | 312,3 | 1,5 |
| 1/10/19 10:54:07 | 3,4359380 | 8,5896110 | 305,9 | 4,0 |
| 1/10/19 10:54:21 | 3,4359810 | 8,5895170 | 309,3 | 2,4 |
| 1/10/19 10:54:33 | 3,4360330 | 8,5894390 | 307,2 | 2,9 |
| 1/10/19 10:54:41 | 3,4361010 | 8,5893760 | 310,9 | 1,6 |
| 1/10/19 10:54:54 | 3,4361820 | 8,5893180 | 312,2 | 3,2 |
| 1/10/19 10:55:02 | 3,4362700 | 8,5892850 | 312,8 | 1,7 |
| 1/10/19 10:55:19 | 3,4362610 | 8,5891880 | 311,6 | 2,4 |
| 1/10/19 10:55:28 | 3,4363200 | 8,5891060 | 318,4 | 2,1 |
| 1/10/19 10:55:38 | 3,4363730 | 8,5890230 | 315,6 | 2,1 |
| 1/10/19 10:55:50 | 3,4364210 | 8,5889280 | 317,7 | 2,1 |
| 1/10/19 10:56:12 | 3,4364910 | 8,5888620 | 318,9 | 6,2 |
| 1/10/19 10:56:23 | 3,4365380 | 8,5887720 | 323,9 | 1,0 |
| 1/10/19 10:56:31 | 3,4366140 | 8,5887180 | 319,4 | 3,3 |
| 1/10/19 10:56:39 | 3,4366500 | 8,5886290 | 315,7 | 5,4 |
| 1/10/19 10:56:53 | 3,4367110 | 8,5885450 | 313,7 | 4,4 |
| 1/10/19 10:57:03 | 3,4367440 | 8,5884560 | 308,4 | 2,7 |
| 1/10/19 10:57:11 | 3,4367840 | 8,5883630 | 310,9 | 3,9 |
| | | | | |
| 1/10/19 10:57:25 | 3,4367800 | 8,5882570 | 308,3 | 2,7 |
| 1/10/19 10:57:36 | 3,4368020 | 8,5881490 | 303,5 | 7,3 |
| 1/10/19 10:57:44 | 3,4368130 | 8,5880560 | 303,1 | 3,7 |
| 1/10/19 10:58:00 | 3,4368600 | 8,5879680 | 310,1 | 5,0 |
| 1/10/19 10:58:08 | 3,4368830 | 8,5878780 | 309,7 | 6,4 |
| 1/10/19 10:58:17 | 3,4369120 | 8,5877820 | 310,6 | 5,1 |
| 1/10/19 10:58:24 | 3,4369240 | 8,5876870 | 312,8 | 7,5 |
| 1/10/19 10:58:32 | 3,4369780 | 8,5876110 | 311,5 | 1,6 |

| Período de registro | Latitud [º] | Longitud [º] | Altitud [m] | Velocidad [km/h] |
|---------------------|-------------|--------------|-------------|------------------|
| 1/10/19 10:58:46 | 3,4370530 | 8,5875580 | 310,6 | 3,0 |
| 1/10/19 10:58:55 | 3,4371010 | 8,5874790 | 309,8 | 0,9 |
| 1/10/19 10:59:15 | 3,4371330 | 8,5873920 | 318,2 | 2,5 |
| 1/10/19 10:59:27 | 3,4371050 | 8,5872910 | 319,9 | 5,1 |
| 1/10/19 10:59:34 | 3,4370870 | 8,5871960 | 321,4 | 7,5 |
| 1/10/19 10:59:43 | 3,4370600 | 8,5871030 | 321,0 | 2,6 |
| 1/10/19 10:59:51 | 3,4370920 | 8,5870190 | 321,2 | 2,9 |
| 1/10/19 11:00:02 | 3,4371620 | 8,5869600 | 322,8 | 3,3 |
| 1/10/19 11:00:13 | 3,4372290 | 8,5868820 | 314,5 | 4,9 |
| 1/10/19 11:00:21 | 3,4372750 | 8,5868020 | 306,7 | 4,1 |
| 1/10/19 11:00:31 | 3,4373340 | 8,5867330 | 310,3 | 2,9 |
| 1/10/19 11:00:42 | 3,4374040 | 8,5866700 | 309,4 | |
| 1/10/19 11:00:57 | 3,4374550 | 8,5865840 | 310,3 | 1,1 |
| 1/10/19 11:01:06 | 3,4374240 | 8,5864920 | 304,7 | |
| 1/10/19 11:01:24 | 3,4374190 | 8,5863950 | 303,6 | |
| 1/10/19 11:01:38 | 3,4374940 | 8,5863430 | 305,3 | 1,3 |
| 1/10/19 11:01:56 | 3,4375480 | 8,5862660 | 308,4 | |
| 1/10/19 11:02:07 | 3,4376240 | 8,5862030 | 305,0 | 2,2 |
| 1/10/19 11:02:22 | 3,4376770 | 8,5861190 | 309,4 | 2,6 |
| 1/10/19 11:02:30 | 3,4377630 | 8,5860820 | 316,5 | 0,7 |
| 1/10/19 11:02:41 | 3,4377760 | 8,5859680 | 306,6 | 3,3 |
| 1/10/19 11:02:47 | 3,4377590 | 8,5858730 | 305,2 | 9,0 |
| 1/10/19 11:02:58 | 3,4377940 | 8,5857850 | 303,5 | 5,2 |
| 1/10/19 11:03:07 | 3,4378140 | 8,5856860 | 305,1 | 5,4 |
| 1/10/19 11:03:16 | 3,4379000 | 8,5856470 | 306,7 | 4,6 |
| 1/10/19 11:03:27 | 3,4379570 | 8,5855710 | 307,7 | 1,6 |
| 1/10/19 11:03:40 | 3,4379850 | 8,5854840 | 311,9 | 2,6 |
| 1/10/19 11:03:46 | 3,4380280 | 8,5853970 | 310,8 | 1,5 |
| 1/10/19 11:03:54 | 3,4380710 | 8,5852970 | 309,9 | 3,1 |
| 1/10/19 11:04:03 | 3,4381330 | 8,5852270 | 307,9 | 2,8 |
| 1/10/19 11:04:14 | 3,4381960 | 8,5851530 | 308,5 | 1,6 |
| 1/10/19 11:04:23 | 3,4382650 | 8,5850910 | 305,8 | 1,9 |
| 1/10/19 11:04:30 | 3,4383300 | 8,5850160 | 302,1 | 2,4 |
| 1/10/19 11:04:42 | 3,4383870 | 8,5849410 | 303,8 | 5,2 |
| 1/10/19 11:04:55 | 3,4384440 | 8,5848510 | 306,3 | 4,7 |
| 1/10/19 11:05:07 | 3,4384650 | 8,5847520 | 305,9 | 3,7 |
| 1/10/19 11:05:14 | 3,4384400 | 8,5846370 | 304,5 | 13,5 |
| 1/10/19 11:05:20 | 3,4384260 | 8,5845450 | 302,9 | 4,1 |
| 1/10/19 11:05:29 | 3,4384240 | 8,5844530 | 304,1 | 2,5 |
| 1/10/19 11:05:37 | 3,4384280 | 8,5843560 | 301,3 | 5,6 |
| 1/10/19 11:05:45 | 3,4384250 | 8,5842640 | 301,4 | 4,8 |

12.1. VIABILIDAD ECONÓMICA DEL PROYECTO EN 25 AÑOS

| Años del proyecto | 25,0 Años |
|---|-------------------|
| Euribor 12 meses | 0,01% |
| Tasas de interés | 15,00% |
| O&M 2,5%*CI | 48 439 145 XAF |
| | |
| Cambio € - XAF | 656 XAF |
| Inversión | 2 427 001 543 XAF |
| | |
| Valor Actual Neto (VAN) | -130 707,49 € |
| Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) | |
| rasa interna de Kentabilidad (Tik) | 15,00% |
| Período de retorno de la inversión (PRI Simple) | 6,5 Años |
| Período de retorno de la inversión descontada (PRI Descontado) | 25,0 Años |
| ROI | 1,0 Años |

| AÑO | ELECTRICIDAD PRODUZIDA [MWh] | ELECTRICIDAD VENDIDA [XAF] | OPERACIONES y MANTENIMIENTO (O&M) [XAF] | FLUJO EFETIVO ANTES DE INTERESES [XAF] |
|-----|------------------------------------|-------------------------------|---|--|
| 0 | | | | |
| 1 | 4 923 MWh | 423 871 579 XAF | -48 439 145 XAF | 375 432 435 XAF |
| 2 | 4 923 MWh | 423 871 579 XAF | -48 439 145 XAF | 375 432 435 XAF |
| 3 | 4 923 MWh | 423 871 579 XAF | -48 439 145 XAF | 375 432 435 XAF |
| 4 | 4 923 MWh | 423 871 579 XAF | -48 439 145 XAF | 375 432 435 XAF |
| 5 | 4 923 MWh | 423 871 579 XAF | -48 439 145 XAF | 375 432 435 XAF |
| 6 | 4 923 MWh | 423 871 579 XAF | -48 439 145 XAF | 375 432 435 XAF |
| 7 | 4 923 MWh | 423 871 579 XAF | -48 439 145 XAF | 375 432 435 XAF |
| 8 | 4 923 MWh | 423 871 579 XAF | -48 439 145 XAF | 375 432 435 XAF |
| 9 | 4 923 MWh | 423 871 579 XAF | -48 439 145 XAF | 375 432 435 XAF |
| 10 | 4 923 MWh | 423 871 579 XAF | -48 439 145 XAF | 375 432 435 XAF |
| 11 | 4 923 MWh | 423 871 579 XAF | -48 439 145 XAF | 375 432 435 XAF |
| 12 | 4 923 MWh | 423 871 579 XAF | -48 439 145 XAF | 375 432 435 XAF |
| 13 | 4 923 MWh | 423 871 579 XAF | -48 439 145 XAF | 375 432 435 XAF |
| 14 | 4 923 MWh | 423 871 579 XAF | -48 439 145 XAF | 375 432 435 XAF |
| 15 | 4 923 MWh | 423 871 579 XAF | -48 439 145 XAF | 375 432 435 XAF |
| 16 | 4 923 MWh | 423 871 579 XAF | -48 439 145 XAF | 375 432 435 XAF |
| 17 | 4 923 MWh | 423 871 579 XAF | -48 439 145 XAF | 375 432 435 XAF |
| 18 | 4 923 MWh | 423 871 579 XAF | -48 439 145 XAF | 375 432 435 XAF |
| 19 | 4 923 MWh | 423 871 579 XAF | -48 439 145 XAF | 375 432 435 XAF |
| 20 | 4 923 MWh | 423 871 579 XAF | -48 439 145 XAF | 375 432 435 XAF |
| 21 | 4 923 MWh | 423 871 579 XAF | -48 439 145 XAF | 375 432 435 XAF |
| 22 | 4 923 MWh | 423 871 579 XAF | -48 439 145 XAF | 375 432 435 XAF |
| 23 | 4 923 MWh | 423 871 579 XAF | -48 439 145 XAF | 375 432 435 XAF |
| 24 | 4 923 MWh | 423 871 579 XAF | -48 439 145 XAF | 375 432 435 XAF |
| 25 | 4 923 MWh | 423 871 579 XAF | -48 439 145 XAF | 375 432 435 XAF |

| FLUJO DE CAJA DESPUÉS DE INTERESSES [XAF] | FLUJO DE CAJA ACUMULADO [XAF] |
|---|----------------------------------|
| -2 427 001 543 XAF | -2 427 001 543 XAF |
| 375 432 435 XAF | -2 051 569 108 XAF |
| 375 432 435 XAF | -1 676 136 673 XAF |
| 375 432 435 XAF | -1 300 704 239 XAF |
| 375 432 435 XAF | -925 271 804 XAF |
| 375 432 435 XAF | -549 839 369 XAF |
| 375 432 435 XAF | -174 406 935 XAF |
| 375 432 435 XAF | 201 025 500 XAF |
| 375 432 435 XAF | 576 457 935 XAF |
| 375 432 435 XAF | 951 890 369 XAF |
| 375 432 435 XAF | 1 327 322 804 XAF |
| 375 432 435 XAF | 1 702 755 238 XAF |
| 375 432 435 XAF | 2 078 187 673 XAF |
| 375 432 435 XAF | 2 453 620 108 XAF |
| 375 432 435 XAF | 2 829 052 542 XAF |
| 375 432 435 XAF | 3 204 484 977 XAF |
| 375 432 435 XAF | 3 579 917 412 XAF |
| 375 432 435 XAF | 3 955 349 846 XAF |
| 375 432 435 XAF | 4 330 782 281 XAF |
| 375 432 435 XAF | 4 706 214 716 XAF |
| 375 432 435 XAF | 5 081 647 150 XAF |
| 375 432 435 XAF | 5 457 079 585 XAF |
| 375 432 435 XAF | 5 832 512 020 XAF |
| 375 432 435 XAF | 6 207 944 454 XAF |
| 375 432 435 XAF | 6 583 376 889 XAF |
| 375 432 435 XAF | 6 958 809 323 XAF |

| FLUJO DE CAJA DESCONTADO [XAF] | FLUJO DE CAJA ACUMULADO DESCONTADO [XAF] |
|--------------------------------------|--|
| | -2 427 001 543 XAF |
| 326 462 987 XAF | -2 100 538 556 XAF |
| 283 880 858 XAF | -1 816 657 698 XAF |
| 246 852 920 XAF | -1 569 804 778 XAF |
| 214 654 713 XAF | -1 355 150 065 XAF |
| 186 656 272 XAF | -1 168 493 793 XAF |
| 162 309 802 XAF | -1 006 183 991 XAF |
| 141 138 958 XAF | -865 045 033 XAF |
| 122 729 529 XAF | -742 315 504 XAF |
| 106 721 329 XAF | -635 594 175 XAF |
| 92 801 156 XAF | -542 793 018 XAF |
| 80 696 657 XAF | -462 096 361 XAF |
| 70 171 006 XAF | -391 925 355 XAF |
| 61 018 266 XAF | -330 907 088 XAF |
| 53 059 362 XAF | -277 847 726 XAF |
| 46 138 576 XAF | -231 709 150 XAF |
| 40 120 501 XAF | -191 588 650 XAF |
| 34 887 392 XAF | -156 701 258 XAF |
| 30 336 863 XAF | -126 364 395 XAF |
| 26 379 880 XAF | -99 984 515 XAF |
| 22 939 026 XAF | -77 045 488 XAF |
| 19 946 980 XAF | -57 098 509 XAF |
| 17 345 200 XAF | -39 753 309 XAF |
| 15 082 782 XAF | -24 670 527 XAF |
| 13 115 463 XAF | -11 555 064 XAF |
| 11 404 750 XAF | -150 314 XAF |

I. PERFILES DE CARGA

12.1.1. PERFIL DE CARGA: % DE USO DE LOS EQUIPOS

| | | | | | | | | | | | % | uso de eq | uipos | | | | | | | | | | | | |
|--------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Código | Designación | 01:00 | 02:00 | 03:00 | 04:00 | 05:00 | 06:00 | 07:00 | 08:00 | 09:00 | 10:00 | 11:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 | 19:00 | 20:00 | 21:00 | 22:00 | 23:00 | 00:00 |
| 1.1 | Bombias | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,50 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,50 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,50 | 0,50 | 1,00 | 1,00 | 0,50 | 0,00 |
| 1.2 | Congelador | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 |
| 1.3 | Televisor | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,50 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 1,00 | 1,00 | 0,50 | 0,00 |
| 1.4 | Decoder | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1.5 | Plancha | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,25 | 0,25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,25 | 0,25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1.6 | M.Lavadora | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,50 | 0,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,50 | 0,75 | 0,75 | 0,50 | 0,25 | 0,00 | 0,00 |
| 1.7 | Calentador | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,00 | 0,00 |
| 1.8 | Aparato | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1.9 | DVD | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1.10 | Frigorifico | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 |
| 1.11 | Radio | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 |
| 1.12 | Cafetera | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1.13 | Nevera | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 |
| 1.14 | E.Musical | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 |
| 1.15 | Microondas | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,50 | 0,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,50 | 1,00 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,50 | 0,50 | 1,00 | 0,10 | 0,00 | 0,00 |
| 1.16 | Máquina de Cozer | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1.17 | Secador | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,35 | 0,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,35 | 0,35 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1.18 | lluminación pública | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

| % horas en uso | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Código | Designación | 01:00 | 02:00 | 03:00 | 04:00 | 05:00 | 06:00 | 07:00 | 08:00 | 09:00 | 10:00 | 11:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 | 19:00 | 20:00 | 21:00 | 22:00 | 23:00 | 00:00 |
| 1.1 | Bombias | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 |
| 1.2 | Congelador | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| 1.3 | Televisor | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 |
| 1.4 | Decoder | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1.5 | Plancha | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,50 | 0,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,50 | 0,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1.6 | M.Lavadora | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1.7 | Calentador | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,40 | 0,40 | 0,40 | 0,00 | 0,00 |
| 1.8 | Aparato | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1.9 | DVD | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1.10 | Frigorifico | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| 1.11 | Radio | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 |
| 1.12 | Cafetera | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1.13 | Nevera | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 | 0,35 |
| 1.14 | E.Musical | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 |
| 1.15 | Microondas | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,00 | 0,00 |
| 1.16 | Máquina de Cozer | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1.17 | Secador | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1.18 | lluminación pública | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

| | | | | | | | | | | | Potencia e | léctrica co | onsumida | W] | | | | | | | | | | | |
|--------|---------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Código | Designación | 01:00 | 02:00 | 03:00 | 04:00 | 05:00 | 06:00 | 07:00 | 08:00 | 09:00 | 10:00 | 11:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 | 19:00 | 20:00 | 21:00 | 22:00 | 23:00 | 00:00 |
| 1.1 | Bombias | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 7 584,50 | 15 169,00 | 15 169,00 | 15 169,00 | 7 584,50 | 1 516,90 | 1 516,90 | 1 516,90 | 1 516,90 | 1 516,90 | 1 516,90 | 1 516,90 | 1 516,90 | 7 584,50 | 7 584,50 | 15 169,00 | 15 169,00 | 7 584,50 | 0,00 |
| 1.2 | Congelador | 752,50 | 752,50 | 752,50 | 752,50 | 752,50 | 752,50 | 752,50 | 752,50 | 752,50 | 752,50 | 752,50 | 752,50 | 752,50 | 752,50 | 752,50 | 752,50 | 752,50 | 752,50 | 752,50 | 752,50 | 752,50 | 752,50 | 752,50 | 752,50 |
| 1.3 | Televisor | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 7 350,00 | 14 700,00 | 14 700,00 | 14 700,00 | 7 350,00 | 7 350,00 | 7 350,00 | 7 350,00 | 7 350,00 | 7 350,00 | 7 350,00 | 7 350,00 | 7 350,00 | 7 350,00 | 7 350,00 | 14 700,00 | 14 700,00 | 7 350,00 | 0,00 |
| 1.4 | Decoder | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1.5 | Plancha | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 12 000,00 | 12 000,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2 400,00 | 2 400,00 | 2 400,00 | 12 000,00 | 12 000,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1.6 | M.Lavadora | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 29 148,00 | 29 148,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 29 148,00 | 43 722,00 | 43 722,00 | 29 148,00 | 14 574,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1.7 | Calentador | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1 600,00 | 1 600,00 | 1 600,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1.8 | Aparato | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1.9 | DVD | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 300,00 | 300,00 | 300,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1.10 | Frigorifico | 1 866,20 | 1 866,20 | 1 866,20 | 1 866,20 | 1 866,20 | 1 866,20 | 1 866,20 | 1 866,20 | 1 866,20 | 1 866,20 | 1 866,20 | 1 866,20 | 1 866,20 | 1 866,20 | 1 866,20 | 1 866,20 | 1 866,20 | 1 866,20 | 1 866,20 | 1 866,20 | 1 866,20 | 1 866,20 | 1 866,20 | 1 866,20 |
| 1.11 | Radio | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1 400,00 | 1 400,00 | 1 400,00 | 1 400,00 | 1 400,00 | 1 400,00 | 1 400,00 | 1 400,00 | 1 400,00 | 1 400,00 | 1 400,00 | 1 400,00 | 1 400,00 | 1 400,00 | 1 400,00 | 1 400,00 | 1 400,00 | 1 400,00 | 0,00 |
| 1.12 | Cafetera | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 200,00 | 200,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1.13 | Nevera | 168,56 | 168,56 | 168,56 | 168,56 | 168,56 | 168,56 | 168,56 | 168,56 | 168,56 | 168,56 | 168,56 | 168,56 | 168,56 | 168,56 | 168,56 | 168,56 | 168,56 | 168,56 | 168,56 | 168,56 | 168,56 | 168,56 | 168,56 | 168,56 |
| 1.14 | E.Musical | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1 640,00 | 1 640,00 | 1 640,00 | 1 640,00 | 1 640,00 | 1 640,00 | 1 640,00 | 1 640,00 | 1 640,00 | 1 640,00 | 1 640,00 | 1 640,00 | 1 640,00 | 1 640,00 | 1 640,00 | 1 640,00 | 1 640,00 | 1 640,00 | 0,00 |
| 1.15 | Microondas | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 337,50 | 337,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 337,50 | 675,00 | 67,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 337,50 | 337,50 | 675,00 | 67,50 | 0,00 | 0,00 |
| 1.16 | Máquina de Cozer | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1.17 | Secador | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 157,50 | 157,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 157,50 | 157,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 1.18 | lluminación pública | 1 800,00 | 1 800,00 | 1 800,00 | 1 800,00 | 1 800,00 | 1 800,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1 800,00 | 1 800,00 | 1 800,00 | 1 800,00 | 1 800,00 |
| | Hora | 01:00 | 02:00 | 03:00 | 04:00 | 05:00 | 06:00 | 07:00 | 08:00 | 09:00 | 10:00 | 11:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 15:00 | 16:00 | 17:00 | 18:00 | 19:00 | 20:00 | 21:00 | 22:00 | 23:00 | 00:00 |
| CURVA | DE CARGA ANUAL [W] | 4 587,26 | 4 587,26 | 4 587,26 | 4 587,26 | 4 587,26 | 22 561,76 | 48 391,26 | 77 539,26 | 64 844,26 | 20 761,76 | 14 694,16 | 15 031,66 | 15 369,16 | 14 761,66 | 17 094,16 | 17 094,16 | 17 094,16 | 55 842,16 | 76 821,26 | 68 678,76 | 69 376,76 | 54 037,76 | 22 561,76 | 4 587,26 |