



**Escuela Técnica
Superior de Ingeniería
de Caminos, Canales y
Puertos**



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

Estudio de soluciones para el diseño de un aprovechamiento hidroeléctrico en el río Yaguajal en la comunidad de Los Corozos, provincia de Santiago Rodríguez (República Dominicana)

**TRABAJO FINAL DE GRADO
GRADO DE INGENIERÍA DE OBRAS PÚBLICAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE
CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**

**Autor: Adelino Pastrana Pavía
Tutor: Abel Solera Solera
Curso 2016-2017**

Valencia, Septiembre de 2017

MEMORIA

Índice

1. Objeto del proyecto	4
2. Justificación	4
3. Antecedentes	4
I. Ubicación y clima	4
II. Servicios básicos e infraestructuras	6
III. Características socio-económicas	7
4. Normativa	7
5. Definición del área de estudio	8
6. Análisis de la demanda de energía	9
7. Hidrología y topografía	11
I. Características de la cuenca	11
II. Condiciones topográficas y salto aprovechable	13
8. Estudio de soluciones.	13
9. Componentes del sistema micro hidroeléctrico	16
I. Tubería de conducción del agua	16
II. Equipos y potencia de generación	17
III. Diseño de la obra de toma	18
IV. Desarenador	21
V. Casa de máquinas.	22
VI. Redes de distribución eléctrica	23
10. Impacto ambiental del sistema	23
11. Sistema de gestión	24

1. Objeto del proyecto

El objeto de este proyecto es realizar un estudio que permita encontrar las condiciones más adecuadas de caudal y salto aprovechable para el diseño de un aprovechamiento micro hidroeléctrico en el río Yaguajal en la comunidad de los Corozos (República Dominicana).

Para ello, se realizaron unas visitas de campo durante una estancia de cinco meses en República Dominicana a través de una Beca Merídies – Cooperación. Una vez identificado que el caudal y el salto en la zona es suficiente para la construcción de un aprovechamiento, este estudio se centrará en situar la mejor ubicación para construir los principales componentes del sistema: obra de toma, desarenador y casa de máquinas. Y además, se planteará el estudio de varias soluciones en el tipo de material para la construcción de la presa.

2. Justificación

En la República Dominicana existen muchas comunidades rurales que no disponen de electricidad, y que por su ubicación es difícil que se puedan conectar a la Red Eléctrica Nacional Dominicana. La ausencia de energía eléctrica limita el crecimiento de estas comunidades al impedir su desarrollo económico, incrementando la migración y la pobreza. Por otro lado, el país tiene unas condiciones de pluviometría muy buenas que les permite utilizar el recurso del agua para instalar aprovechamientos hidroeléctricos.

La comunidad de Los Corozos al conocer experiencias exitosas de instalación de sistemas micro hidroeléctricos en las comunidades vecinas, se encomendó al *Programa de Pequeños Subsidios de Naciones Unidas (PPS – PNUD)* que se encarga de facilitarles asistencia técnica y financiamiento para la evaluación y construcción de estos sistemas que les llevará a mejorar el bienestar social de sus vecinos.

3. Antecedentes

I. Ubicación y clima

La República Dominicana es un país de América Central que ocupa las 2/3 partes de la Isla Hispaniola, ubicada en el Mar Caribe (Figura 1). Este país comparte frontera al oeste con Haití que ocupa el resto de la isla.



Figura 1.- Ubicación Isla Hispaniola y República Dominicana

La comunidad de Los Corozos se localiza al noroeste de República Dominicana y pertenece al municipio de Sabaneta, provincia de Santiago Rodríguez, en la parte noroccidental de la Cordillera Central.



Figura 2.- Ubicación Los Corozos

Esta comunidad se encuentra a una altura de 420 metros sobre el nivel del mar. Cuenta con una temperatura media anual de 27 grados centígrados, y una precipitación anual de 689 milímetros, con picos de lluvia en los meses de abril-mayo y septiembre-octubre (Figura 3), lo que define condiciones de clima típicamente húmedo.

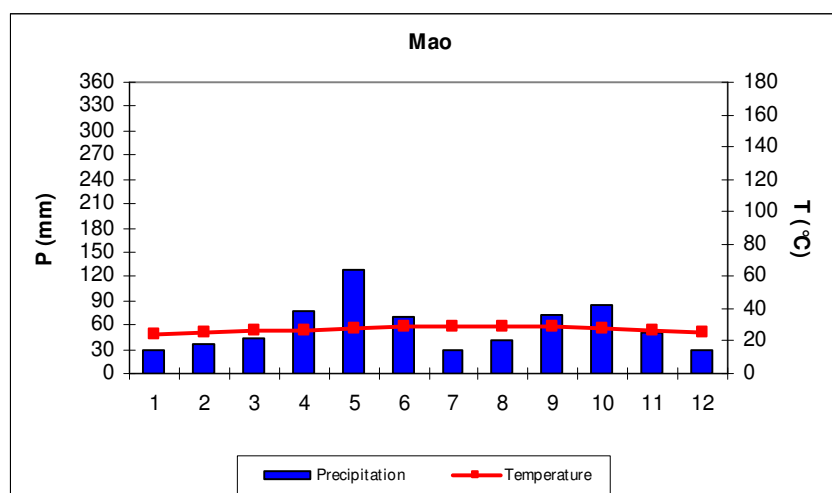


Figura 3.- Diagrama termo pluviométrico de la estación de Mao, relativo al período de referencia 1971-2000 (datos ONAMET).

II. Servicios básicos e infraestructuras

La comunidad de Los Corozos se encuentra a 20 kilómetros al sureste del pueblo de Sabaneta. Su acceso se realiza a través de una carretera en su mayoría asfaltada, mientras que los últimos kilómetros hasta la comunidad se recorren por un camino de tierra y grava. El estado de los caminos es bueno y no se necesita de vehículos con doble tracción para acceder a la comunidad.

El servicio de abastecimiento de agua se realiza a través de un acueducto que toma el agua del Río Yaguajal y llega a la mayoría de las viviendas de la comunidad a través de tuberías.

En cuanto a la salud, la clínica más cercana se encuentra a 6 kilómetros de distancia en la comunidad de El Vallecito. Si se busca una atención más especializada se deben desplazar hasta Santiago Rodríguez.

La escuela más cercana está en la comunidad de Los Planes a una distancia de 1'5 kilómetros. Se encuentran inscritos entre 10 y 12 niños de diferentes niveles escolares. Si se desea tener una formación superior a la básica, se deben desplazar a otras comunidades.

La mayoría de las viviendas están construidas de paredes de madera y techo de zinc.

Sus habitantes no están conectados a la red nacional eléctrica. Sin embargo, algunas casas cuentan con electricidad derivada de pequeños paneles solares privados que no tienen capacidad de mantener el servicio las 24 horas, solo se utilizan para encender un par de bombillas y alguna radio durante algunas horas al día. Esto se suma a la

necesidad de comprar costosas baterías para almacenar la electricidad y su consecuente daño ecológico.

III. Características socio-económicas

La República Dominicana cuenta con una población de 10 millones de habitantes y su principal recurso económico es el sector de servicios, destacando sobre todo el turismo. Las zonas rurales del interior de la isla viven mediante una economía de subsistencia cultivando sus propios alimentos, criando animales y vendiendo el excedente de producción obtenido

En la comunidad de Los Corozos viven 14 familias y su actividad económica es prevalentemente agrícola y ganadera, destacándose el cultivo de yuca y plátano. Cuentan con ganado destinado principalmente a la producción de leche. A lo largo de la cuenca del río Yaguajal se pueden ver los efectos derivados de la práctica ganadera extensiva y de la agricultura con prácticas no sustentables. La ganadería ha provocado la pérdida de biodiversidad y cobertura forestal, exponiendo los suelos a la erosión por viento y lluvia. De igual manera, la agricultura se realiza en terrenos de gran pendiente y se practica la siembra y quema en los cultivos de la zona, degradando la calidad del suelo e incentivando la erosión.

Se pretende que la implementación del proyecto hidroeléctrico haga conciencia entre la población sobre el impacto ambiental de implementar cultivos en laderas inclinadas erosionables y de prácticas agrícolas, ganaderas y forestales no sustentables, con la intención de reducir las presiones sobre los ecosistemas.

No existen actividades comerciales significativas en la zona. El colmado más cercano se encuentra a 1'5 kilómetros de distancia en la comunidad de Los Planes, por lo que los vecinos necesitan desplazarse a esta comunidad para hacer la compra básica de alimentos no perecederos. Para realizar compras de alimentos perecederos deben desplazarse hasta Sabaneta.

4. Normativa

En la construcción de estos aprovechamientos hidroeléctricos interviene el *Programa de Pequeños Subsidios* (a partir de ahora PPS) y el gobierno dominicano a través de una empresa pública llamada *Unidad de Electrificación Rural y Suburbana* (a partir de ahora UERS). El PPS se encarga de realizar el diseño de la ingeniería hidráulica y el asesoramiento durante su construcción, y la UERS realiza la instalación de la línea eléctrica.

Los sistemas micro hidroeléctricos construidos a través de este programa son totalmente autónomos, y una vez finalizados son propiedad de las comunidades. Serán los propios

comunitarios a través de un comité los encargados de gestionar el sistema y aplicar sus propias reglas y sanciones.

Con el fin de respaldar el funcionamiento de estos sistemas y regularizar su situación, el gobierno dominicano ha incluido la energía hidroeléctrica comunitaria en los Planes Energéticos Nacionales. Por tanto, estos aprovechamientos se rigen a través de las siguientes leyes:

- ✓ Ley 64-00, Ley General sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales
- ✓ Ley 57-07, sobre Incentivo al Desarrollo de Fuentes Renovables de Energía y sus Regímenes Especiales
- ✓ Reglamento de aplicación de la Ley 57-07, de la Comisión Nacional de Energía.

Como se puede observar, el consenso y el dialogo entre el gobierno dominicano y el PPS es total. Es por ello que estas leyes amparan la figura de autoprodutores de energía eléctrica mediante aprovechamiento hidroeléctrico autónomo. Y además, otro de los aspectos a tener en cuenta es que el Comité Directivo Nacional del PPS, el cual se encarga de aprobar las ayudas de los proyectos hidroeléctricos, está integrado por un representante del Ministerio Ambiente.

5. Definición del área de estudio

El área de estudio donde se han efectuado las mediciones y los cálculos de este estudio se concentran en una superficie de 0'5 kilómetros cuadrados marcada con un círculo en la figura 4. Esta zona se encuentra en el tramo medio del río Yaguajal, a apenas unos kilómetros de la comunidad de Los Corozos, y la pendiente del cauce es muy pequeña, es por ello que se necesita un caudal mayor para compensar y conseguir unas buenas condiciones para la instalación del sistema micro hidroeléctrico.



Figura 4 - Zona de intervención en la cuenca del rio Yaguajal.

En los siguientes apartados, se presentan los detalles de las mediciones llevadas a cabo y los diseños del sistema micro hidroeléctrico.

6. Análisis de la demanda de energía

Actualmente, en Los Corozos tan solo existen 14 viviendas que se beneficiarían de la electricidad. Además, no tienen actividades comerciales, ni edificios institucionales o públicos. Para hacer el análisis de la demanda de energía, se proyecta la posibilidad de la instalación de un colmado y un par de viviendas más en un futuro, producto de la disponibilidad de energía, así como la instalación de tres lámparas para alumbrado público.

Por tanto, para calcular la demanda actual del sistema se tendrá en cuenta la demanda doméstica, el alumbrado público y un colmado. Además, se divide la demanda en función de la carga diurna y nocturna, debido a la diferencia en los patrones de consumo, y se toma como referencia la mayor demanda. Se considera un valor del 5 % de pérdidas, y con ello se obtiene el valor final de la demanda actual.

De igual forma, se hace un cálculo de proyección de la demanda a 20 años, considerando una tasa de crecimiento del 2 % anual. Sin embargo, este valor se debe

interpretar con cautela, ya que el incremento en las actividades productivas puede significar un incremento mayor al 2 % en la demanda actual.

Demanda doméstica

El consumo familiar se calculó suponiendo el uso de los siguientes electrodomésticos por vivienda: televisor (300 W), lavadora (350 W), refrigerador (300 W) y bombillas de bajo consumo (20 W). Esto da un total de 970 W por vivienda, que si se multiplica por el número de viviendas (14 familias) da un total de 13'58 kW

Se debe de tener en cuenta que los electrodomésticos utilizados y las bombillas son de bajo consumo, si se comparan con los que se usan habitualmente en España. Además, los factores de simultaneidad (fs) y de uso (fu) se ajustan a las necesidades de la población y a los hábitos de consumo eléctrico con los que se les educa, como por ejemplo que para poner en marcha la lavadora deben apagar los otros electrodomésticos reduciendo de esta manera el consumo.

Actividades productivas

Aquí sólo se incluye un colmado (0'7 kW).

Alumbrado público

Se compone de 3 lámparas de 150 W, sumando una demanda total de 0'45 kW.

Nº de familias	14	Demanda Doméstica		13'58 kW			
Watt/Familia	970 W						
Nº de Lámparas	3	Alumbrado Público		0'45 kW			
Watt/Lámpara	150 W						
Consumo Colmado	0'7 kW	Demanda Usos productivos		0'7 kW			
Tipo de Carga	P máx. (kW)	Carga Diurna			Carga Nocturna		
		fs	fu	P (kW)	fs	fu	P (kW)
Doméstica	13'58	0'7	0'7	6'65	0'7	0'8	7'60
Alumbrado Público	0'45	0	0	0	1	1	0'45
Usos Productivos	0'7	0'8	0'9	0'50	0'7	0'6	0'29
		Total Diurno		7'16	Total Nocturna		8'35

P: potencia; fs: Factor de simultaneidad; fu: factor de uso

Mayor demanda	8'35 kW
Demanda con pérdidas (5%)	9 kW
Proyección	20 años
Tasa de crecimiento (anual)	2 %
Demanda futura de P	12 kW
POTENCIA ACTUAL	9 kW
POTENCIA DE DISEÑO	12 kW

Tabla 1. Cálculo de demanda del proyecto micro hidroeléctrico

7. Hidrología y topografía

Después de varias visitas de campo, con los resultados de caudal y topográficos obtenidos se decidió la ubicación aproximada de la obra de toma y la casa de máquinas que son determinantes a la hora del diseño del sistema micro hidroeléctrico.

Tanto las mediciones de caudal como las topográficas se tomaron en una zona cercana a la comunidad de Los Corozos teniendo en cuenta criterios de diseño técnicos y por motivos de proximidad para reducir los costes de la línea eléctrica. Además, también se escucharon y se tuvieron en cuenta las experiencias transmitidas por los comunitarios más mayores acerca de los históricos de avenidas.

Finalmente, por criterios técnicos y por la experiencia de los ingenieros y líderes comunitarios se decidió que las coordenadas de la obra de toma son NAD27 19N 253815; 2144491 y las de la casa de máquina son las siguientes NAD27 19N 254164; 2144960. En estos puntos será donde se tomen las mediciones topográficas y de caudal. Véase el *Anexo III* para situar los componentes del sistema

Se debe de tener en cuenta que en este proyecto, el sistema de referencia utilizado será el norte americano NAD27 para unificar criterios con los ingenieros de la UERS del gobierno dominicano que trabajan con la parte eléctrica del proyecto.

I. Características de la cuenca

La cuenca de estudio del río Yaguajal, se encuentra en el tramo medio-bajo del río, es por eso que su pendiente media es muy pequeña (1:30). Esta cuenca presenta un

porcentaje de cobertura arbórea medio (como se puede ver en la siguiente figura y en el mapa topográfico del *Anexo III*). Por tanto, con fines de garantizar la sostenibilidad del sistema hidroeléctrico es necesario que el proyecto lleve asociado un proceso de conservación de la parte alta de la cuenca, incluyendo su reforestación.

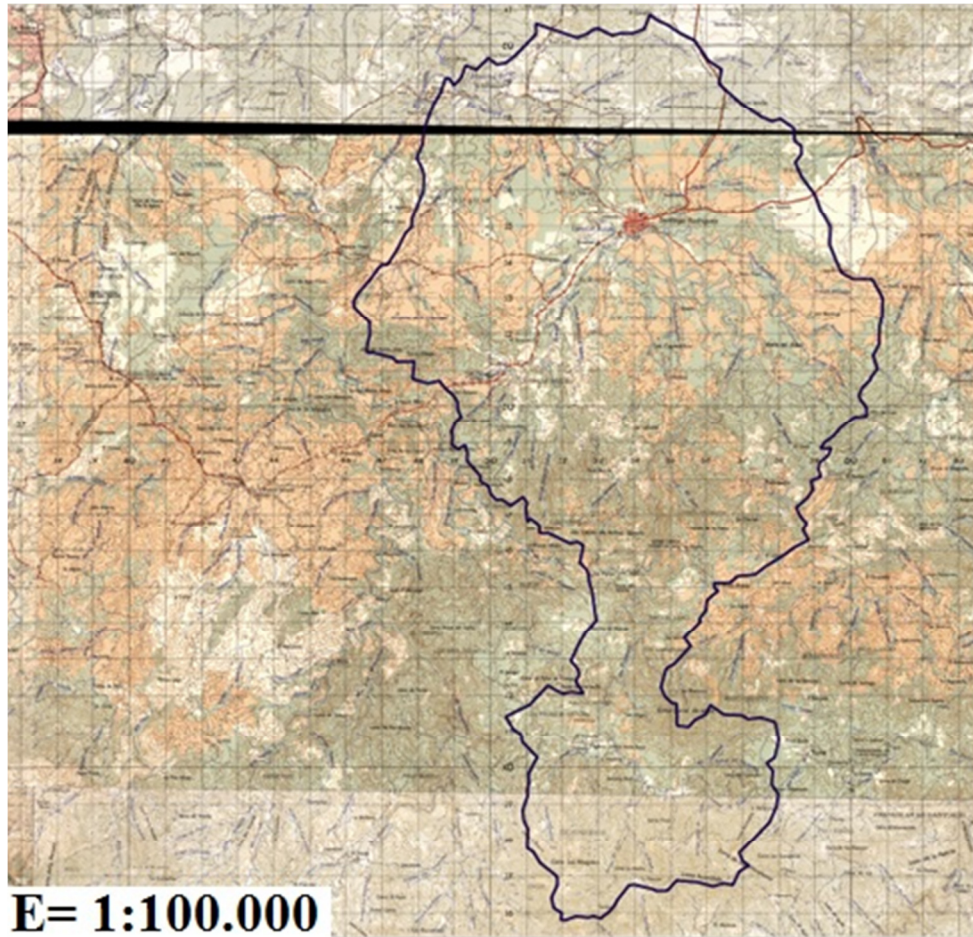


Figura 5- Área de intervención: en azul los límites de la cuenca del río Yaguajal.

Se tomaron varias mediciones de caudal, tanto en condiciones de estiaje como en periodos de lluvias. Para realizar el cálculo del caudal, se halló la superficie transversal del río (figura 6) y se tomaron mediciones de velocidad del flujo con el caudalímetro en un punto del río donde el régimen es laminar (coordenadas NAD27 19Q 253788; 2144475). Véase el *Anexo IV* para los detalles metodológicos del cálculo de caudal y los resultados obtenidos en estas mediciones.

Estas mediciones permiten estimar un caudal de estiaje del río Yaguajal de $0,31 \text{ m}^3/\text{s}$, correspondiente a 4.900 gal/min en unidades anglosajonas que son las que utilizan los comunitarios. En otra visita posterior, después de un periodo de lluvias se estimó un caudal de $0,33 \text{ m}^3/\text{s}$, correspondiente a 5.300 gal/min.

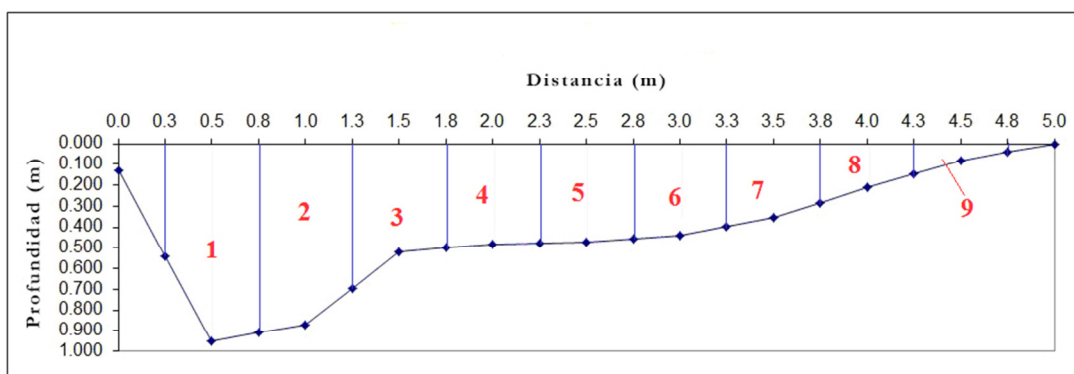


Figura 6 - Perfil transversal del río en la sección de medición de Q

Para fines de dimensionamiento del sistema micro hidroeléctrico es conveniente quedarse del lado de la seguridad, es por ello que se trabajará con el caudal de estiaje, y se considera un **caudal de diseño de 0'25 m³/s**, lo que representa el 82% del caudal de estiaje. De esta manera también se permite que fluya un pequeño caudal ambiental por el cauce y que no llegue a secarse en periodos de estiaje.

II. Condiciones topográficas y salto aprovechable

Las mediciones altimétricas realizadas de la obra de toma y la casa de máquinas, mediante uso de altímetro barométrico, permitieron determinar un **salto bruto aprovechable de 27 metros** en un tramo de 1.062 m de longitud. En el *Anexo III* se puede observar la ubicación de la obra de toma y la casa de máquinas, y las mediciones que se fueron tomando del perfil de la tubería.

8. Estudio de soluciones.

En el ambiente de cooperación en el que se encuentra este proyecto, se tienen una serie de dificultades añadidas: los recursos son muy escasos y hay poca mano de obra cualificada. Además, en este caso se debe de tener en cuenta el empoderamiento de los comunitarios para la construcción del sistema micro hidroeléctrico.

Los factores citados limitan el planteamiento de soluciones a la hora de construir la obra de toma, es por ello que solo se va a tener en cuenta las diferentes alternativas de los materiales a utilizar para la construcción, y únicamente se plantea un tipo de presa que resiste los empujes del agua por gravedad.

La forma constructiva de la presa será una presa de perfil transversal triangular que resiste los empujes por gravedad (figura 7), y su mecanismo resistente es el rozamiento

del cuerpo de presa con el terreno sobre el que se apoya debido a su gran peso (resistencia al deslizamiento). Además, para evitar el vuelco, la resultante de los empujes del agua y el peso propio debe de estar contenida en la base del cuerpo de presa.

Las fuerzas actuantes que se deben de tomar en consideración para calcular la **estabilidad de una presa de gravedad** son las siguientes:

- ✓ El *Peso Propio* de la presa (P_p)
- ✓ El *Empuje Hidrostático*:
 - Componente vertical estabilizadora (E_v): la lámina de agua existente por encima del paramento de aguas arriba de la presa
 - Componente horizontal desestabilizadora (E_H)
- ✓ El *Rozamiento* de la presa con el terreno (R)
- ✓ Las *Subpresiones* que se puedan generar por la pérdida de agua por filtraciones en la base de la presa, por el arrastre de material fino o por las presiones hidrostáticas en el interior de la presa
- ✓ El *Oleaje*. En el caso de la presa de materiales sueltos se debe impedir el vertido de agua por coronación de la presa.

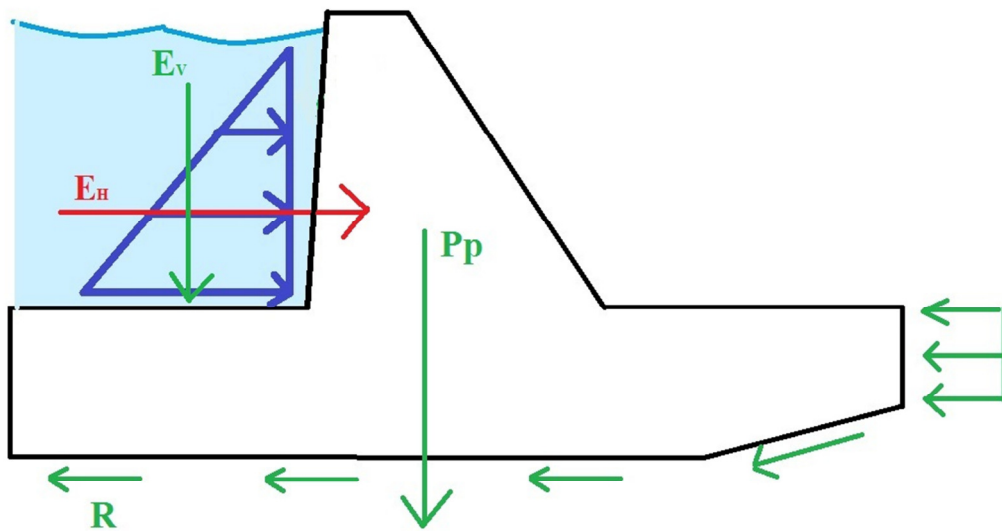


Figura 7.- Fuerzas actuantes en una presa resistente por gravedad

Con estas dimensiones se asegura la estabilidad de la presa, ya que se trata de una presa de 18m de ancho y tan solo una altura de 3m. Además, la cimentación de la presa se realizará sobre roca.

Las diferentes alternativas planteadas según el material a utilizar para la construcción de la presa son las siguientes:

Alternativa 1: Presa construida de materiales sueltos

Para la construcción de esta presa se pueden aprovechar los diferentes materiales encontrados en la zona, como piedras, gravas y tierras procedentes del propio río. El talud de aguas arriba debe estar formado por una capa de algún material impermeable como puede ser la arcilla y se puede proteger con otros materiales.

Esta es la alternativa más económica ya que no se utiliza hormigón, pero se debe de tener en cuenta que el agua no puede saltar la presa por peligro a que erosione y descalce el pie de presa perdiendo su capacidad resistente. Es por ello, que debido a las frecuentes crecidas de los ríos se desaconseja la construcción de este tipo de presa en Rep. Dominicana.

Alternativa 2: Presa construida de hormigón en masa

Para su construcción será necesario realizar un buen encofrado y buscar una ubicación óptima donde se tenga suficiente espacio para trabajar y sea más fácil la ejecución de la presa. En este caso, también es importante realizar un buen desvío para que no entre agua mientras se ejecutan los trabajos de hormigonado.

Se buscará entre las empresas de la zona los mejores materiales para realizar un hormigón en masa de cuanta mayor resistencia mejor, y que al menos sea superior a HM-30 (resistencia característica 30 N/mm²).

Alternativa 3: Presa mixta (materiales sueltos y hormigón en masa)

En esta alternativa se opta por una solución mixta entre las dos anteriores. Se puede realizar un cuerpo de presa de materiales sueltos y utilizar el hormigón para impermeabilizar la capa de aguas arriba y la parte superior de la presa por si en alguno de los periodos de lluvia, la presa se viera superada por arriba.

De esta manera no se encarece tanto el precio de la presa, al utilizar materiales de la zona, y colocar sólo el hormigón necesario para impermeabilizar la presa y que no tenga problemas estructurales en la época de avenidas.

Alternativa seleccionada.

A la hora de escoger entre un material u otro para construir la presa, se debe de tener en cuenta la dificultad técnica que supone para los maestros constructores la realización de un desvío para ejecutar y los escasos recursos económicos de que se disponen.

Aunque no se ha realizado un análisis exhaustivo para concretar cuál es la solución óptima en este caso; por el ambiente, la cualificación técnica, los costes de ejecución y la dificultad en el diseño, **se va a proceder a la ejecución de una solución mixta**. De esta manera, utilizando materiales del propio río se abarataran los costes del hormigón y dándole una capa impermeable de hormigón se asegurará la estabilidad de la presa y su función resistiva.

9. Componentes del sistema micro hidroeléctrico

I. Tubería de conducción del agua

Durante la fase de visitas de campo se recorrieron ambas vertientes del río Yaguajal con el objetivo de conocer cuál era la mejor ruta para ubicar la tubería. Se ha decidido tomar la ruta de la vertiente derecha para realizar el estudio porque presenta un menor número de cruces de cañada, y por tanto se deberá construir un menor número de apoyos para mantener el perfil de la tubería y su ejecución será más sencilla. La conducción de agua será llevada a cabo mediante tuberías de hierro de 20" y Policloruro de vinilo (PVC) de 16".

La pérdida de carga en la tubería puede estimarse en base a la Ecuación de Darcy - Weisbach:

$$h_f = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

h_f es la pérdida de carga debida a la fricción, en m

f es el factor de fricción de Darcy, adimensional

L es la longitud de la tubería, en m

D es el diámetro de la tubería, en m

v es la velocidad media del fluido, en m/s

g es la aceleración de gravedad, 9.8 m/s²

Considerando la distancia existente entre la obra de toma y el punto de generación (1.062 m), tubos de PVC, el diámetro de la tubería (16 pulgadas, correspondientes a 0'406 m) y un flujo laminar (Re=1000), las condiciones descritas determinarán una pérdida de carga de 0.18 metros, resultando un salto neto aprovechable de 26.8 metros.

En el Anexo V se presentan los perfiles horizontal y vertical de la línea de la tubería.

En base a los datos reportados arriba, el sistema constará de la cantidad y tipología de tubos:

- 120 tubos de PVC SDR41 de 16" de 6 m de longitud con junta de goma
- 52 tubos de PVC SDR26 de 16" de 6 m de longitud con junta de goma
- 5 tubos de hierro de 20" de 6 m de longitud

Los tubos de hierro de mayor diámetro se colocaran a la salida de la obra de toma y a la entrada de la casa de máquinas para resistir la mayor presión que existe. Además, para garantizar una mayor vida útil de la tubería, los tubos de PVC serán enterrados, mientras que los de hierro serán instalados en superficie.

A lo largo de todo el recorrido de la tubería se colocaran ventosas para extraer el aire en los puntos altos y desagües en los puntos bajos.

II. Equipos y potencia de generación

Por las características de salto neto (26'8 m) y el caudal disponible (4.000 gal/min, equivalentes a 252 l/s), la generación se puede realizar mediante una turbina Banki que es un tipo de turbina de flujo cruzado (Figura 8)

El cálculo de la potencia de generación se lleva a cabo mediante la fórmula siguiente:

$$P = g \times H \times Q \times \eta$$

donde:

P es la potencia, en kW

g es la aceleración de gravedad, en m/s^2

H es el salto neto o desnivel (salto bruto - pérdida de carga), en m

Q es el caudal, en m^3/s

η es el rendimiento global del sistema ($\eta = \eta_{turbina} \times \eta_{multiplicador} \times \eta_{generador}$)

En base a los datos reportados, y tomando un rendimiento del 70%, las condiciones existentes permiten la instalación de un sistema de hasta 40 kW de potencia.

Por tanto, la generación será garantizada por un generador eléctrico síncrono de 40 kW, monofásico, 60 Hz de frecuencia. Además, el sistema dispondrá de un tablero de control y un regulador electrónico por disipación de agua.

En el anexo IX se dispone una tabla con las características del generador

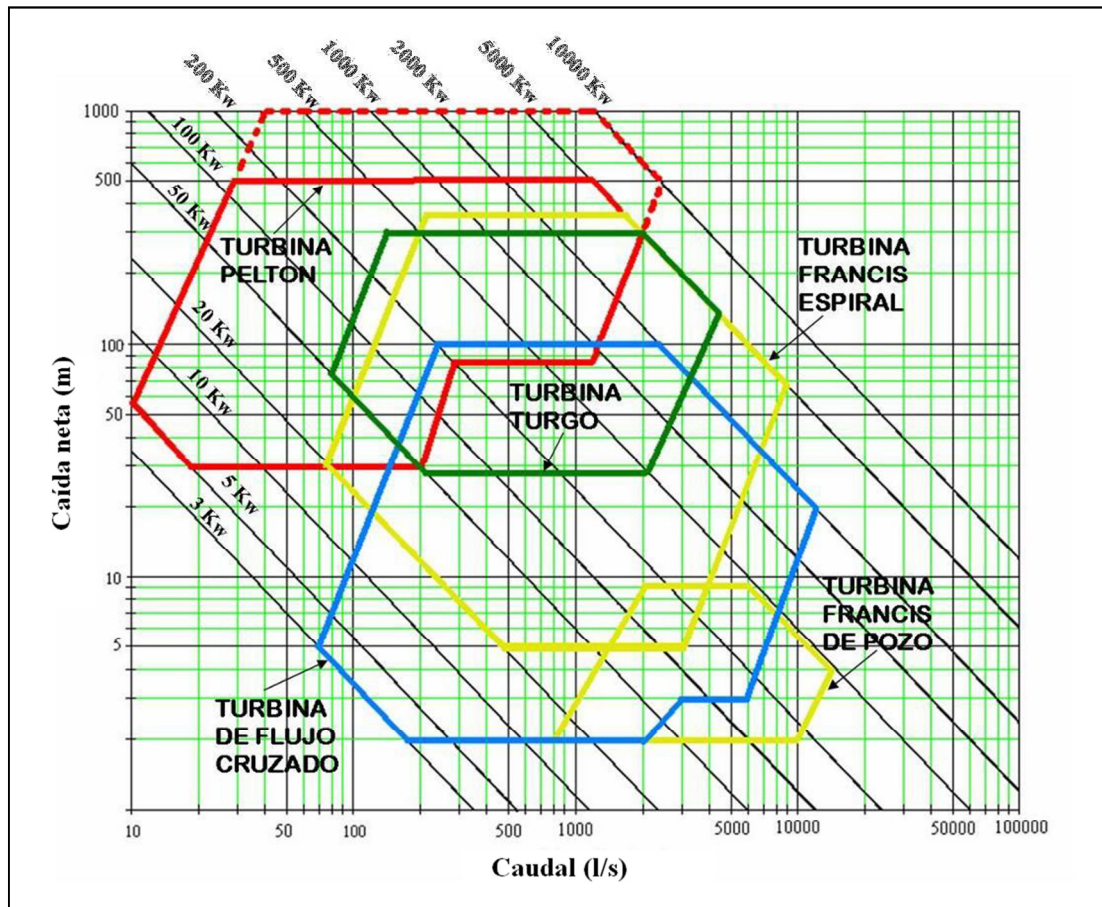


Figura 8 - Diagrama para la selección de la turbina.

III. Diseño de la obra de toma

La obra de toma o captación será construida en el punto de coordenadas: UTM NAD27 19Q 253815; 2144491. Este punto está ubicado en un tramo de ancho 18m donde existen varias piedras que servirán para fijar la presa mixta, de hormigón y materiales sueltos (figura 9). El sitio fue escogido en base a unas condiciones de salto apropiadas para la generación, presencia de rocas para el anclaje del muro, la reducción de las filtraciones de fondo por encontrarse en una zona impermeable, la seguridad de los componentes del sistema en caso de crecida y la facilidad de acceso y de salida de la tubería.



Figura 9. Toma de mediciones para la construcción de la obra de toma

La obra de toma constará de:

- Muro de cierre;
- Compuerta central para la limpieza de sedimentos;
- Cámara de captación para la entrada de la agua a la tubería.

El muro de cierre tiene una longitud total de 18 metros (Figuras 10 y 11). En la parte central, que recibe el impacto directo de la corriente, tendrá una base de 3 metros de ancho. La altura máxima del muro será también de 3 metros (Figuras 10 y 11). A través de la coronación del muro de 0'8 metros se verterá el sobrante del agua.

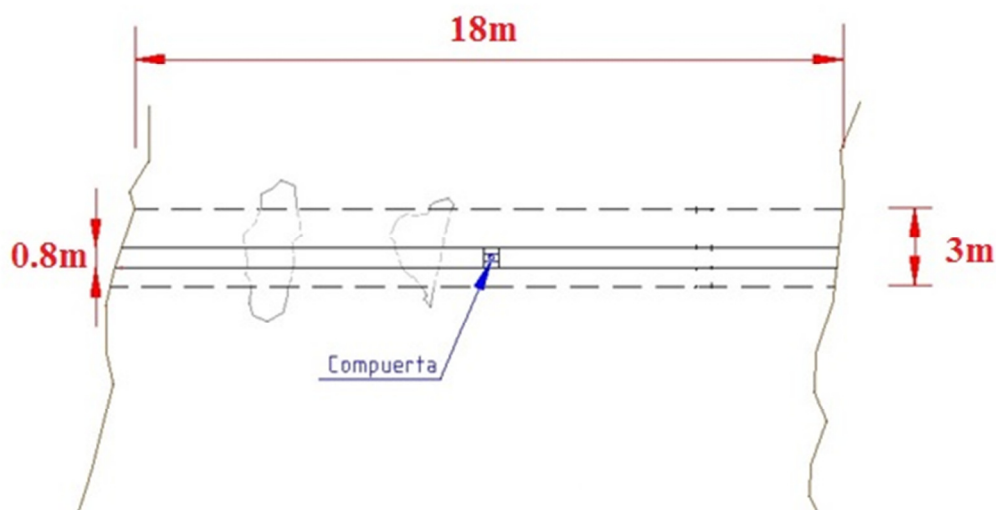


Figura 10.- Planta muro de contención (cotas en m)

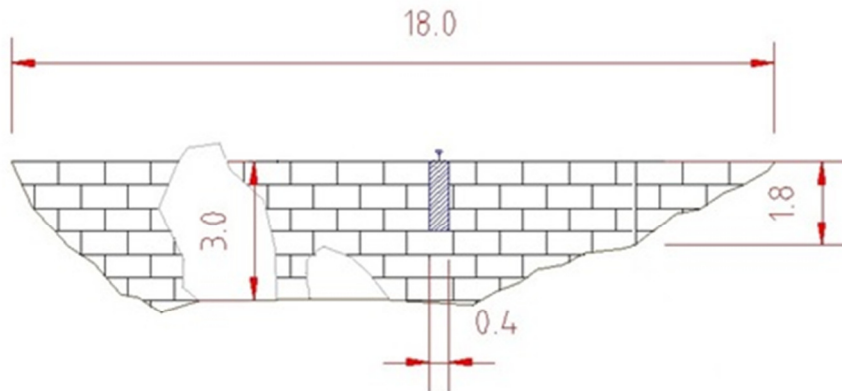


Figura 11.- Perfil frontal muro de contención (cotas en m)

A continuación se muestra un croquis del perfil transversal del muro con las dimensiones estimadas:

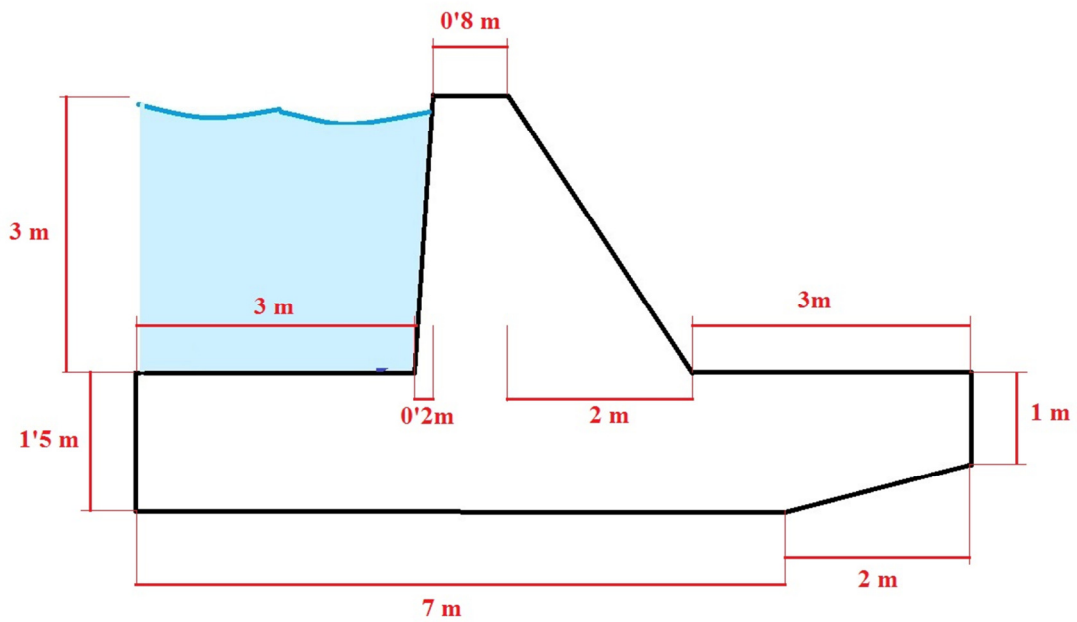


Figura 12.- Perfil transversal muro de contención

El río Yaguajal arrastra grandes cantidades de sedimentos arenosos, es por ello que para reducir la entrada de sedimentos al sistema, la captación será realizada a través de una

cámara de captación (figura 13), ubicada en la vertiente derecha, en el meandro que existe unos metros antes de la presa y el agua entrará por rebose.

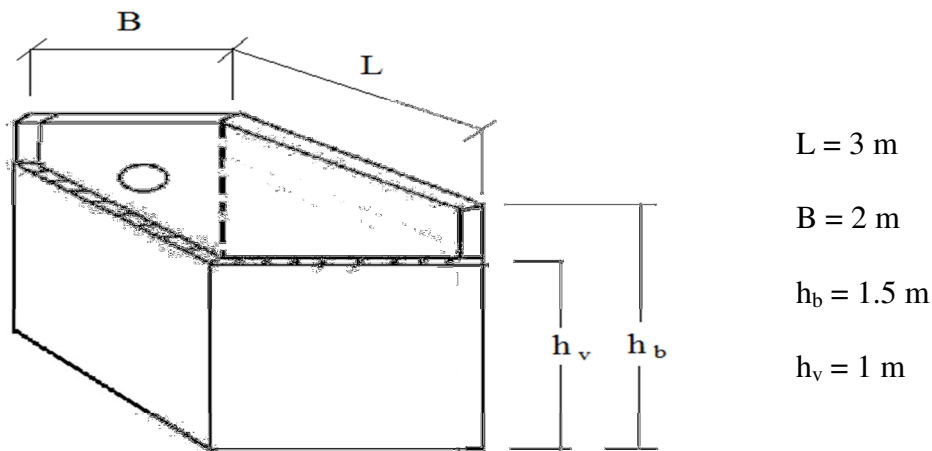


Figura 13.- Esquema de la cámara de captación.

IV. Desarenador

El sistema estará dotado de un desarenador y de un filtro, que garantizarán que a la turbina llegue el agua libre de partículas que pudieran afectar la generación eléctrica. El desarenador estará ubicado a la salida de la cámara de captación en la vertiente derecha.

El desarenador, construido en block y cemento, será constituido por tres cámaras de igual longitud, para una dimensión total de 10 metros por 1'5 metros de ancho. La primera cámara tendrá una estructura trapezoidal, lo cual favorece la reducción de la velocidad del flujo de entrada (Figura 14).

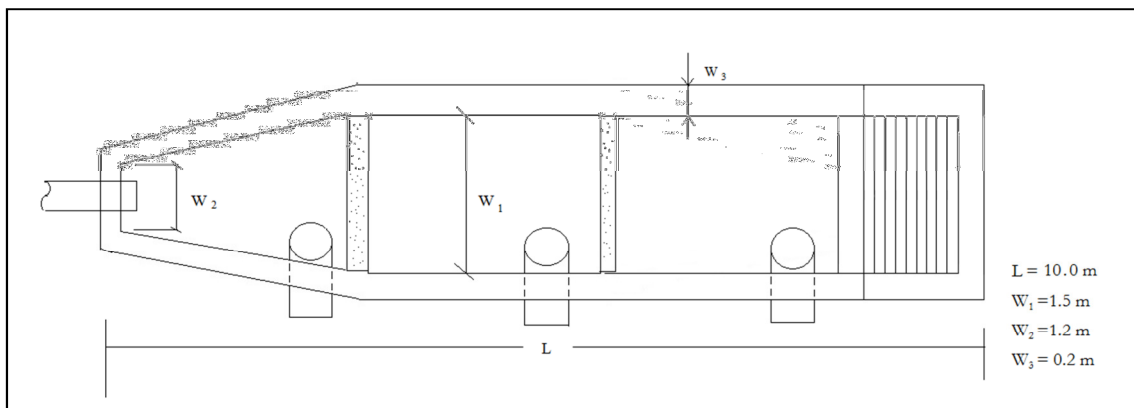


Figura 14.- Esquema del desarenador (planta).

La extracción de los sedimentos acumulados en las cámaras estará garantizada a través de un sistema compuesto por tres codos de PVC de 6" instalados en el fondo del

desarenador en cada una de las cámaras, en los cuales se insertarán tres tubos de igual diámetro, que impedirán el desagüe durante el funcionamiento normal de la estructura.

El sistema se completará con un filtro de tipo *Aquashear* (véase el Anexo VI para los detalles técnicos), el cual será montado con un ángulo de 55° , impidiendo la entrada de hojas y otras partículas a la tubería (figura 15)

La salida del agua del desarenador se realizará mediante tubería de hierro de 20".

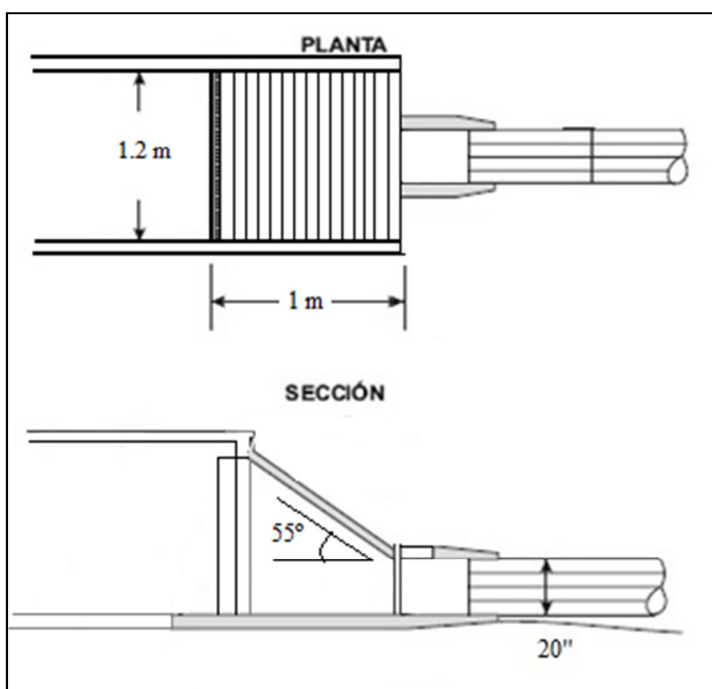


Figura 15.- Esquema de salida del desarenador.

V. Casa de máquinas.

Los equipos de generación (turbina, generador y controladores) serán alojados en una estructura de hormigón armado y block, de dimensiones 8m x 6m de base y 2'52 m de alto. La misma será ubicada en el punto de coordenadas (UTM NAD27) 19Q 254164 2144960, a una distancia de 1'1 km río abajo de la obra de toma.

En Anexo VII se presenta el diseño de la estructura. Para fines de seguridad de los equipos, la casa de máquinas tendrá puerta de hierro, una reja en la ventana y será cercada con malla ciclónica de 2'5 m de alto, colocada a 1 m de distancia de las paredes externas de la estructura.

La ventana puede eventualmente ser sustituida por blocks calados, un total de 10 unidades, que permitan la circulación de aire, impidiendo a la vez la entrada de agua.

VI. Redes de distribución eléctrica

Las redes eléctricas tendrán un voltaje de 7'2 kV en la red primaria y 220-110V para la red de distribución secundaria. En total las redes eléctricas tendrán una longitud de 1'35 kilómetros.

El sistema contará con una subestación de elevación en la casa de máquinas y 2 estaciones de reducción a 220-110 V para la distribución secundaria, la cual contará con 14 acometidas para las viviendas y 3 lámparas de vapor de sodio, de 150 W cada una, para el alumbrado público.

La red también dispondrá de postes de madera de 35 pies de alto (10'7m) que garantizarán el soporte de la línea.

Toda la instalación eléctrica dependerá de la Unidad de Electrificación Rural y Suburbana del Gobierno dominicano.

10. Impacto ambiental del sistema

El *impacto ambiental negativo* que produce el proyecto puede calificarse como mínimo, ya que los principales componentes del medio físico (aire, suelo y agua) no se ven afectados significativamente, así como no afectará negativamente a la flora, la fauna y el paisaje de la zona.

En efecto, para la construcción del sistema, se tomarán en cuenta las siguientes medidas de mitigación:

- La canalización del agua en el Río Yaguajal será realizada mediante una obra de captación que garantizará un caudal ambiental de más del 18% del caudal en tiempo de estiaje, dejando la libre circulación de la fauna piscícola durante todo el año.
- Una vez aprovechada el agua para la generación de electricidad, es devuelta al río sin que sea afectada su calidad.
- No se prevén afectaciones significativas del suelo, puesto que la realización de la zanja para la instalación de la tubería de conducción de agua implicará solamente un movimiento de tierras temporal, esta tierra será nuevamente colocada in situ para rellenar la excavación.
- La construcción del sistema conlleva pequeñas modificaciones paisajísticas ya que solo se contemplan obras como la construcción de la casa de máquinas, la red de distribución y la obra de toma, que no afectaran de manera significativa al entorno.

Mientras que los impactos negativos no son relevantes, el proyecto contribuye de manera significativa a la *mejora del medio ambiente*, tanto a escala local como regional y global.

Mediante la utilización de una fuente renovable para producir energía eléctrica se incide positivamente sobre la mitigación del calentamiento global del planeta, debido a la reducción de emisiones de carbono a la atmósfera. En este caso, se ha calculado que se evita el consumo de 380 m³ de combustible respecto a la generación de electricidad con una planta diesel de la misma potencia, y por tanto, se dejan de emitir a la atmósfera más de 447 toneladas anuales de dióxido de carbono.

A la vez, estos proyectos llevan asociados una reforestación y/o conservación de la parte alta de la cuenca. En este caso, se actuará sobre un total de 31 hectáreas de tierra que contribuirán a la absorción de más de 70 toneladas de dióxido de carbono.

Referente a los aspectos socioeconómicos, se prevé que la obra tenga un impacto positivo como ya ocurre con los demás proyectos, fortaleciendo la relación entre los comunitarios, y dando la oportunidad de que surjan nuevas empresas o usos productivos.

11. Sistema de gestión

El sistema de gestión de este proyecto de cooperación responde a un enfoque de tipo participativo y de empoderamiento local de los comunitarios. Los beneficiarios del sistema micro hidroeléctrico se involucrarán en todas las etapas del proceso de construcción del sistema: toma de decisiones, búsqueda del financiamiento necesario para llevar a cabo la obra, etc.

En este proyecto, el sistema de gestión tiene como base una normativa y unos estatutos de otras comunidades que ya han puesto en funcionamiento sus sistemas micro hidroeléctricos en República Dominicana. En primer lugar, se elige una junta directiva y esta redacta un reglamento interno de funcionamiento que será aprobado por los propios beneficiarios del sistema. En este reglamento, generalmente se especifica cuánto cuesta cada derecho de luz, sanciones por impagos, elección de cargos de la junta directiva, periodicidad de reuniones, etc.

En este caso, se estableció que cada derecho de luz (por vivienda) se conseguía con 80 días de trabajo, o en su defecto el equivalente en el coste económico de jornales de trabajo. Es decir, si algún comunitario/a no podía aportar estos días de trabajo en la construcción del sistema, debía de pagar el equivalente en jornales de trabajo al precio establecido que en este caso era de 300 pesos dominicanos por jornal (6 euros).

Para la construcción del sistema, se crean brigadas de trabajo de 15 ó 20 personas encabezadas por maestros constructores de la zona que son los que dirigen las labores.

Normalmente, se crean 5 brigadas y cada una irá a trabajar un día a la semana, de esta manera, la población no abandona sus tareas agrícolas. En las etapas de la construcción más difíciles o cuando aparezcan dificultades técnicas, se dispone del asesoramiento de los técnicos del PPS o de la UERS.

Una vez que el sistema esté instalado, la comunidad lo gestionará de manera autónoma, tanto desde el punto de vista administrativo como técnico, siguiendo la experiencia adquirida en el manejo del sistema existente.

La comunidad, a través de una asamblea, debe definir un sistema tarifario con principios básicos. Se deberá establecer una cuota por familia y por conexión. Con esta tarifa se pueden garantizar los costos de operación y de mantenimiento del sistema, además de realizarse un aporte para un fondo solidario de la comunidad dirigido al financiamiento de las actividades que se decidan en conjunto. El comité de gestión del sistema elaborará un contrato con cada uno de los nuevos usuarios, en el cual se especificarán los términos para el uso y el pago de la energía.

Para el mantenimiento técnico, se seleccionará a dos o tres personas que recibirán una formación y mejorarán la coordinación con otros técnicos especializados formados a nivel nacional. En la misma línea, la comunidad participará de manera activa en la Red Dominicana para el Desarrollo Sostenible de las Energías Renovables (REDSER) que es una asociación que reúne a todos los proyectos micro hidroeléctricos del país y permite realizar cursos de capacitación, resolver problemas conjuntos, crear una tienda con artículos para realizar reparaciones en los sistemas, etc