

# ESTUDIO PRELIMINAR PARA LA INSTALACIÓN DE UNA MICROCENTRAL HIDROELÉCTRICA



# Abstract

This work corresponds to a preliminary study for the installation of a micro-hydropower that will be located in La Zona de Los Santos.

The legislation required to implement the project was consulted in bibliography sources. Also, were consulted engineers and companies involved in power generation.

In order to obtain the necessary information for the development of the project was necessary a survey of the selected site to determine the height difference between the points of interest. Then, was a must to collect lots of information on flow measurements and data precipitation related to the basin where the micro-hydropower will be installed. That work was done by consulting institutions and some weather stations.

Then, was mandatory to carry out the selection of electromechanical equipment, calculation of the generating capacity of the plant (about 7 Kw), and based on this information, a preliminary design which includes details of the elements to build, for example the structures for water harvesting, sizing a potential powerhouse, the conduction system, and the return flow. Also, we realized a preliminary budget for the construction costs of the works and the investment required to get the generating equipment.

**Key words:** micro-hydropower, water harvesting, flow, conduction system, powerhouse, electromechanical equipment, return flow.

# Resumen

El trabajo realizado corresponde a un estudio preliminar para la instalación de una microcentral hidroeléctrica que se ubicará en la Zona de los Santos.

La normativa necesaria para la realización del proyecto fue consultada en fuentes bibliográficas, además se realizaron consultas a ingenieros, empresas e instituciones relacionadas e involucradas en el campo de la generación de energía.

Con el fin de obtener los datos necesarios para el desarrollo del proyecto se realizó un levantamiento topográfico del sitio seleccionado para determinar así la diferencia de altura existente entre los puntos de interés, luego se recopiló gran cantidad de información sobre mediciones de caudal y datos de precipitación referentes a la cuenca donde se pretende instalar la microcentral; esto mediante consultas a instituciones y algunas estaciones meteorológicas.

Seguidamente, sé llevó a cabo la selección del equipo electromecánico, el cálculo de la capacidad de generación de la planta (aproximadamente 7 kW) y con base a esta información se realizó un diseño preliminar donde se incluyen detalles de los elementos a construir, como las estructuras para la captación de agua, un posible dimensionamiento de la casa de maquinas, el sistema de conducción y la restitución del caudal turbinado. También se realizó un presupuesto preliminar de los costos de construcción de las obras y la inversión necesaria para la compra del equipo de generación.

**Palabras claves:** microcentral, captación, caudal, conducción, casa de máquinas, equipo electromecánico, restitución.

# **ESTUDIO PRELIMINAR PARA LA INSTALACIÓN DE UNA MICROCENTRAL HIDROELÉCTRICA**

DANNY ABARCA DURÁN

Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

SETIEMBRE 2012

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERIA EN CONSTRUCCION

# Contenido

Prefacio .....	1
Resumen ejecutivo.....	2
Introducción.....	4
Marco teórico .....	5
Concesión del recurso hídrico .....	18
Pequeños proyectos hidroelectricos en CR.....	20
Microcentral en la zona de Los Santos.....	21
Datos generales de la zona .....	22
Resultados. ....	26
Diseño preliminar del proyecto .....	36
Selección del equipo electromecánico.....	38
Cálculo de la potencia de la planta .....	40
Dimensionamiento de los elementos .....	41
Producto .....	47
Presupuesto preliminar .....	48
Conclusiones.....	53
Recomendaciones .....	55
Apéndices .....	56
Anexos .....	61
Referencias.....	81

# Prefacio

En este momento nuestro país se encuentra en desarrollo; para aumentar la economía y suplir la creciente demanda de electricidad algunas empresas están buscando opciones y analizando diferentes alternativas para desarrollar proyectos de generación y de esta forma poder satisfacer las necesidades de sus clientes en los años venideros, tal es el caso de las Cooperativas de electrificación. En nuestro país las cuatro cooperativas agremiadas al consorcio CONELECTRICAS R.L (COOPESANTOS R.L, COOPEALFARO RUIZ R.L, COOPELESCA R.L, y COOPEGUANACASTE R.L) llevan electricidad al 23% del territorio nacional y esto ha permitido el desarrollo económico y social de las zonas servidas. Sin embargo, el proyecto de contingencia eléctrica, presentado por el gobierno el año anterior, puede poner en riesgo la estabilidad del modelo eléctrico solidario actual, pues permite que generadores privados instalados en Costa Rica exploten los recursos naturales para producir electricidad y además puedan venderla a industrias en países centroamericanos, sin antes garantizar la atención de la demanda nacional. Por tal motivo, las cooperativas de electrificación mencionadas anteriormente han estado desarrollando y buscan desarrollar diferentes proyectos de generación eléctrica con base en fuentes renovables, y así contribuir a satisfacer las necesidades eléctricas del país.

El presente trabajo tiene como objetivo realizar un estudio preliminar para la instalación de una microcentral hidroeléctrica en la zona de los Santos. La idea de dicho proyecto nace de un acuerdo entre la Cooperativa de electrificación rural Los Santos (COOPESANTOS R.L) y la ASADA de El Rodeo de Tarrazú, con el fin de generar energía para suplir las necesidades de las personas en la zona y a la vez realizar mejoras en las estructuras del acueducto.

Los resultados que se presentan tienen como finalidad servir de guía para analizar preliminarmente la viabilidad del proyecto, tomando como base la capacidad de generación. Los mismos se obtuvieron al desarrollar y evaluar los diferentes procesos y condiciones necesarias para la instalación de una microcentral hidroeléctrica. Además, dichos resultados también son de gran importancia para efectos de presupuestar la obra.

Para la realización de este informe fue necesario recopilar gran cantidad de información, tanto topográfica como de hidrología, por lo que se le agradece a todas las personas involucradas en la obtención de estos datos.

Por otra parte, quisiera agradecer especialmente a mi familia, por apoyarme incondicionalmente en mis estudios; también al Profesor Ing. Gustavo Rojas Moya, y al Ing. Ismael López Jiménez por brindarme la confianza y apoyo para llevar a cabo este proyecto, a Jorge Alvarado y a Fred Parra de Coopesantos R.L por el conocimiento y disponibilidad brindada, a los miembros de la ASADA de El Rodeo de Tarrazú, por la amabilidad con la que siempre me trataron, a todas estas personas muchas gracias, porque sin su apoyo no sería posible la realización de este informe.

# Resumen ejecutivo

Las centrales hidroeléctricas, y dentro de ellas las microcentrales hidroeléctricas, están muy condicionadas por las características que presente el lugar donde vayan a ser ubicadas, de ahí la importancia de buscar toda la información referente al sitio.

Para el presente trabajo se planteó como objetivo realizar un estudio de prefactibilidad técnica y económica para la instalación de una microcentral hidroeléctrica; los datos del proyecto ubican la microcentral en la Zona de los Santos. La idea de dicho proyecto nace de un acuerdo entre la Cooperativa de electrificación rural Los Santos (COOPESANTOS R.L) y la ASADA de El Rodeo de Tarrazú, con el fin de generar energía para suplir las necesidades de las personas en la zona y a la vez realizar mejoras en las estructuras del acueducto.

Con respecto al tema de generación de energía utilizando el recurso hídrico, podemos decir que las centrales y minicentrales hidroeléctricas transforman la energía del agua en electricidad aprovechando la diferencia de altura entre dos puntos, por lo que, la potencia de una central hidroeléctrica depende estrictamente del desnivel existente y el caudal turbinado.

Para la realización de este informe fue necesario recopilar gran cantidad de información, tanto topográfica como de hidrología, por lo que se le agradece a todas las personas y empresas involucradas en la obtención de estos datos.

En este tipo de proyectos, para una primera aproximación se puede estimar la caída mediante un plano topográfico. No obstante, para una determinación más correcta y exacta, es necesario realizar un levantamiento topográfico del sitio. Por esta razón, se realizaron dos levantamientos topográficos, el primero para conocer las condiciones del terreno desde la toma de agua hasta el sitio de ubicación de

la casa de máquinas, y el segundo fue un levantamiento realizado para la colocación de la línea de transmisión eléctrica. Estos trabajos se realizaron con un GPS de doble frecuencia para establecer una red de puntos que permiten georeferenciar el levantamiento, y a la vez corregir el error topográfico.

Una vez obtenidos los datos mencionados anteriormente, se procedió con el desarrollo del proyecto, siguiendo los pasos que se mencionan a continuación:

1. Se planteó un diseño preliminar de sitio para la ubicación de los elementos que conforman la microcentral (instalaciones de obra civil).
2. Se llevó a cabo la selección del equipo electromecánico que mejor se ajusta, tanto funcional como económicamente a las condiciones del proyecto.
3. Se realizó el cálculo de la capacidad de generación de la planta.
4. Por último, se realizó un dimensionamiento de las obras a construir para efectos de prefactibilidad económica y se elaboró un presupuesto detallado, tomando en cuenta precios del mercado actual.

Una vez finalizado dicho estudio, en específico podemos concluir que:

- De acuerdo a las condiciones que se presentan actualmente, la potencia que mejor se ajusta para esta planta es de 7kw aproximadamente y operará con un factor de eficiencia del 80%

- El caudal mínimo esperado es de 17,7 litros por segundo, representado en los meses más secos del año.
- La altura bruta del proyecto es aproximadamente 60 metros, sin embargo, el cálculo de la potencia se realizó con 53 metros, ya que, se deben tomar en cuenta factores como la construcción de un desarenador y las pérdidas de carga a lo largo de todo el sistema.
- La elección del tipo de turbina y la potencia disponible de la planta dependen de parámetros como la caída y el caudal con que se cuenta.
- Se debe colocar tuberías de PVC SDR 26 para garantizar la resistencia por presiones de trabajo.
- Para este proyecto se puede utilizar cualquiera de los siguientes tipos de turbinas, puede ser un grupo turbina-generador tipo Pelton, Turgo o de flujo cruzado (Michell-Banki), sin embargo, queda a criterio de Coopesantos R.L, la escogencia de uno en específico, ya que, se deben tomar en cuenta otros factores como el económico, y la facilidad para adquirirlo.
- Se realizó un presupuesto detallado del proyecto consultando precios actuales en el mercado y el costo estimado es  
**45 307 657**

Finalmente, podemos afirmar que, para el desarrollo de una central hidroeléctrica se deben contemplar una serie de estudios y análisis como los mencionados a continuación: estudios hidroeléctricos, estudios de topografía, diseños hidráulicos y mecánicos, estudios de geotecnia y geología, diseños y análisis civiles, diseños y estudios eléctricos, estudio de impacto ambiental, estudios financieros, económicos, legales y comerciales. Sin embargo, los trabajos de construcción de una microcentral hidroeléctrica son muy reducidos en comparación con las grandes centrales hidroeléctricas, y sus impactos sobre el medio ambiente pueden ser minimizados si se desarrollan las medidas correctoras necesarias para ello. Teniendo esto en cuenta, debemos mencionar que los resultados obtenidos en este estudio tienen como finalidad servir de guía y analizar las condiciones que se presentan en el sitio donde se pretende ubicar la microcentral, sin embargo, se debe recordar que el presente documento consiste en un estudio preliminar, que no abarca gran cantidad de los análisis y estudios mencionados anteriormente, ya sea, por su complejidad, porque no corresponden al área de la Ingeniería en Construcción, ó simplemente por falta de tiempo, ya que, se contó tan solo con unos pocos meses para el desarrollo del mismo, y por tal motivo no están contemplados dentro del alcance del proyecto.

# Introducción

Para el desarrollo de una central hidroeléctrica se deben contemplar una gran cantidad de estudios y análisis. Sin embargo, los trabajos de construcción de una microcentral hidroeléctrica son muy reducidos en comparación con las grandes centrales hidroeléctricas, y sus impactos sobre el medio ambiente pueden ser mínimos.

El objetivo general de este proyecto es realizar un estudio de prefactibilidad técnica y económica para la instalación de una microcentral hidroeléctrica, por lo que, con el desarrollo de este informe se pretende obtener información importante para la instalación de un proyecto de este tipo en la zona de Los Santos, para ello se plantearon los siguientes objetivos específicos.

- Llevar a cabo una investigación acerca del tema de las microcentrales hidroeléctricas (elementos y estructuras que las conforman), e investigar sobre proyectos similares en nuestro país.
- Recopilar información referente a la zona donde se ubicará el proyecto (factores ambientales, tipo de suelo, accesos, entre otros).
- Recopilar datos topográficos del sitio seleccionado, con el fin de determinar las condiciones que se presentan.
- Obtener información acerca del caudal de diseño (recopilación de datos del recurso hídrico).
- Plantear todos los componentes o partes (instalaciones de obra civil, equipamiento electromecánico) que requiere el proyecto.
- Llevar a cabo una estimación de la capacidad de generación de la planta.
- Realizar un dimensionamiento preliminar de las obras que se van a construir, para efectos de prefactibilidad.
- Realizar un presupuesto preliminar de las obras a construir y el equipo a colocar.

# Marco teórico

## Desarrollo de la energía hidroeléctrica

La utilización de la energía potencial del agua para generar electricidad se conoce como energía hidroeléctrica, este tipo de energía se caracteriza por ser un recurso renovable y autóctono. Una central hidroeléctrica es el conjunto de instalaciones e infraestructura construidas para generar.

“En el año de 1881 se construyó en Inglaterra, la primera planta hidroeléctrica. La producción de energía hidroeléctrica a gran escala empezó en 1895, cuando se construyó una represa de 3,75 MW (megawatts o megavatios) en las cataratas del Niágara, Estados Unidos”. **(BUN-CA, 2002)**

Hoy en día los proyectos de energía renovable a pequeña escala ayudan a satisfacer muchas de las necesidades básicas del ser humano, como por ejemplo: educación, vivienda, salud, así como aspectos de producción en zonas alejadas de las grandes ciudades.

Las plantas hidroeléctricas, son un ejemplo de este tipo de generación, como su nombre lo indica, generan electricidad utilizando como recurso la energía contenida en el agua, todo en un proceso de transformación, en donde primeramente se tiene energía potencial en un embalse o toma, luego energía cinética en las tuberías de conducción, seguido de energía mecánica en la turbina, que acoplada a un generador finaliza el proceso con la transformación de la energía mecánica en energía eléctrica. Este ciclo es un proceso de generación de energía que es limpio.

Las pequeñas plantas hidroeléctricas son las que se encuentran en un rango de potencia

menor a los 1000 kW, estas plantas se pueden clasificar como pico-centrales (100W a 1 kW), micro-centrales (1 kW a 100 kW) y las mini-centrales que pueden llegar a generar entre (100 kW y 1000 kW). Una de las características principales de este tipo de plantas, es que la mayoría operan “a filo de agua”, o sea, sin ningún tipo de embalse, por lo que en muchas ocasiones se ven expuestas a las variaciones de caudal.

Algunas otras ventajas de la construcción de pequeñas plantas hidroeléctricas que podemos mencionar son los bajos costos de generación y mantenimiento, impacto ambiental mínimo, además de las bajas pérdidas de energía en comparación con sistemas convencionales de generación, como por ejemplo los combustibles, además de ser un tipo de energía limpia como mencionamos anteriormente. Por otra parte, se tienen desventajas, como por ejemplo la dependencia de factores geográficos y meteorológicos.

## Aprovechamientos de agua fluyente (Centrales a filo de agua)

Son aquellas instalaciones que mediante una estructura de captación, recogen una parte del caudal del río y lo conducen hacia la central para su aprovechamiento, y después en un punto más adelante este caudal se restituye al cauce. Este tipo de generación se utiliza principalmente en centrales medianas y pequeñas. Las centrales a

filo de agua causan un impacto mínimo al medio ambiente, pues el caudal utilizado es devuelto nuevamente al río, y además, al no existir ningún tipo de embalse no se inunda terrenos cercanos.

1. La evolución del caudal a lo largo del año (un solo valor instantáneo del caudal no es significativo)
2. El salto o caída neta con que se cuenta.

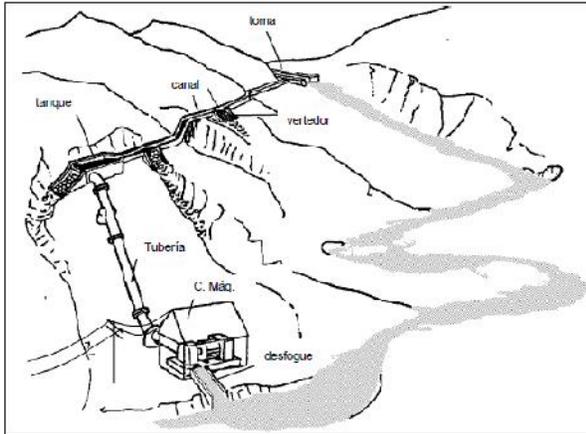


Figura 1. Esquema general de una microcentral hidroeléctrica

Fuente: Material brindado por el profesor Marco Tapia

## El recurso hídrico y su potencial

Para generar energía hidroeléctrica se necesita, un determinado caudal y una caída. Se entiende por caudal el volumen de agua que pasa en un tiempo determinado por una sección del río y se mide en  $m^3/s$  o  $L/s$  ( $1 m^3/s = 1000 L/s$ ).

Cuando hablamos de caída, o salto bruto, nos referimos a la distancia medida en vertical que recorre el volumen de agua desde el punto de toma hasta el sitio de restitución del agua. Existe otro término que se debe tener claro cuando nos referimos a proyectos de generación hidroeléctrica, este término es el de caída neta, el cual consiste en la medida vertical o diferencia de elevación existente entre el sitio de toma y el punto de ubicación la turbina, tomando siempre en cuenta las pérdidas de carga en el sistema.

Por tal motivo, para valorar el recurso hídrico y al mismo tiempo el desarrollo de un proyecto de este tipo se debe conocer:

## Medición directa del caudal

Si no existen datos hidrológicos del sitio donde se ubicará el proyecto, y se dispone de tiempo, se pueden medir los caudales a lo largo de un periodo, ya que, una serie de medidas instantáneas no tienen ningún valor. A continuación se presentan algunas formas prácticas de medir caudales.

### 1. Medición del área y la velocidad.

Un método convencional empleado consiste en medir en un punto dado la sección transversal del río, y seguidamente la velocidad media de la corriente de agua. Para realizar estas mediciones se debe seleccionar en lo posible un tramo recto del río o quebrada, para que se facilite las mediciones, tanto del área como la velocidad, pues de esta forma el objeto que se utiliza puede desplazarse libremente sin verse afectado por otras corrientes o fuerzas en el río.

### Cálculo del área de la sección transversal.

Para calcular el área de la sección transversal del río, se recomienda seleccionar una zona donde se pueda tomar con facilidad las diferentes mediciones de profundidad, y de esta forma descomponer esa sección en una serie de trapecios como muestra la siguiente figura, se debe realizar medidas de profundidad cada cierta distancia, pues esta área estará dada por una figura irregular que irá variando a lo largo de todo el recorrido.

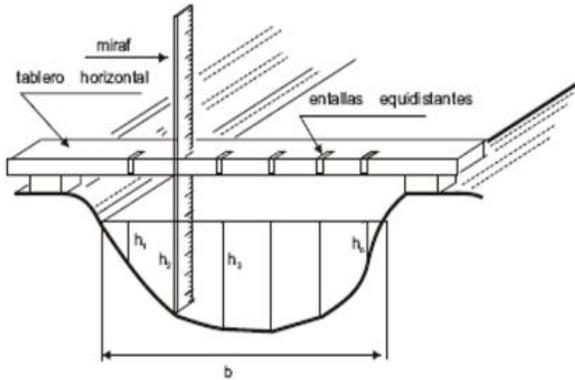


Figura 2. Medición de la sección transversal del río

Fuente: Manual "European Small Hydropower Association"

Las mediciones de profundidad deben hacerse con ayuda de un instrumento o regla graduada, colocada en la forma que indica la figura 2. De esta forma el área de la sección del cauce se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$S = b \frac{h_1+h_2+h_3+\dots+h_n}{n} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

S= área ó sección transversal

b= ancho del río

h= mediciones de profundidad del agua

n= número de mediciones

## Cálculo de la velocidad media del fluido

Como la velocidad de la corriente varía, es necesario tomar mediciones en un determinado número de puntos para poder obtener la velocidad media.

A continuación se describen algunas de las técnicas más utilizadas.

- Se coloca un objeto flotante no muy ligero (por ejemplo un trozo de madera o una botella medio vacía) en el centro de la

corriente y se mide el tiempo  $t$  (en segundos) que necesita para recorrer una distancia  $L$  (en metros) previamente definida. La velocidad superficial (en m/s) se obtendrá al dividir la longitud del tramo entre el tiempo que tardó en desplazarse el objeto. Para estimar la velocidad media se debe multiplicar la velocidad superficial por un coeficiente que depende de la profundidad y de la rugosidad del fondo y paredes del cauce (0,75 es un valor aceptable).

- Otra forma de obtener este dato de velocidad será por medio de instrumentos diseñados y calibrados para este fin. Por ejemplo:

1. Con un molinete mecánico
2. Con un molinete electromagnético
3. Con un molinete acústico
4. Con un molinete de efecto Doppler

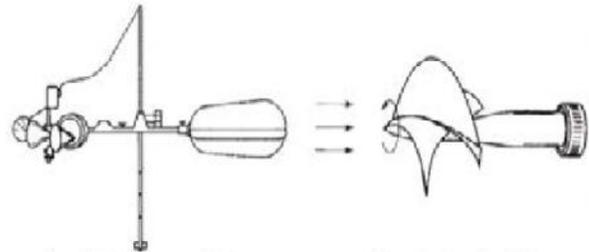


Figura 3. Molinetes utilizados para medir la velocidad del fluido

Fuente: Manual "European Small Hydropower Association"

## 2. Aforo por disolución

La utilización de este método resulta idóneo en los pequeños arroyos de montaña, donde debido a la rapidez de la corriente y a la escasa profundidad del cauce no se puede utilizar con éxito un molinete. Para calcular el caudal se inyecta en el curso del agua una solución de un producto químico, de concentración conocida y aguas abajo, a una distancia suficiente para que el producto se haya mezclado completamente se recogen muestras de agua. La solución puede inyectarse a un ritmo constante, durante un lapso de tiempo, o en una única dosis.

Seguidamente las muestras del agua tomadas se analizan y se construye una curva concentración vs tiempo. Hasta hace unos años se utilizaban soluciones de sales de cromo y las muestras se analizaban por colorimetría, de esta forma el método es muy preciso, pero se requiere de equipo costoso y personal calificado para la interpretación de los datos. Actualmente se trabaja con soluciones de cloruro de sodio (sal), y las mediciones tomadas aguas abajo se analizan de acuerdo a la variación de la conductividad eléctrica del agua, ya que existe una relación lineal entre esta última y la concentración en sal, a diferencia del anterior, el equipo necesario para medir la conductividad en estos casos es poco costoso.

## 3. Mediante estructuras hidráulicas

### Método del vertedero

Este método es recomendable utilizarlo en cauces con caudales que no excedan los 4 m<sup>3</sup>/s.

Un vertedero es una estructura temporal, y consiste en una pared dispuesta perpendicularmente a la corriente, con un corte de sección bien definida a través de la cual se puede hacer pasar el agua. Los vertederos se clasifican según la forma del corte: en V, rectangular ó trapezoidal.

Con la ayuda de algunas pruebas de laboratorio se conocen los coeficientes de gasto de los distintos tipos de vertedero, con estos datos y con las medidas de la estructura, el

siguiente paso consiste en medir el nivel h (altura de la columna de agua) y utilizar la correspondiente ecuación para el cálculo del caudal.

La siguiente figura muestra las dimensiones de dos vertederos, el vertedero con corte rectangular y el de sección triangular respectivamente, además se detallan las fórmulas empleadas para calcular el caudal en función de h. Es importante mencionar que los vertederos triangulares resultan más precisos para caudales pequeños.

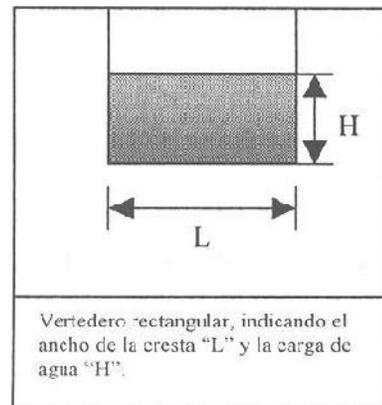


Figura 4. Vertedero rectangular

Fuente: Boletín INIA N° 28

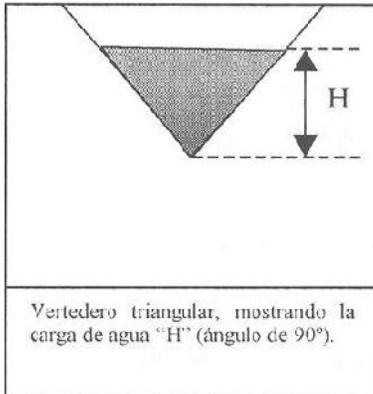
$$Q = 1,84 \times (L - 0,2H) \times H^{3/2} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

Q = Caudal (m<sup>3</sup>/s)

L = Ancho del corte del vertedero (m)

H = Altura o carga de la columna de agua (m)



**Figura 5.** Vertedero triangular

**Fuente:** Boletín INIA N° 28

$$Q = 1,38 \times H^{5/2} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

H = Altura o carga de agua (m)

#### 4. Mediante un recipiente con volumen conocido

Este método es utilizado para medir caudales de hasta 20 ó 30 Litros/seg. aproximadamente.

Instrumentos necesarios:

1. Recipiente con volumen conocido
2. Cronómetro de precisión

#### Procedimiento

Desviar el volumen de agua que se necesita medir hacia un recipiente grande de capacidad conocida y tomar el tiempo que tarda en llenarse.

$$\text{Caudal (Q)} = \frac{\text{Volumen (litros)}}{\text{Tiempo (segundos)}} \quad \text{Ecuación (4)}$$



**Figura 6.** Método del recipiente con volumen conocido

**Fuente:** Manual de diseño y fabricación de turbinas hidráulicas

Ejemplo:

Volumen del recipiente (V) = 200 litros

Tiempo que tarda en llenarse (t) = 15 segundos

Q = 200 litros / 15 seg = 13.3 litros/seg.

# Estructuras hidráulicas que conforman una microcentral hidroeléctrica (obra civil)

En general las Microcentrales Hidroeléctricas se componen de obras civiles y equipos de generación, entre los que podemos citar: toma o captación de agua, desarenador, canal de conducción, cámara o tanque de carga, tubería de presión, casa de máquinas, canal de restitución, equipo electromecánico y redes eléctricas de transmisión y distribución. Sin embargo, en ciertos casos, se puede prescindir de alguno de estos elementos, todo depende de las condiciones topográficas que presenta el sitio del proyecto, la capacidad de generación requerida y la aplicación o uso que se dará a la energía generada. En nuestro caso, como el proyecto consiste en un estudio preliminar, a continuación se detalla cada una de las estructuras y elementos mencionados anteriormente.

## La toma o captación

Es la estructura inicial y tal vez la más importante, mediante la cual se capta el volumen o caudal necesario para el funcionamiento de los equipos de transformación de la energía hidráulica en energía eléctrica, su diseño y construcción debe responder y garantizar las exigencias mínimas de generación. Se debe construir preferiblemente en la época seca, pero su diseño debe considerar la posibilidad de grandes aumentos del recurso hídrico durante todo el año.



Figura 7. Estructura para la captación de agua

## Obras de conducción

### Canal

Es una estructura utilizada con el fin de conducir el agua desde la toma hasta la cámara o tanque de carga, para su diseño y construcción se debe considerar el mínimo desnivel posible para evitar que el fluido viaje a grandes velocidades y se generen grandes pérdidas. Puede ser un canal abierto o tubería enterrada.



Figura 8. Canal de conducción

Fuente: Imagen de internet

## Cámara de carga

Es una estructura que se construye con el fin de acumular el agua antes de entrar a la tubería de presión. Su función consiste en abastecer y entregar agua durante las horas pico o suplir temporalmente al sistema en caso de una obstrucción en el canal. Además sirve para sedimentar las impurezas del agua, retirar los elementos flotantes, controlar la entrada de agua a la planta y desviar el exceso mediante un rebalse.



**Figura 9.** Cámara o tanque de carga

**Fuente:** Imagen de internet

## Tubería de presión

Transporta el caudal o volumen de agua desde la cámara de carga hasta la casa de máquinas. Las tuberías a presión pueden colocarse sobre o bajo el terreno, para ello se debe tomar en cuenta el material que la conforma, la temperatura ambiente y las exigencias medioambientales del entorno. En este tipo de proyectos se puede utilizar tubería de acero o de cloruro de polivinilo (PVC). En el caso que se decida utilizar tubería de acero, lo mejor es colocarla en forma aérea, montada sobre alguna estructura o apoyos de concreto, así se le puede dar mantenimiento. En caso de usarse tubería PVC, esta debe de enterrarse para evitar su deterioro por los rayos solares.



**Figura 10.** Tubería de presión

**Fuente:** Imagen de internet

## Casa de máquinas

Se puede considerar como el corazón de la Microcentral. En ella se colocará prácticamente todo el equipo de generación que conforma el proyecto, su diseño y construcción depende de las características y dimensiones de la turbina, el generador y demás dispositivos necesarios. Algunos de los elementos que se ubican en la casa de máquinas son:

### Turbina

Es el elemento encargado de transformar en energía mecánica la energía contenida en el agua. Existen diferentes tipos de turbina según la relación de caída y caudal. Entre ellas se encuentran turbinas tipo Francis, Pelton, Turgo y Kaplan, que son las más conocidas. En la sección referente al equipo electromecánico, se hará una descripción detallada de cada uno de los tipos de turbina mencionados anteriormente.

## Generador o Alternador

Se encarga de convertir la energía mecánica recibida de la turbina a través de un eje en energía eléctrica. La potencia de los generadores tiene que estar acorde con el de la turbina. Para proyectos de nano- y micro-hidro generalmente se usan alternadores.

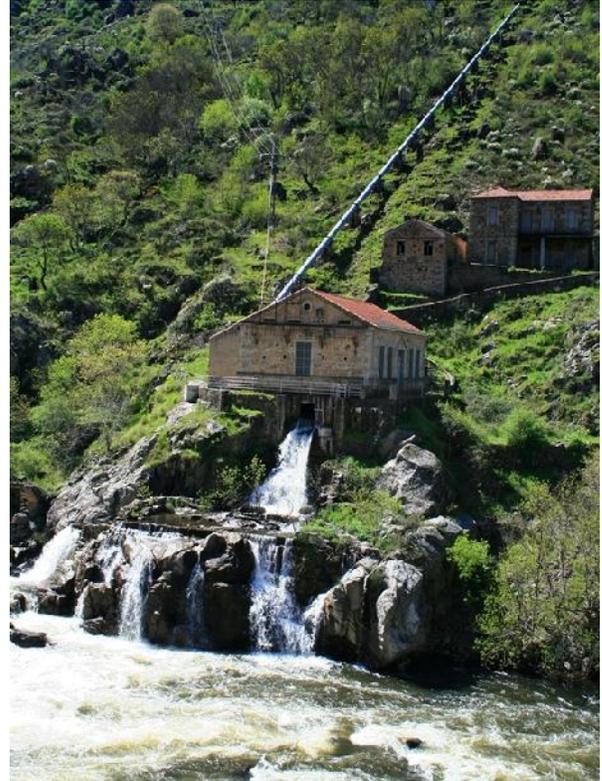


**Figura 11.** Casa de máquinas

**Fuente:** Imagen de internet

## El canal de descarga

Constituye el último componente de la obra civil, su característica más importante es la de servir de desfogue o conducción de las aguas turbinadas hacia el punto de restitución.



**Figura 12.** Restitución del agua utilizada para generar

**Fuente:** Imagen de internet

# Equipo electromecánico utilizado en microcentrales hidroeléctricas

## La turbina

La turbina hidráulica es el principal componente de una central hidroeléctrica, es el elemento que produce la transformación de la energía contenida en el agua en energía mecánica. Existen dos tipos de turbinas: turbinas de acción y turbinas de reacción.

### Turbinas de acción

Entre las turbinas de acción más comunes se encuentran la turbina Pelton, la turbina Turgo y las turbinas de flujo cruzado o también llamadas Michell-Banki.

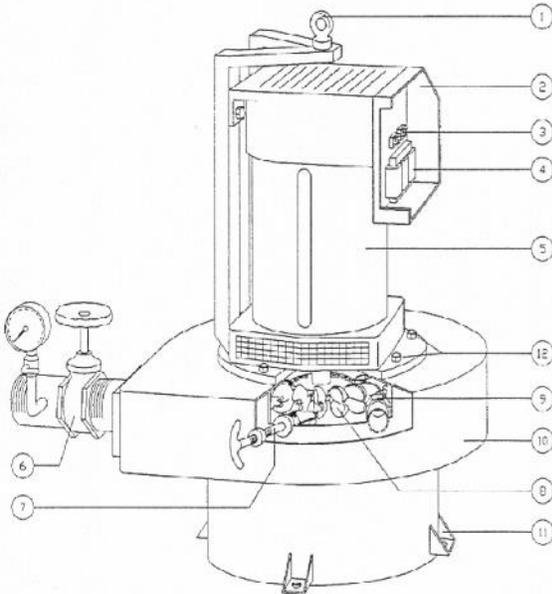


Figura 13. Micro turbina de acción

Fuente: Catálogo de productos de IREM Ecowatt

### Partes que la conforman:

1. Anclaje montaje
2. Caja de bornes
3. Diodos
4. Transformador
5. Generador
6. Grupo de alimentación y conexión a la conducción
7. Válvula de inyectores
8. Rodete Pelton
9. Inyector
10. Distribuidor
11. Anclajes de fijación
12. Fijación del grupo turbina-generador al distribuidor

### Turbinas de reacción

En este caso, las turbinas más conocidas son la turbina Francis y la turbina Kaplan.

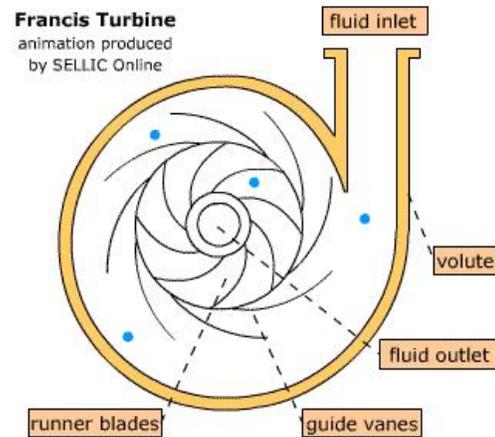


Figura 14. Micro turbina de reacción

Fuente: Imagen de internet

Existen gran variedad de tipos y tamaños de turbinas, sin embargo para el presente estudio, las turbinas que nos interesan son las que puedan generar potencias en un rango entre 1kW y 100 kW. De esta manera en micro-centrales, es posible utilizar cualquiera de los siguientes tipos de turbinas (Pelton, Turgo, de Flujo Cruzado, Francis y Kaplan); siempre y cuando las condiciones de caudal y caída así lo permitan.

## Micro turbina Pelton

Es adecuada para proyectos donde se cuenta con grandes caídas de agua (con saltos notables entre 20 y 200 metros) y con caudales de agua reducidos (entre 0,5 y 100 litros por segundo), lo que la convierte en una de las turbinas más utilizadas en micro-centrales hidroeléctricas.

En el mercado se encuentran disponibles en una amplia gama de medidas y en las versiones de ejes horizontales y verticales. El acoplamiento a generadores eléctricos puede ser directo o indirecto a través de poleas y fajas de alto rendimiento.

Es una turbina de fácil construcción, de instalación sencilla, que ocupa poco espacio y de una alta disponibilidad, no requiere un alto costo de mantenimiento y se caracteriza por su gran eficiencia, pues ronda el 80%. La micro turbina Pelton está conformada por hojas de doble cuchara hechas de acero inoxidable, lo que las hace más robustas y duraderas.

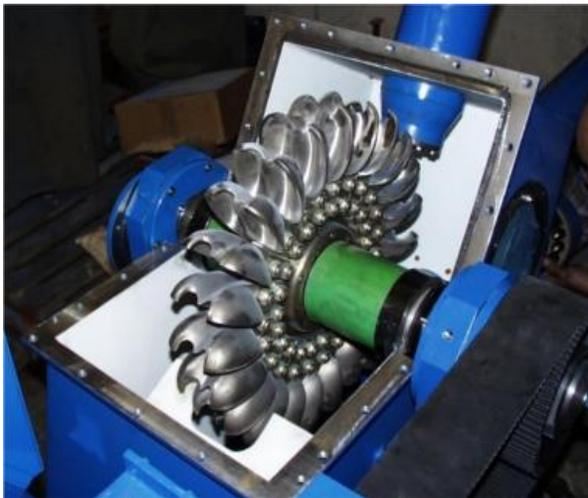


Figura 15. Micro turbina Pelton de doble cuchara

Fuente: Catálogo de productos de CINK Hydro-Energy

## Micro turbina Turgo

Es una turbina con una acción muy parecida a la Pelton. Es apta para caídas de tamaño entre 20 y 100 metros y caudales medianos. Pueden ser de

eje horizontal o vertical, las usadas en microcentrales pueden tener desde uno hasta cuatro inyectores.

El acoplamiento a generadores eléctricos puede ser directo con el rotor acoplado en el eje del generador, o indirecto a través de poleas y fajas, también existen grupos Turbina-generador tipo Turgo, los cuales son más recomendados en pequeños proyectos hidroeléctricos, y con los cuales se evitan estos trabajos de acoplamiento.

Se aconseja su uso, para sistemas donde existan o se puedan presentar importantes variaciones de caudal.



Figura 16. Micro turbina Turgo

Fuente: Catálogo de productos de SAVOIA GENERATORS

## Micro turbina Michell – Banki (Turbina de Flujo Cruzado)

Es una turbina utilizada exclusivamente para centrales de potencia pequeña; es apta para caídas que van de 5 a 100 metros y para flujos de 20 a 200 litros por segundo.

El rendimiento de las turbinas de Flujo Cruzado es menor que el de las turbinas Pelton, pero se pueden construir con facilidad, su instalación es sencilla y tienen mejor adaptabilidad a las pequeñas caídas. Además, se

puede regular el caudal de entrada y la potencia por medio de un mecanismo sencillo.

El tamaño de la turbina, a diferencia de las demás, no depende del caudal, por lo cual se puede alcanzar un nivel de eficiencia aceptable con pequeñas turbinas.

Gracias a la facilidad constructiva, de mantenimiento, y a la posibilidad de elaborarla de manera artesanal, esta turbina es muy utilizada en países en vía de desarrollo.



**Figura 17.** Micro Turbina Michell – Banki (Flujo Cruzado)

**Fuente:** Catálogo de productos de IREM Ecowatt

Como desventajas podemos mencionar que su construcción es compleja y que por su alta velocidad de rotación provoca fricción y desgaste, motivos por los cuales presenta problemas de instalación en centrales pequeñas.



**Figura 18.** Micro Turbina Francis

**Fuente:** Catálogo de productos de CINK Hydro-Energy

## Mini turbina Francis

La Mini turbina hidroeléctrica Francis es utilizada en centrales de tamaño medio, con potencias que rondan los 100 kW. Su concepto constructivo es muy parecido al de las turbinas utilizadas en las grandes centrales hidroeléctricas. Algunas de las mayores ventajas que posee esta turbina es que aprovecha toda la caída disponible, así cuando las caídas son medianas, se puede obtener más potencia debido a su alto rendimiento, además el costo en la instalación inicial es menor comparado con otros tipos de turbinas. Por otra parte, en relación con otros equipos de generación, para grandes caídas, se tiene que el peso de la turbina es menor y se maximiza la eficiencia, ya que se aprovecha de una mejor manera la energía contenida en el agua, y de esta forma el generador será más barato y las dimensiones de la casa de máquinas serán más reducidas.

## Turbina Kaplan

Se utiliza en proyectos donde la caída es baja (entre 2 y 40 metros), pero donde se cuenta con grandes caudales, lo que conlleva a que se instale en un sitio cercano a la toma, este tipo de turbinas se pueden colocar en el interior del cauce del río o dentro de algún tipo de estructura de desvío que conduzca el agua desde la toma a la descarga, por ejemplo un canal.

Normalmente son utilizadas en instalaciones donde se generan potencias superiores a los 100 kW.

Desde el punto de vista constructivo, el impulsor posee una característica forma helicoidal, similar a las hélices de los barcos, con hojas regulables según el flujo de agua.

Entre las ventajas que posee este tipo de turbina podemos mencionar que presenta un buen comportamiento de la velocidad para bajas

alturas de caída, pero sus grandes desventajas son la complejidad de diseño y las bajas eficiencias a cargas parciales.



Figura 19. Micro Turbina Kaplan

Fuente: Catálogo de productos de CINK Hydro-Energy

## El Generador

El generador eléctrico es una máquina que convierte la energía mecánica entregada por la turbina en energía eléctrica.

Algunas de las características que se deben tomar en cuenta para la elección de un generador, por ejemplo, la velocidad de giro, dependen estrictamente de las características de la turbina a la que se va a acoplar.

“Los dos tipos principales de máquinas para generación que se pueden emplear en microcentrales hidroeléctricas son las asíncronas (tipo inducción) que incluyen a los motores funcionando como generadores; y las sincrónicas, que incluyen a los alternadores”. (Marín, 2010)

Para seleccionar adecuadamente el generador que se debe utilizar en un pequeño proyecto hidroeléctrico, se debe tomar en cuenta básicamente dos aspectos:

- La potencia requerida (demanda)
- El uso que se le dará a esta energía.

Estos aspectos definirán el tipo de generación, (continua o alterna), la fase (en caso de ser alterna monofásica o trifásica) y el tipo de regulación (por carga o caudal).

“De esta manera si la potencia demandada es mayor a 5 kW, el esquema de generación recomendado es el de corriente alterna. De lo contrario si la potencia es menor a 5 kW, será generación de corriente continua.

El tipo de fase queda determinado como monofásico si la potencia es menor de 10 kW y como trifásico si la potencia es mayor a 10 kW.

Finalmente el tipo de regulación será por carga si la potencia es menor a 100 kW y por caudal si es mayor a este valor”. (Marín, 2010)

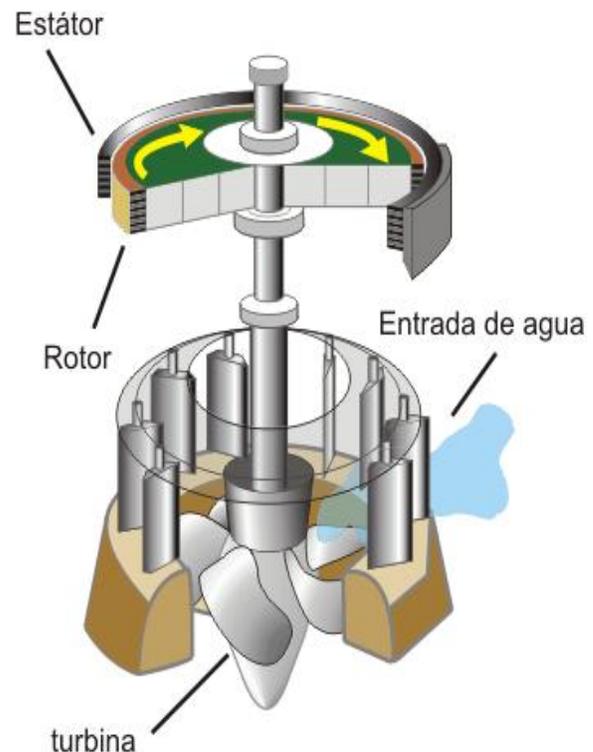


Figura 20. Generador eléctrico

Fuente: Imagen de Internet

## **Sistemas de protección**

Este tipo de proyectos (Microcentrales Hidroeléctricas) deben contar con algunos elementos de protección que ayuden a cuidar y a garantizar la integridad y funcionamientos de los aparatos conectados al sistema. Entre los equipos básicos de protección se encuentran los relés y supresores de sobretensiones, algunas de las protecciones más utilizadas son: relé de baja frecuencia, relé de baja tensión y protección contra cortocircuito.

Estos sistemas protegen a los equipos de problemas como:

### **Alta frecuencia**

Un exceso en la frecuencia del sistema puede dañar los aparatos que son accionados con motores, ya que éstos consumen más potencia entre mayor sea su velocidad de giro. Este tipo de fallas suele ocurrir por inconvenientes en el sistema de control de cargas o por problemas en la turbina.

### **Sobretensión**

Esta es una condición que puede dañar la mayoría de aparatos, se puede dar si falla el sistema de control de cargas o también debido a una falla en el generador.

### **Baja tensión**

Ante una condición de baja tensión, se puede dar que los motores no arranquen o que se sobrecalienten tratando de arrancar.

## Marco legal de concesión del recurso hídrico

A continuación se presenta un resumen de los principales aspectos que se contemplan en nuestro país para la implementación de un proyecto de energía renovable, las principales instituciones involucradas, la legislación y el mercado, así como los requisitos para desarrollar un proyecto de este tipo.

“En mayo de 2009, con la entrada en vigencia de la Ley Marco de Concesión para el Aprovechamiento de las Fuerzas Hidráulicas para la Generación Hidroeléctrica, Ley N° 8723, se designa, como ente competente al MINAET para otorgar las concesiones referentes al aprovechamiento de las fuerzas hidráulicas que puedan obtenerse de las aguas de dominio público del territorio nacional”. (La Gaceta, 2009)

### Concesiones requeridas para generación eléctrica

En el caso de la generación eléctrica, se requieren dos tipos de concesiones:

1. Concesión para el aprovechamiento del uso de recurso hídrico y para el aprovechamiento de las fuerzas que se derivan de las aguas, artículo 121 inciso 14. Actualmente el ente encargado de otorgar esta concesión es el MINAET.
2. Concesión para prestación del servicio público: En el caso que nos ocupa, la concesión se otorga al particular mediante un acuerdo unilateral de la Administración. En la actualidad, la ARESEP es el ente que otorga esta concesión.

## Ley de Participación de las Cooperativas de Electrificación Rural y de las Empresas de Servicios Públicos Municipales en el Desarrollo Nacional

Por medio de esta Ley se delegó en MINAET la competencia para otorgar las concesiones para el aprovechamiento de las fuerzas que se obtienen de las aguas de dominio público para las cooperativas de electrificación rural, los consorcios formados por éstas, así como para las empresas de servicios municipales que deseen generar electricidad.

### Requisitos para la solicitud de las concesiones para el aprovechamiento de las fuerzas hidráulicas para la generación hidroeléctrica

“El interesado que pretenda utilizar la fuerza hidráulica de las aguas de dominio público en el territorio nacional para generar energía hidroeléctrica, deberá presentar la respectiva solicitud de concesión al Minaet, acompañada de la aprobación de la evaluación de impacto ambiental por parte de la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (Setena)” (La Gaceta, 2009)

Dicha solicitud deberá contener la siguiente información:

1. La razón social o el nombre del solicitante.
2. La demostración del título legítimo que le permita usar la finca o el área afectada donde se pretende el aprovechamiento, con indicación de su naturaleza, situación, cabida y linderos reales.

3. La fuente y las cuencas que se pretenden aprovechar, así como la fuente y las cuencas a donde se pretende retornar las aguas utilizadas, con la indicación, en ambos casos, de las coordenadas cartográficas de los puntos de toma y descarga, así como su ubicación en las hojas cartográficas del Instituto Geográfico Nacional, según corresponda en escala 1:50000.
4. El nombre de los lugares, los distritos o las localidades donde se intenta instalar la explotación.
5. El caudal de agua solicitado, expresado en metros cúbicos por segundo y caída total que se quiere utilizar, expresada en metros. Asimismo, presentar el aforo de las fuentes.
6. La potencia del diseño que se pretende aprovechar, expresada en kilovatios.
7. El plazo en el que se planea iniciar los trabajos.
8. La energía estimada por generar en kilovatios – hora, por año.
9. El cronograma de inicio de construcción y operación de la planta.
10. La eficiencia estimada del sistema turbogenerador.
11. El estudio hidrológico de la fuente o las fuentes solicitadas, que contemple el análisis histórico de caudales y diferencia entre año seco y lluvioso.
12. El estudio de simulación del comportamiento hidráulico del cauce receptor de aguas abajo del punto de desfogue del caudal turbinado.
13. Si se contempla embalse, se deberá aportar el plan de manejo correspondiente.
14. Si el proyecto presenta alguna contrariedad, debe contarse con los estudios especiales que demuestren su viabilidad.
15. El estudio de caudal ambiental.
16. Los diseños y las descripciones que justifiquen el proyecto.

# Ejemplos del desarrollo de pequeños proyectos hidroeléctricos en Costa Rica

## “La Olla Eléctrica”

“En el sur de Costa Rica una pequeña comunidad goza de los beneficios de un sistema micro-hidroeléctrico con un sistema de mini-red eléctrica. COOPEUNIORO R.L. es una cooperativa comunitaria ubicada en el centro de la Península de Osa, al sur del país, en el borde del Parque Nacional Corcovado, que se dedica al agro-ecoturismo y conservación. Anteriormente, los requerimientos de energía eléctrica fueron suplidos por medio de un generador diesel. Ello significó siempre un enorme problema de transporte del combustible por la localización aislada de la zona y, de alguna manera, una contradicción con los esfuerzos de la Cooperativa por la protección del medio ambiente, especialmente por la contaminación causada por los residuos del diesel y el ruido del generador.

En 1999, se hizo realidad el sueño de disponer de electricidad continua y “limpia”, gracias al aporte técnico y económico de un turista-amigo norteamericano y al apoyo técnico de un vecino mecánico-electricista. Desde esa fecha, salvo pequeñas interrupciones para mantenimiento, se dispone de la energía requerida las 24 horas para todas las necesidades de la comunidad.

El sistema cuenta con una pequeña turbina Pelton, suspendida en forma horizontal dentro de una olla de aluminio, y acoplada directamente a un alternador de vehículo. La electricidad generada es acumulada en un banco de 4 baterías de 110 amperios-hora cada una. Luego se transforma en corriente de 110 voltios por medio de un inversor de 1.5 kW. A través de una mini-red eléctrica se conectan unas 15 viviendas al sistema, brindando los servicios de iluminación, refrigeración y comunicación. Con el apoyo técnico y financiero de BUN-CA (FOCER), se realizó en el año 2001 la rehabilitación del

sistema, que resultó en una mayor eficiencia y generación de electricidad durante todo el año. El proyecto es un buen ejemplo de cómo un sistema micro-hidro puede satisfacer las necesidades energéticas a pequeñas comunidades y se promueve su reaplicación en otros lugares aislados”. (BUN-CA, 2002)



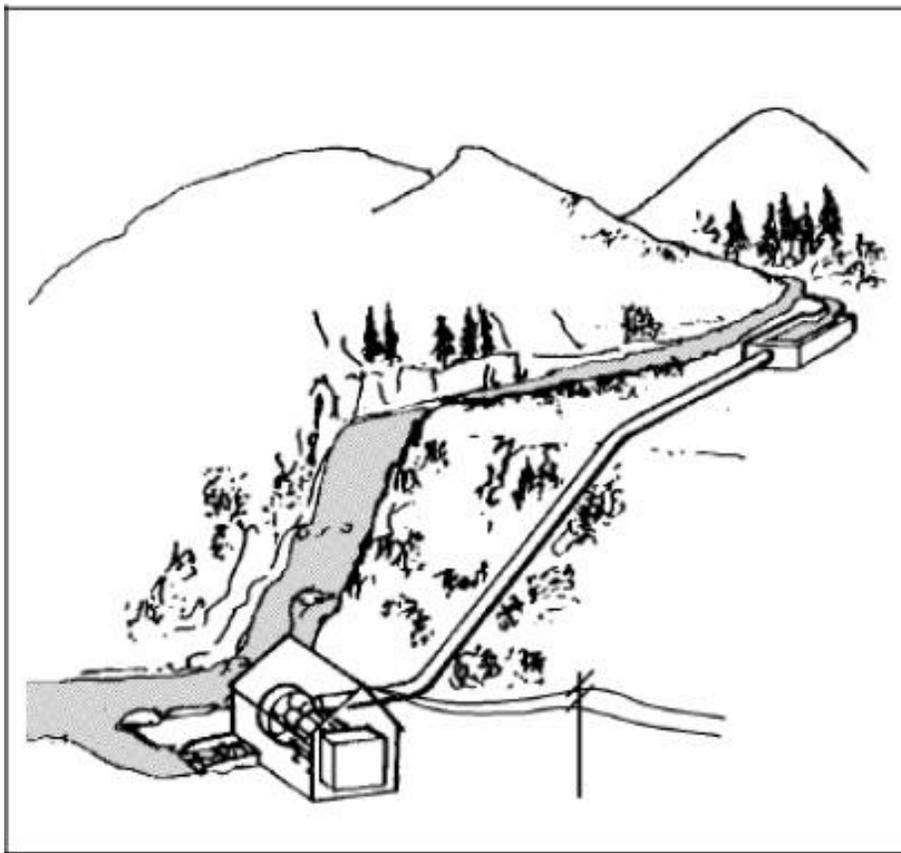
**Figura 21.** Micro proyecto hidroeléctrico “La Olla” ubicado en el sur del país.

**Fuente:** Manual “hidráulica a pequeña escala”

# Microcentral Hidroeléctrica en la zona de Los Santos

Este proyecto nace como una idea de la cooperativa de electrificación rural de Los Santos (COOPESANTOS R.L), y lo que se requiere es realizar algunos estudios preliminares para la posible colocación de una pequeña planta hidroeléctrica en la zona de San Marcos de Tarrazú, como se mencionó anteriormente, lo que se busca es estudiar las condiciones del sitio y de esta manera analizar la viabilidad del proyecto o por el contrario descartarlo.

Este tipo de proyectos, por lo general se desarrollan bajo la modalidad mencionada anteriormente en el marco teórico “centrales a filo de agua”, y en particular este proyecto puede presentar un esquema en el cual se utiliza únicamente tubería a presión, ya que se pretende tomar el agua de una naciente, por lo que no se requiere desviar parte de un río o quebrada por medio de un canal de conducción.



**Figura 22.** Diagrama de una microcentral hidroeléctrica donde solamente se utiliza tubería a presión

**Fuente:** Material brindado por el profesor Marco Tapia

# Datos generales y descripción de la zona donde se ubicará el proyecto

## Ubicación geográfica

Al suroeste de la provincia de San José se ubican los cantones de Dota, Tarrazú y León Cortés, los cuales conforman la denominada zona de Los Santos.

“Esta zona está ubicada en la vertiente Pacífico Central de Costa Rica, se caracteriza por una topografía muy irregular y pendientes abruptas” (Bergoeing, 1998)

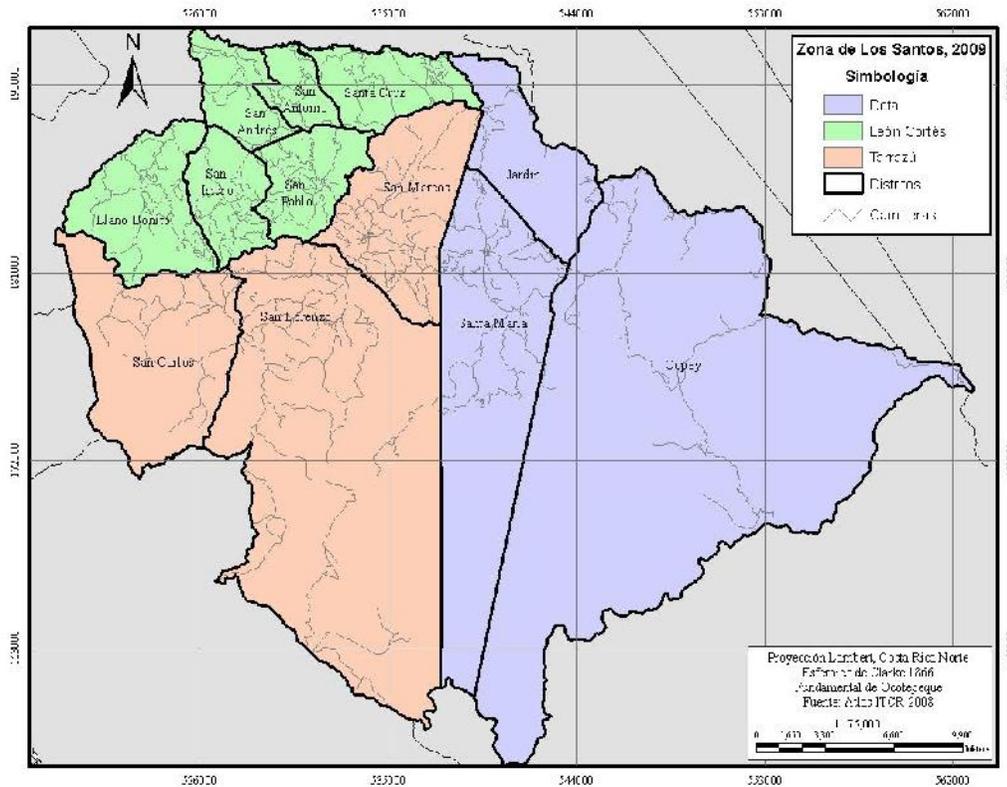


Figura 23. Ubicación de la Zona de Los Santos

Fuente: Escuela de ciencias geográficas, Universidad Nacional C.R

A continuación se presenta un extracto de la zona, tomada de la Hoja 091 Caraigres del Instituto Geográfico Nacional a escala 1:50 000 que delimita la región por las coordenadas 9°40' a 9°50' de latitud Norte y 84°00' a 84° 15' de longitud Oeste. El extracto corresponde a la ubicación exacta del sitio de proyecto, ampliada pero sin escala en particular, en donde la cuadrícula representa un kilómetro cuadrado.

Además en la figura mencionada (figura 24) se muestra claramente en el margen derecho y en el inferior las coordenadas exactas de ubicación del proyecto según dicha hoja cartográfica.



Figura 24. Ubicación exacta del proyecto

Fuente: Hoja cartográfica 091 Caraigres

## Tipo de Suelos presentes en la zona

Se presentan dos clases o tipos de suelos: inceptisoles y ultisoles.

“Los inceptisoles son los que se ubican en el cantón de Dota en la totalidad del distrito de Jardín, y en pequeña parte en el sector norte de Copey y Santa María; para el cantón de Tarrazú, se presenta en los distritos de San Marcos y San Lorenzo, y en el cantón de León Cortés en los distritos de Santa Cruz y San Pablo. Este tipo de suelo posee horizonte B cámbico, textura arenosa, poca arcilla, poco profundos (15-25 cm) y color rojizo. Presenta pendientes entre 30 y 60%, con probabilidad de presencia de materia orgánica.” (Álvarez, 2010)

“Por su parte, los suelos ultisoles se presentan en la totalidad de los distritos de San Antonio, San Andrés, San Isidro, Llano Bonito de León Cortés, y San Carlos distrito de Tarrazú. También, se presentan en menor escala en los distritos de Santa Cruz y San Pablo del cantón de León Cortés, en San Marcos y San Lorenzo, distritos de Tarrazú, y en Santa María y Copey, distritos de Dota. Estos suelos se caracterizan por ser arcillosos, profundos, de color rojo o amarillo” (Álvarez, 2010)

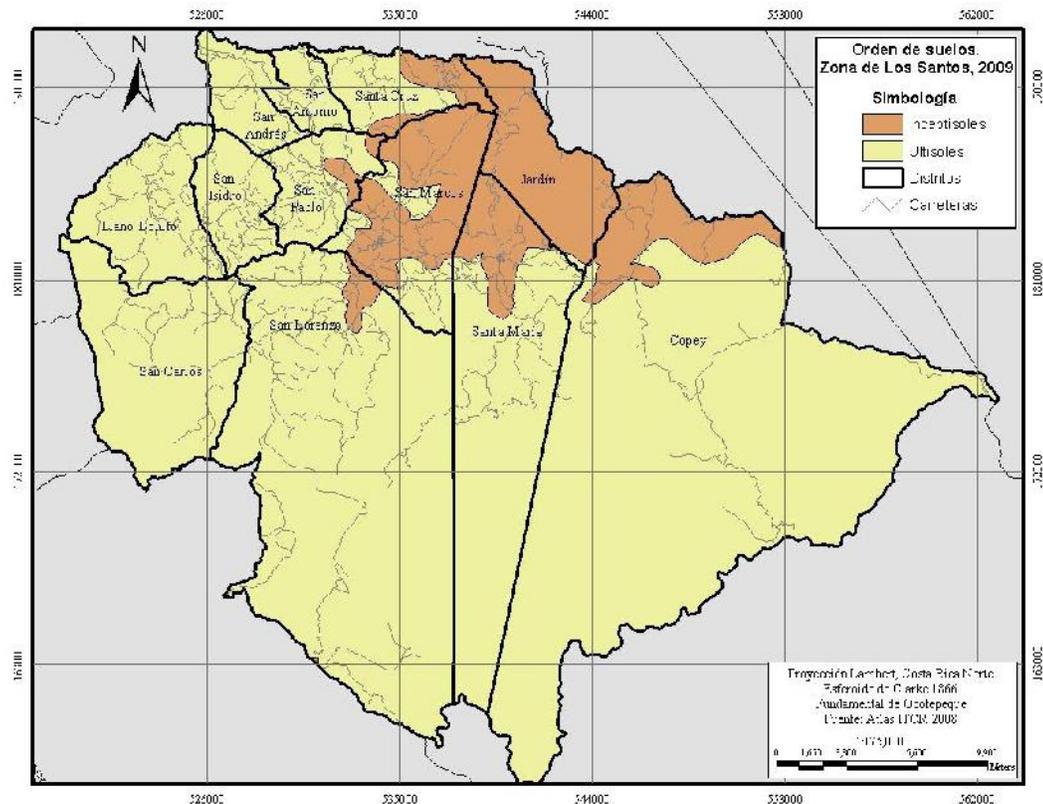


Figura 25. Suelos de la zona de Los Santos

Fuente: Escuela de ciencias geográficas, Universidad Nacional C.R

## Hidrología de la zona

“El sistema fluvial de la zona de Los Santos se compone de cuatro cuencas, las cuales corresponden a Pirrís, Naranjo, Damas y Savegre. Éstas cuencas están influenciadas por la vertiente Pacífica y Caribe, para el caso de los cantones de León Cortés y Tarrazú están influenciados por la primera vertiente, mientras el cantón de Dota por ambas vertientes”

(Informe ICE, 2005)

Como se muestra en la figura 26, es una zona donde se cuenta con una gran riqueza del recurso hídrico, el cual se puede explotar gracias a sus variables e irregulares condiciones geográficas.

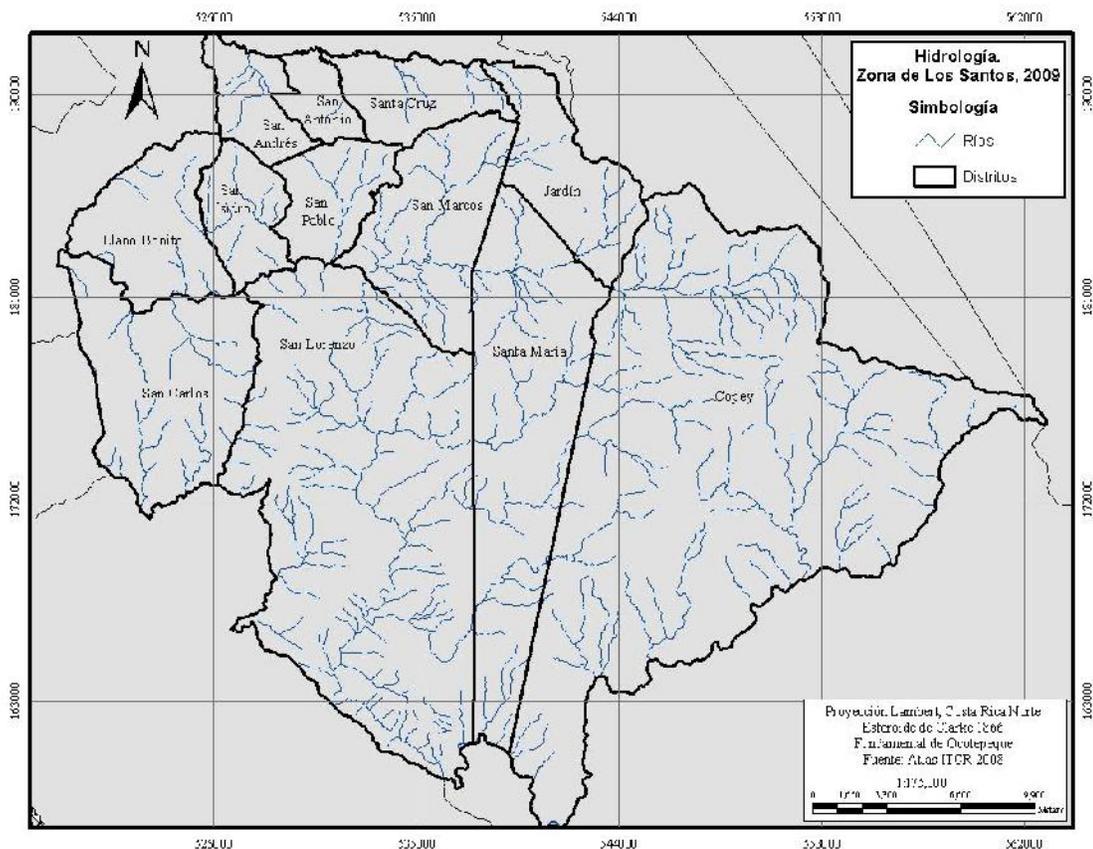


Figura 26. Hidrología de la zona de Los Santos

Fuente: Escuela de ciencias geográficas, Universidad Nacional C.R

# Resultados

## Recopilación de datos y evaluación del recurso hídrico.

Esta recopilación se realizó mediante consultas a personas y entidades que en los últimos años llevan un control de los aforos y mediciones del recurso hídrico en la naciente que se pretende utilizar para el desarrollo del proyecto. Por ejemplo, gestión ambiental del AYA y miembros de la ASADA de El Rodeo de Tarrazú. También se buscó información en estaciones meteorológicas ubicadas en la zona para observar el comportamiento de las precipitaciones en los últimos años.

El método utilizado para estas mediciones de caudal fue uno de los descritos anteriormente en el marco teórico, ya que para realizar los aforos de la naciente se utilizó un recipiente con un volumen conocido (aproximadamente 19 litros). El procedimiento fue basear los tanques de captación y aforar cada tubo de entrada por separado, al final se suman estos valores y se obtiene un caudal total.



Figura 27. Tubos de entrada en el primer tanque de Reunión



Figura 28. Tubos de entrada en el segundo tanque de Reunión

**CUADRO 1. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS AFOROS  
REALIZADOS EL DIA 14 DE ENERO DEL 2011**

Medición	Volumen del recipiente (litros)	Tiempo prom. (s)	Caudal (l/s)	Caudal m <sup>3</sup> /mes
Registro 1	18,925	2,2	8,60	22297,1
Registro 2	18,925	5,0	3,79	9810,7
Registro 3	18,925	5,0	3,79	9810,7
Registro 4	18,925	17,0	1,11	2885,5
<b>TOTAL</b>			<b>17,29</b>	<b>44804,0</b>

**CUADRO 2. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS AFOROS  
REALIZADOS EL DIA 19 DE FEBRERO DEL 2011**

Medición	Volumen del recipiente (litros)	Tiempo prom. (s)	Caudal (l/s)	Caudal m <sup>3</sup> /mes
Registro 1	18,925	2,2	8,60	22297,1
Registro 2	18,925	5,0	3,79	9810,7
Registro 3	18,925	5,0	3,79	9810,7
Registro 4	18,925	19,0	1,00	2581,8
<b>TOTAL</b>			<b>17,17</b>	<b>44500,3</b>

**CUADRO 3. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS AFOROS  
REALIZADOS EL DIA 23 DE MARZO DEL 2011**

Medición	Volumen del recipiente (litros)	Tiempo prom. (s)	Caudal (l/s)	Caudal m <sup>3</sup> /mes
Registro 1	18,925	2,0	9,46	24526,8
Registro 2	18,925	5,0	3,79	9810,7
Registro 3	18,925	6,0	3,15	8175,6
Registro 4	18,925	19,0	1,00	2581,8
<b>TOTAL</b>			<b>17,40</b>	<b>45094,9</b>

**CUADRO 4. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS AFOROS  
REALIZADOS EL DIA 04 DE ABRIL DEL 2011**

Medición	Volumen del recipiente (litros)	Tiempo prom. (s)	Caudal (l/s)	Caudal m³/mes
Registro 1	18,925	2,2	8,60	22297,1
Registro 2	18,925	4,0	4,73	12263,4
Registro 3	18,925	6,0	3,15	8175,6
Registro 4	18,925	15,0	1,26	3270,2
<b>TOTAL</b>			<b>17,75</b>	<b>46006,3</b>

**CUADRO 5. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS AFOROS  
REALIZADOS EL DIA 02 DE MAYO DEL 2011**

Medición	Volumen del recipiente (litros)	Tiempo prom. (s)	Caudal (l/s)	Caudal m³/mes
Registro 1	18,925	2,0	9,46	24526,8
Registro 2	18,925	4,5	4,21	10900,8
Registro 3	18,925	4,0	4,73	12263,4
Registro 4	18,925	9,0	2,10	5450,4
<b>TOTAL</b>			<b>20,50</b>	<b>53141,4</b>

**CUADRO 6. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS AFOROS  
REALIZADOS EL DIA 06 DE JUNIO DEL 2011**

Medición	Volumen del recipiente (litros)	Tiempo prom. (s)	Caudal (l/s)	Caudal m³/mes
Registro 1	18,925	2,0	9,46	24526,8
Registro 2	18,925	4,5	4,21	10900,8
Registro 3	18,925	4,0	4,73	12263,4
Registro 4	18,925	7,0	2,70	7007,7
<b>TOTAL</b>			<b>21,10</b>	<b>54698,7</b>

**CUADRO 7. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS AFOROS  
REALIZADOS EL DIA 04 DE JULIO DEL 2011**

Medición	Volumen del recipiente (litros)	Tiempo prom. (s)	Caudal (l/s)	Caudal m³/mes
Registro 1	18,925	1,8	10,51	27252,0
Registro 2	18,925	4,0	4,73	12263,4
Registro 3	18,925	4,0	4,73	12263,4
Registro 4	18,925	7,0	2,70	7007,7
<b>TOTAL</b>			<b>22,68</b>	<b>58786,5</b>

**CUADRO 8. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS AFOROS  
REALIZADOS EL DIA 04 DE AGOSTO DEL 2011**

Medición	Volumen del recipiente (litros)	Tiempo prom. (s)	Caudal (l/s)	Caudal m³/mes
Registro 1	18,925	1,6	11,83	30658,5
Registro 2	18,925	4,0	4,73	12263,4
Registro 3	18,925	5,0	3,79	9810,7
Registro 4	18,925	5,0	3,79	9810,7
<b>TOTAL</b>			<b>24,13</b>	<b>62543,3</b>

**CUADRO 9. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS AFOROS  
REALIZADOS EL DIA 01 DE SETIEMBRE DEL 2011**

Medición	Volumen del recipiente (litros)	Tiempo prom. (s)	Caudal (l/s)	Caudal m³/mes
Registro 1	18,925	1,5	12,62	32702,4
Registro 2	18,925	4,0	4,73	12263,4
Registro 3	18,925	4,0	4,73	12263,4
Registro 4	18,925	5,0	3,79	9810,7
<b>TOTAL</b>			<b>25,86</b>	<b>67039,9</b>

**CUADRO 10. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS AFOROS  
REALIZADOS EL DIA 03 DE OCTUBRE DEL 2011**

Medición	Volumen del recipiente (litros)	Tiempo prom. (s)	Caudal (l/s)	Caudal m <sup>3</sup> /mes
Registro 1	18,925	1,6	11,83	30658,5
Registro 2	18,925	4,0	4,73	12263,4
Registro 3	18,925	4,0	4,73	12263,4
Registro 4	18,925	4,5	4,21	10900,8
<b>TOTAL</b>			<b>25,50</b>	<b>66086,1</b>

**CUADRO 11. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS AFOROS  
REALIZADOS EL DIA 01 DE NOVIEMBRE DEL 2011**

Medición	Volumen del recipiente (litros)	Tiempo prom. (s)	Caudal (l/s)	Caudal m <sup>3</sup> /mes
Registro 1	18,925	1,8	10,51	27252,0
Registro 2	18,925	4,0	4,73	12263,4
Registro 3	18,925	4,0	4,73	12263,4
Registro 4	18,925	4,0	4,73	12263,4
<b>TOTAL</b>			<b>24,71</b>	<b>64042,2</b>

**CUADRO 12. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS AFOROS  
REALIZADOS EL DIA 01 DE DICIEMBRE DEL 2011**

Medición	Volumen del recipiente (litros)	Tiempo prom. (s)	Caudal (l/s)	Caudal m <sup>3</sup> /mes
Registro 1	18,925	2,0	9,46	24526,8
Registro 2	18,925	5,0	3,79	9810,7
Registro 3	18,925	5,0	3,79	9810,7
Registro 4	18,925	6,0	3,15	8175,6
<b>TOTAL</b>			<b>20,19</b>	<b>52323,8</b>

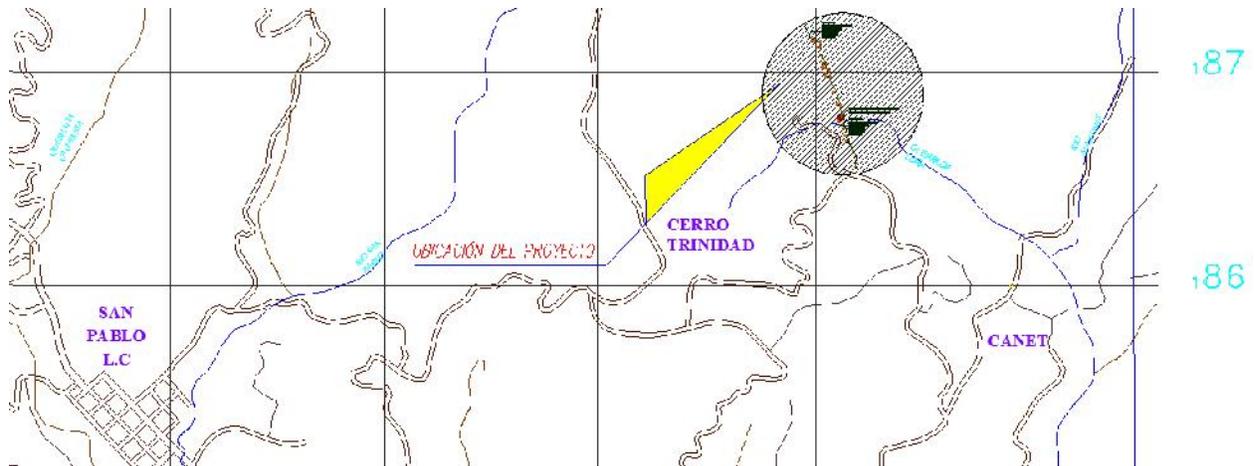
Fuente: Cuadros elaborados con el programa "Excel".

# Recopilación de datos topográficos

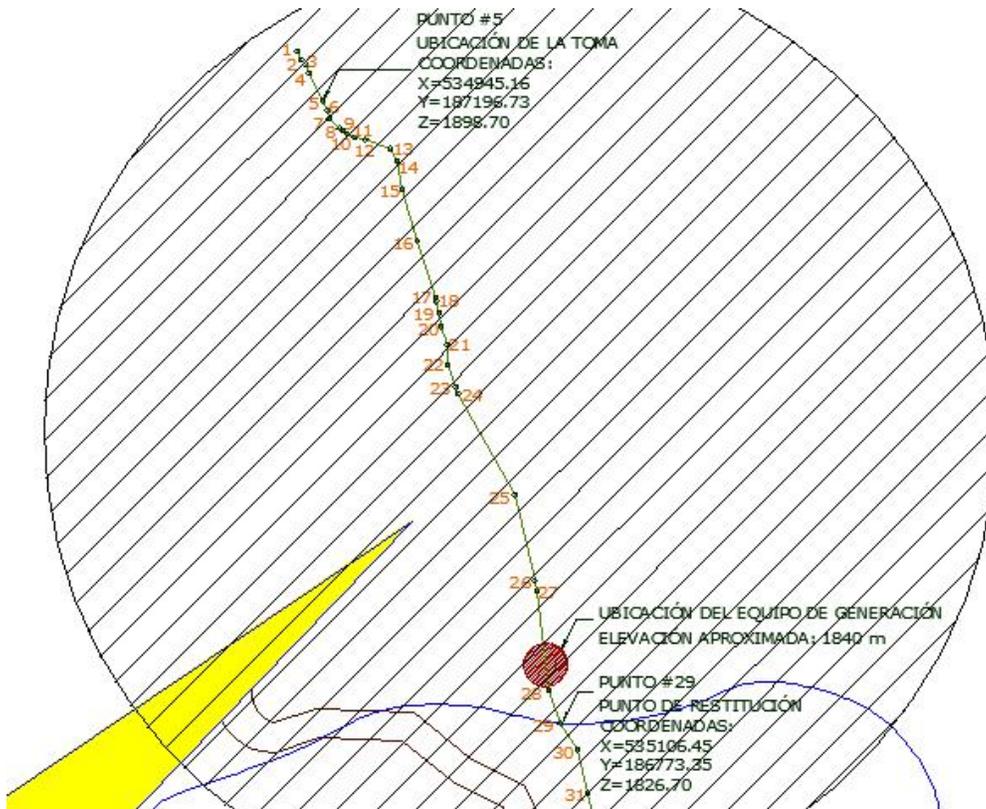
A continuación se presentan los resultados obtenidos de los levantamientos topográficos realizados, el primero corresponde al levantamiento desde la toma de agua hasta el sitio donde se colocará la casa de máquinas, y el segundo fue un levantamiento realizado para la colocación de la línea de transmisión eléctrica. Estos trabajos se realizaron con un GPS de doble frecuencia para establecer una red de puntos que permiten georeferenciar el levantamiento y a la vez corregir el error topográfico.

Una vez que se concluya con el estudio preliminar para la instalación de la microcentral y se conozcan los resultados, si la empresa decide realizar el proyecto, se hará un estudio topográfico más preciso con una estación total. Sin embargo, para llevar a cabo el estudio preliminar esta información es suficiente, ya que se tiene una idea clara de las condiciones con las que se cuenta. Además, los resultados obtenidos fueron corroborados con los datos del levantamiento topográfico realizado para la construcción del acueducto de EL RODEO de Tarrazú en el año 2010.

Las imágenes siguientes muestran la ubicación de los puntos, colocados sobre el terreno. Para georeferenciar estos puntos se utilizó la hoja 091 Carraigres del Instituto Geográfico Nacional Escala 1:50 000



**Figura 29.** Ubicación exacta de la zona donde se instalará la microcentral hidroeléctrica



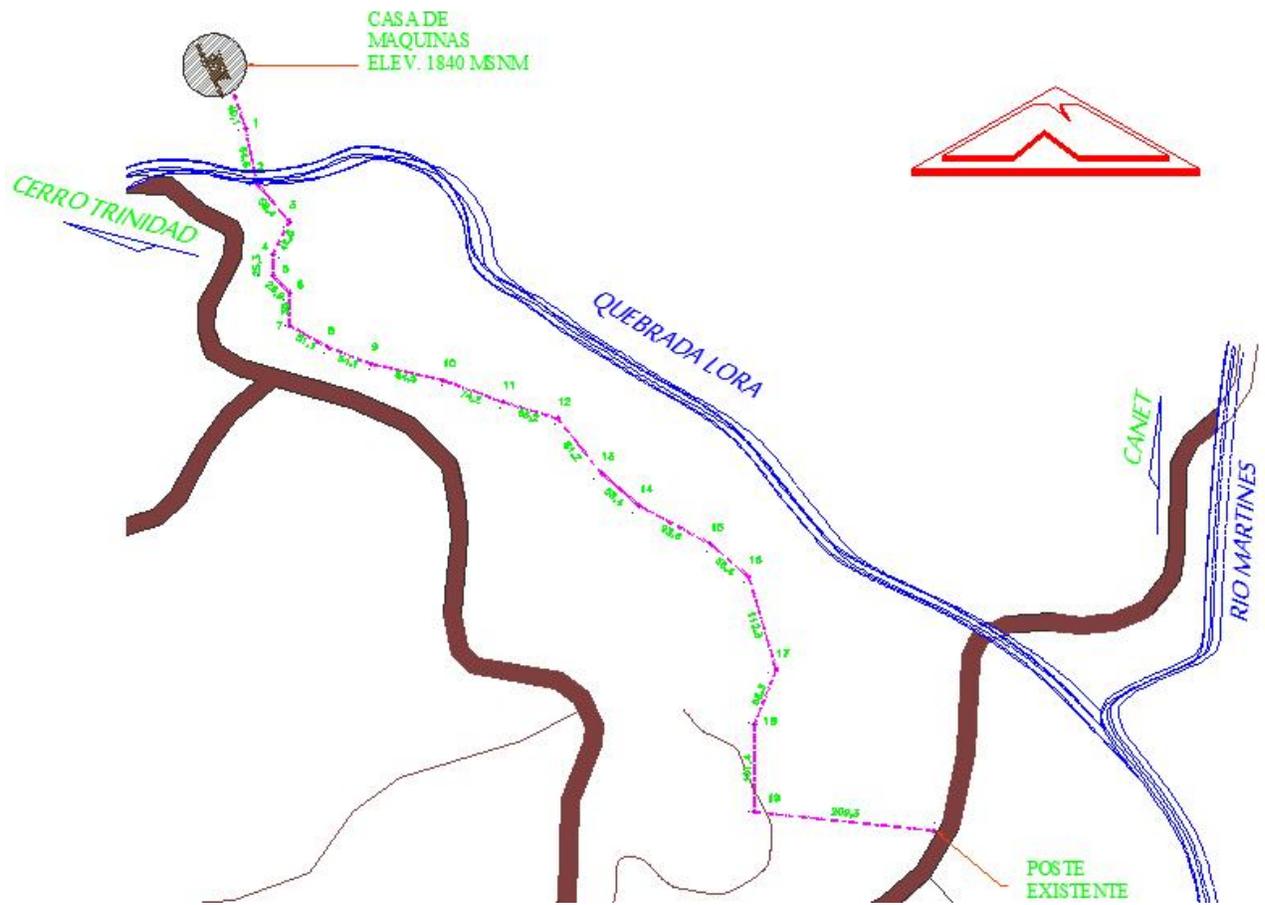
**Figura 30.** Puntos importantes del levantamiento topográfico (ubicación de la toma y casa de maquinas)

**Fuente:** Elaborados con el programa "AutoCAD"

**CUADRO 13. DATOS DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO  
PARA LA INSTALACIÓN DE LA MICROCENTRAL, PUNTOS  
DEL 1 AL 29**

Punto	Posición X	Posición Y	Elevación (m)
1	534927,69	187230,23	1902,99
2	534930,55	187224,52	1902,55
3	534933,25	187221,50	1901,41
4	534935,79	187215,63	1900,96
5	534945,16	187196,74	1898,70
6	534948,18	187189,91	1897,63
7	534949,45	187184,83	1896,37
8	534956,27	187178,16	1893,55
9	534959,13	187176,58	1892,86
10	534961,83	187173,88	1892,40
11	534966,59	187171,97	1889,95
12	534974,21	187170,23	1890,29
13	534991,04	187164,35	1888,11
14	534995,48	187155,94	1887,37
15	534999,29	187136,57	1885,23
16	535009,61	187101,33	1880,62
17	535021,99	187062,91	1876,29
18	535022,42	187060,23	1874,62
19	535024,22	187052,28	1871,69
20	535025,33	187043,23	1866,11
21	535029,61	187030,84	1868,95
22	535030,09	187017,19	1865,65
23	535035,33	187001,79	1866,79
24	535037,23	186997,67	1867,38
25	535075,49	186928,45	1860,93
26	535089,15	186870,19	1850,74
27	535090,73	186863,68	1850,07
28	535098,83	186795,89	1838,28
29	535106,45	186773,35	1826,70

Fuente: Cuadro elaborado con el programa "Excel"



**Figura 31.** Levantamiento realizado para la colocación de la línea de transmisión eléctrica

**Fuente:** Elaborado con el programa "AutoCAD"

**CUADRO 14. POSTES Y VANOS PARA LA COLOCACIÓN DE LA LINEA DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA, LINEA MONOFASICA 14.4 Kw**

VANO	Azimut	DSTANCIA (m)	ID POSTE	MATERIAL	ALTURA	CLASE	ELEVACIÓN (msnm)
1 - 2	78°41.57	40,80	1	Madera	35 PIES	CL 5	1840
2 - 3	82°4.12	65,22	2	Madera	35 PIES	CL 5	1848
3 - 4	92°56.44	58,48	3	Madera	35 PIES	CL 5	1857
4 - 5	99°21.18	43,07	4	Madera	35 PIES	CL 5	1854
5 - 6	90°00	25,30	5	Madera	35 PIES	CL 5	1847
6 - 7	108°29.93	28,37	6	Madera	35 PIES	CL 5	1847
7 - 8	90°00	38	7	Madera	35 PIES	CL 5	1838
8 - 9	73°38.45	53,26	8	Madera	35 PIES	CL 5	1838
9 - 10	101°29.59	55,21	9	Madera	35 PIES	CL 5	1853
10 - 11	84°35.50	84,88	10	Madera	35 PIES	CL 5	1842
11 - 12	98°25.95	75,01	11	Madera	35 PIES	CL 5	1850
12 - 13	89°8.07	66,21	12	Madera	35 PIES	CL 5	1839
13 - 14	97°1.25	81,81	13	Madera	35 PIES	CL 5	1840
14 - 15	93°55.09	58,54	14	Madera	35 PIES	CL 5	1830
15 - 16	90°00	93,6	15	Madera	35 PIES	CL 5	1826
16 - 17	91°57.69	58,43	16	Madera	35 PIES	CL 5	1826
17 - 18	94°4.48	112,58	17	Madera	35 PIES	CL 5	1824
18 - 19	91°53.17	67,36	18	Madera	35 PIES	CL 5	1816
19 - 20	92°6.97	102,45	19	Madera	35 PIES	CL 5	1814
20 - 21	108°50.16	53,45	20	Madera	35 PIES	CL 5	1810

Fuente: Cuadro elaborado con el programa "Excel"

## Diseño preliminar del proyecto

Desde el principio uno de los objetivos más importantes de este proyecto fue realizar un diseño preliminar, y así proponer las estructuras que se deben construir para poder generar energía en el sitio seleccionado. Una vez realizados los estudios topográficos y la recopilación de información del recurso hídrico, se pudo plantear el diseño mencionado, el cual está conformado por las siguientes estructuras hidráulicas:

### Tanques de captación

Se cuenta con dos tanques de captación, ubicados en el punto #5 del levantamiento topográfico, sin embargo se necesita la construcción de un tercer tanque para almacenar un mayor volumen de agua y de esta forma mejorar las condiciones de caudal.

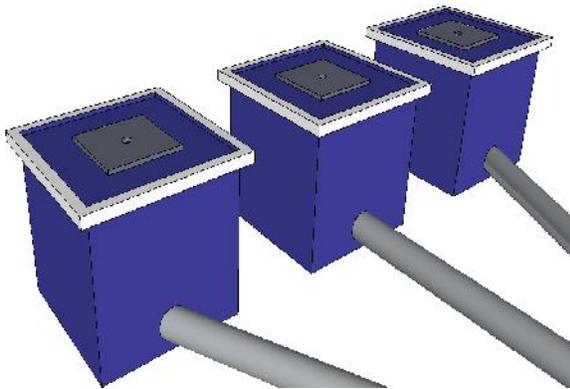


Figura 32. Tanques de Captación

### Desarenador

Esta es una estructura que se debe construir después de los tanques de captación, para evitar en lo posible la entrada de material sólido a la tubería de presión.

La principal función de este desarenador es que se sedimenten todas las partículas en el fondo y así evitar posibles daños en la turbina.



Figura 33. Desarenador

### Tubería a presión

Para el desarrollo de este proyecto se utilizará tubería de PVC (cloruro de polivinilo) y, dependiendo de los tramos, se utilizará dos diámetros diferentes. Según consideraciones de diseño, se debe utilizar tubería de 150 mm en su mayoría, y un tramo de tubería de 100 mm, ambas tuberías SDR 26. Con este cambio de diámetro de 150 mm a 100 mm, lo que se genera es un incremento en la velocidad del fluido.

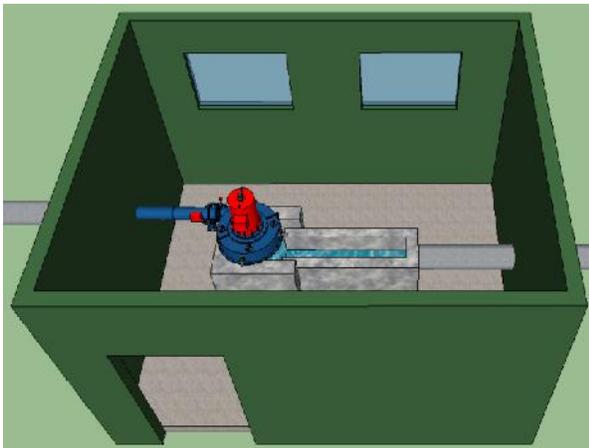


**Figura 34.** Tuberías PVC de 150 mm de diámetro

Fuente: Catálogo de AMANCO

## Casa de máquinas

Se ubicará en la zona marcada entre los puntos 27 y 28 del levantamiento topográfico mostrado anteriormente (Figura 30), a una altura aproximada de 1840m. Se debe construir preferiblemente de elementos de mampostería de concreto, o elementos prefabricados de este mismo material, ya que, en este sitio se colocará equipo costoso (la turbina y el generador) y de esta forma evitar que se presenten daños o robos. Además, debe ser un lugar espacioso para poder instalar todo el equipo electromecánico y poder darle mantenimiento en un futuro.

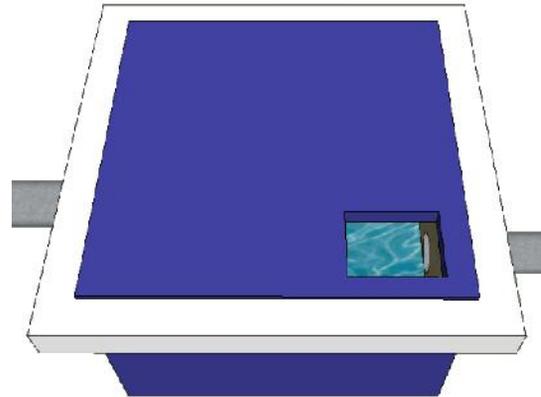


**Figura 35.** Casa de máquinas

## Tanque de carga

La idea de la construcción de este tanque nació de un convenio entre la gente de la ASADA de El Rodeo de Tarrazú y Coopesantos R.L. Este tanque se debe ubicar después de la casa de máquinas, con el fin de contener el agua utilizada para generar, seguidamente, darle un tratamiento y de esta forma poder inyectarla a la red del acueducto. Sin embargo, la construcción de este tanque queda sujeta a estudios posteriores. Si se decide construir se debe hacer de concreto y cumplir con todos los requerimientos necesarios.

En caso de contar con rebalse en este tanque, o si se decide no construirlo, el agua turbinada será restituida en la quebrada Lora, la cual se encuentra a unos pocos metros de la casa de máquinas.



**Figura 36.** Tanque de almacenamiento y carga

Fuente: Modelos elaborados con el programa "Google Sketchup"

# Selección del equipo electromecánico

El equipo electromecánico en micro-centrales hidroeléctricas está compuesto por la turbina, el generador, los sistemas de control y las protecciones; siendo los costos de estos equipos muy variables.

La escogencia y el diseño de la turbina dependen de la relación de parámetros como caudal y caída, y además se utilizan una serie de gráficos y nomogramas brindados por las empresas distribuidoras de estos equipos.

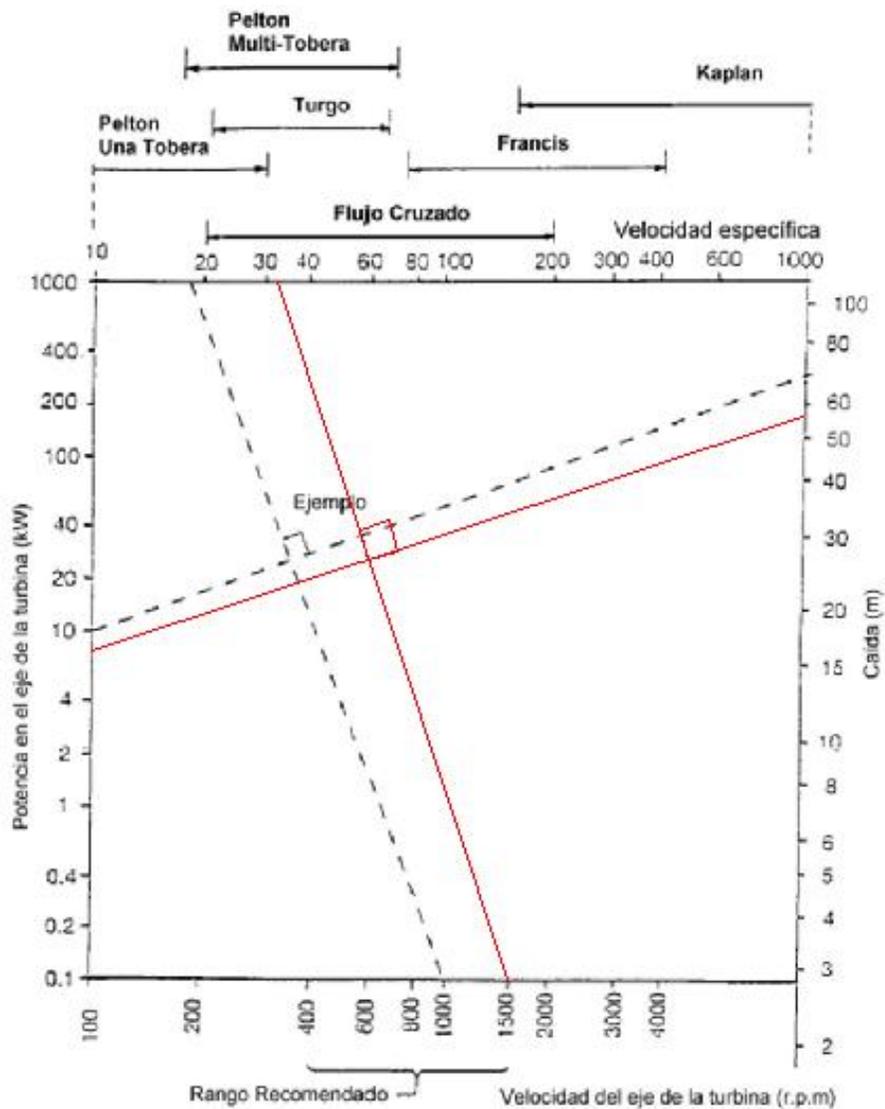


Figura 37. Nomograma para la selección de turbinas

Fuente: Micro-hydrodesign manual

Según el nomograma anterior, para las condiciones que se presentan en este proyecto (caída 53m y un caudal de 17 l/s) se puede utilizar turbinas Pelton, Turgo o de flujo cruzado (Michell-Banki), las turbinas Francis y Kaplan quedan descartadas.

Estos resultados son respaldados por la información presente en el marco teórico, en donde se afirma que estos últimos tipos de turbinas se utilizan en proyectos donde se cuenta con mayores caudales.

Es importante mencionar que los tres tipos de turbinas que se pueden utilizar poseen rendimientos cercanos al 80% por lo que ahora se cuenta con datos más representativos para el cálculo de la potencia que puede generar la planta. Estos datos son de gran importancia, pues un buen diseño de la turbina implica buenos resultados en la eficiencia de la central.

Después de haber seleccionado la turbina, el paso siguiente es la escogencia del generador.

Si bien un buen diseño de la turbina implica buenos resultados en la eficiencia de la central, la correcta elección del generador se asocia directamente con los costos del proyecto, no solamente por el costo de inversión inicial, sino principalmente por los costos asociados a fallas o problemas; ya que, en general los repuestos para un generador son caros y a veces pueden ser difíciles de conseguir.

Para este proyecto se definió que el tipo de generación será corriente alterna, ya que la potencia demandada se encuentra en un rango entre 6 kW y 10 kW. El tipo de fase queda determinado como monofásico y el tipo de regulación será por carga.

Como este es un proyecto de generación pequeño, y porque las condiciones así lo permiten, lo ideal es utilizar un grupo turbina-generador que cumpla con las especificaciones anteriores, y de esta forma nos ahorramos diseñar cada elemento por separado. Además, estos equipos cumplen a la perfección la función de transformar la energía hidráulica en energía eléctrica de manera constante y continua.

El siguiente cuadro muestra algunos de los grupos turbina-generador que podemos utilizar para el proyecto.

## CUADRO 14. EQUIPO ELECTROMECÁNICO QUE CUMPLE CON LAS CONDICIONES PARA UTILIZARSE EN EL PROYECTO

TURBINA	MODELO	CAÍDA (m)	CAUDAL (L/s)	POTENCIA (kW)	DIÁMETRO ENTRADA (mm)	DIMENSIONES L*W*H (cm)
Turgo	XJ30-10SCT4/-Z	38 - 45	20 - 30	10	150	110x80x86, 300kg
Michell - Banki	R189	10 - 80	5 - 350	6 - 20	150	100x70x45, 120kg
Pelton	AC 4-38	20 - 200	5 - 100	7 - 15	150	75x75x95, 100kg

Fuente: Cuadro elaborado con el programa "Excel"

## Cálculo de la potencia de la planta

La potencia generada en este tipo de proyectos depende directamente de los siguientes parámetros: caída y caudal.

Hay ocasiones en que la turbina y el generador se deben acoplar por medio de otros dispositivos, y por tal motivo existe una pérdida de eficiencia. En nuestro caso, como se mencionó anteriormente, se va a utilizar un grupo Turbina-generador, por lo que no se debe considerar algunos factores de acoplamiento y se puede calcular la potencia de la siguiente manera:

La caída efectiva, está dada por la diferencia de altura entre el punto de toma y la casa de máquinas, y a este valor se le resta las pérdidas de carga que se generan a lo largo de la tubería, este cálculo se muestra en el apéndice 2 del presente informe.

Por lo tanto, tenemos que:

$$P = 0,8 * 1000 * 9,81 * 0,0177 * 53$$

$$P = 7362 \text{ Watts} \quad 7,36\text{Kw}$$

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

Ecuación (5)

### Donde:

P: potencia mecánica producida en la turbina (Watts)

η : eficiencia hidráulica de la turbina

ρ : densidad del agua ( =1000 kg/m<sup>3</sup>)

g: aceleración de la gravedad (g=9.81 m/s<sup>2</sup>)

Q: caudal (m<sup>3</sup>/s)

H: caída efectiva (m)

# Dimensionamiento de los elementos que componen la microcentral

## Tanques de captación

Se propone la construcción de un tercer tanque de captación, el cual debe ser construido de concreto y contar con las mismas características de los ya ubicados en el sitio de toma. La necesidad de construir este nuevo tanque es por motivo de que se cuenta con gran cantidad de agua que no está siendo captada y la cual se podría aprovechar. Las medidas que a continuación se presentan corresponden a medidas tomadas directamente de los elementos ya existentes, debido a que la nueva estructura a construir debe ser muy similar.



Figura 38. Tanques de captación existentes

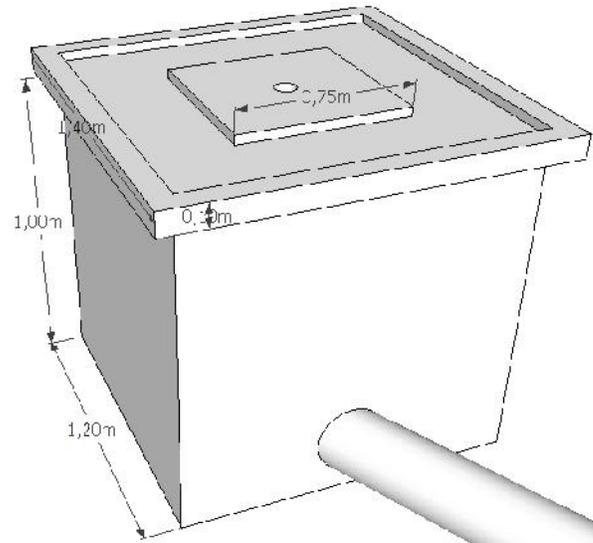


Figura 39. Dimensionamiento del tanque de captación a construir

## Desarenador

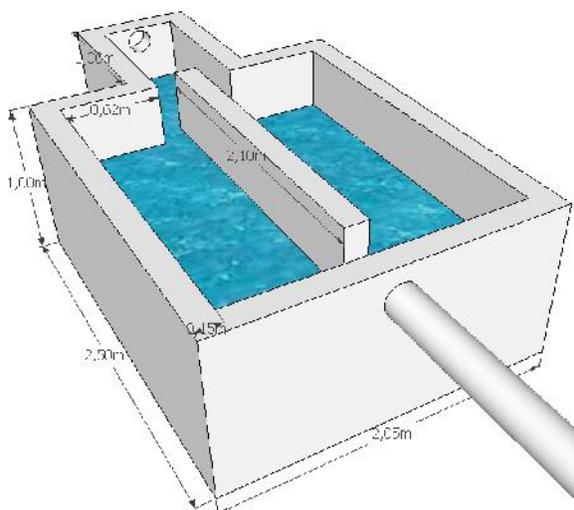
Como el proyecto consiste en un diseño preliminar, para proponer las dimensiones de elementos como el desarenador se realizaron algunas visitas y se analizaron estructuras similares a las que se deben construir. Seguidamente, se trató de adaptar esta información a los requerimientos y condiciones que se presentan en el sitio del proyecto. Por ejemplo, se realizó una visita al desarenador con que cuenta el sistema de tratamiento de aguas de la comunidad de Santa Cecilia de Tarrazú, en donde el caudal que se utilizó para su diseño es similar al caudal con que se cuenta para el proyecto de la microcentral hidroeléctrica.

CUADRO 15. DIMENSIONES DE LOS TANQUES DE CAPTACIÓN			
Elemento	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)
Tanque	1,2	1,2	1,0
corona	1,4	1,4	0,1
tapa	0,75	0,75	0,02



**Figura 40.** Desarenador construido para el tratamiento de aguas en Santa Cecilia de Tarrazú

<b>CUADRO 16. DIMENSIONES PRINCIPALES DEL DESARENADOR</b>		
<b>Largo (m)</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Altura (m)</b>
3,5	2,05	1,0



**Figura 41.** Dimensiones del desarenador

## Casa de máquinas

Se puede llamar casa de máquinas al lugar donde se colocará el equipo electromecánico. Sin embargo, para este proyecto es suficiente con la construcción de una pequeña estructura, pues el tamaño de este sitio es directamente proporcional a la capacidad de generación de la planta, y depende estrictamente de las dimensiones de la turbina y el generador. Como se mencionó en la sección de escogencia del equipo, lo ideal para este proyecto es la utilización de un grupo turbina-generador como por ejemplo el modelo Michell – Banki R189 que posee las siguientes dimensiones: 100cm de largo, 70cm de ancho, una altura de 45cm, y pesa aproximadamente 120kg. Sin embargo, aunque se mencionó que va a ser un lugar pequeño, este sitio debe contar con el suficiente espacio para colocar el grupo turbina-generador, el tablero de control y cualquier otro elemento que se crea necesario, como por ejemplo un banco de baterías. Al mismo tiempo este lugar debe contar con el suficiente espacio para poder desplazarse con facilidad a la hora de instalar el equipo y darle mantenimiento. Además, el sitio debe contar con ciertas características específicas, como por ejemplo una buena ventilación y construirse con elementos de mampostería de concreto (bloques), o elementos prefabricados, también de concreto, para evitar que se presenten daños o robos.

Con base en estos datos es que se propone las siguientes dimensiones para la casa de máquinas.

<b>CUADRO 17. DIMENSIONES DE LA PEQUEÑA CASA DE MAQUINAS</b>		
<b>Largo (m)</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Altura (m)</b>
4	3,5	2,4

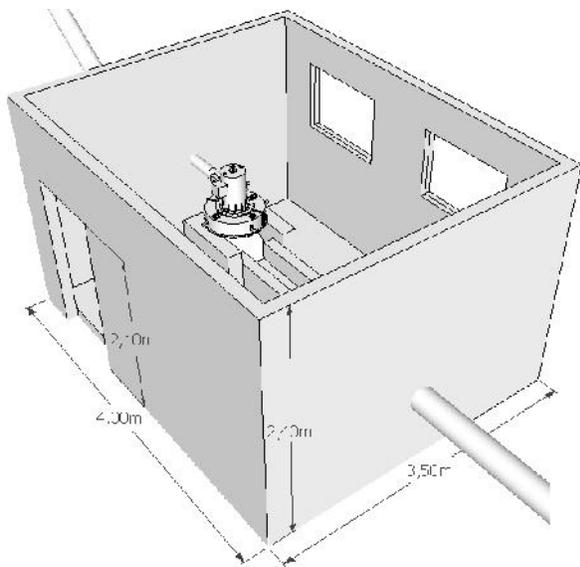


Figura 42. Dimensiones propuestas para la casa de máquinas

## Tanque de carga

El proceso de generación de energía hidroeléctrica es un proceso limpio, ya que, únicamente se utiliza la energía contenida en el agua para hacer girar una turbina, por lo que en ningún momento este recurso se ve afectado por agentes contaminantes. Por tal motivo, desde el principio nace la idea de ubicar un tanque para almacenar el agua turbinada y analizar la posibilidad de inyectarla al flujo del acueducto de El Rodeo de Tarrazú. Sin embargo, durante el desarrollo del proyecto se analizaron las condiciones que se presentan y se llegó a la conclusión que de la manera como está planteado este proyecto no se recomienda la construcción de esta estructura, pues el acueducto está diseñado por gravedad y el sitio donde se ubicaría este tanque se encuentra por debajo de algunos puntos por donde pasa la tubería del sistema, por lo que se recomienda desarrollar un proyecto de forma independiente.

Por otra parte, cabe la posibilidad de desarrollar este proyecto siguiendo este modelo del tanque de carga, pero para ello se debe reubicar el sitio de casa de máquinas y el ya mencionado tanque, por lo que se perdería caída y por consiguiente la potencia generada sería menor. De igual forma, se proponen las dimensiones para esta estructura y queda a

criterio de Coopesantos R.L y de algunos estudios posteriores desarrollar el proyecto bajo este modelo, analizando siempre las ventajas y desventajas que esto representa.

Las siguientes dimensiones se proponen, con base en diferentes factores, como por ejemplo, el tamaño y características del terreno, la tubería de entrada y la tubería de salida, además se busca contar con un volumen de al menos 10m<sup>3</sup> para que esta columna de agua ejerza la presión suficiente para que el agua recorra el tramo de tubería sin ningún problema. Además, con la construcción de un tanque con estas medidas si en algún momento se presenta un inconveniente en el sistema se puede contar con esta cantidad de agua almacenada.

**CUADRO 18. DIMENSIONES DEL TANQUE DE CARGA**

Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)
2	2	2,75

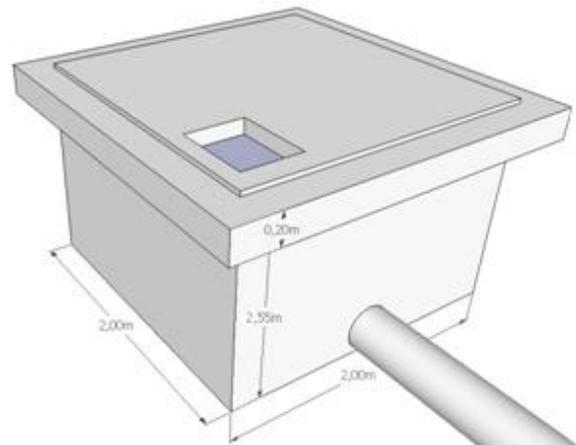


Figura 43. Dimensiones propuestas para el tanque de carga

Fuente: Modelos elaborados con el programa "Google Sketchup"

## Tubería a presión

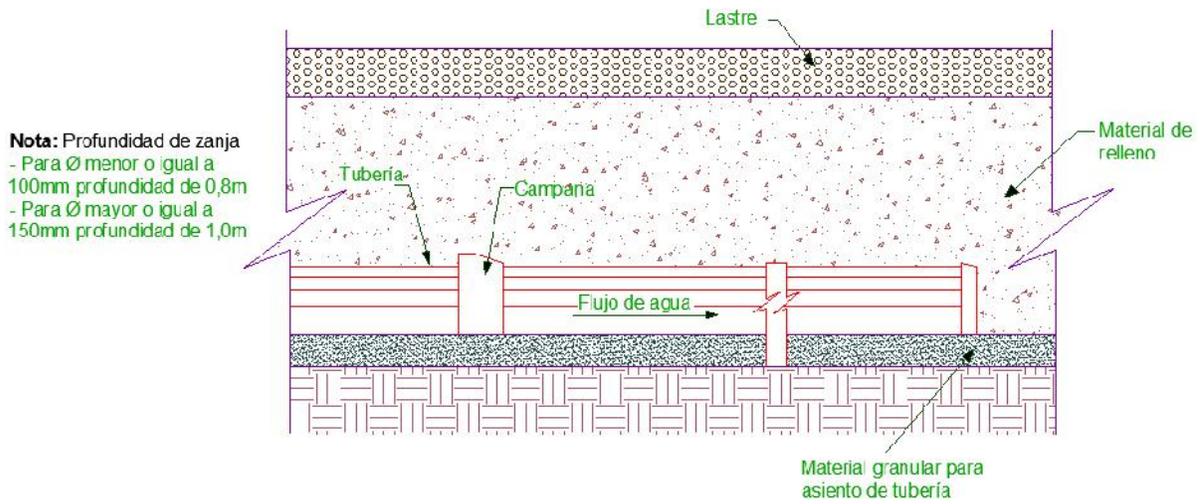


Figura 44. Detalle de la colocación de la tubería

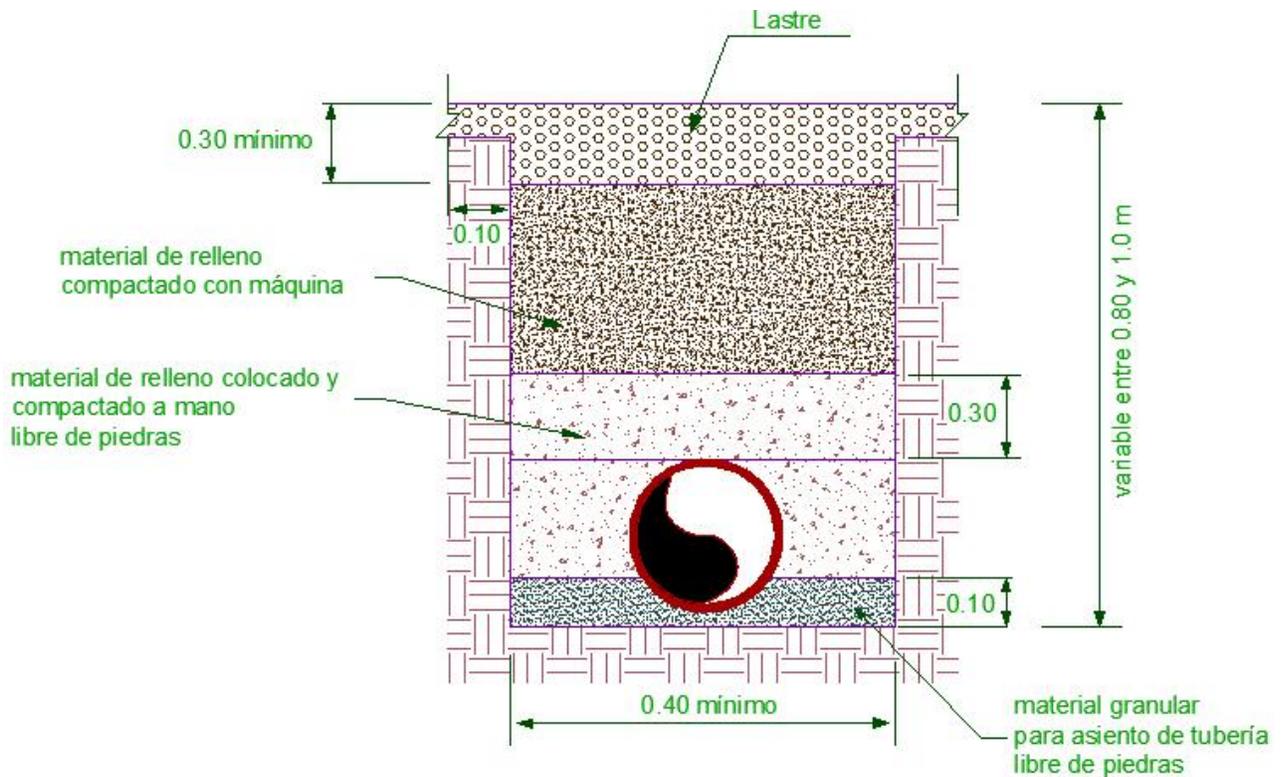


Figura 45. Perfil de la tubería

Fuente: Elaborados con el programa "autoCAD"

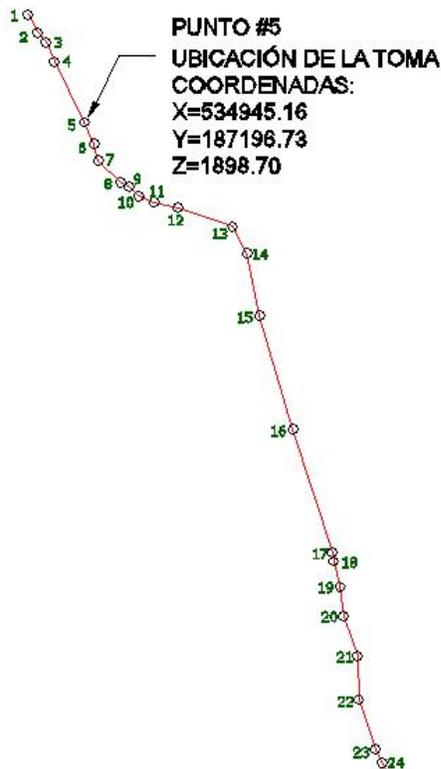


Figura 46. Tramos de tubería del punto 1 al 24

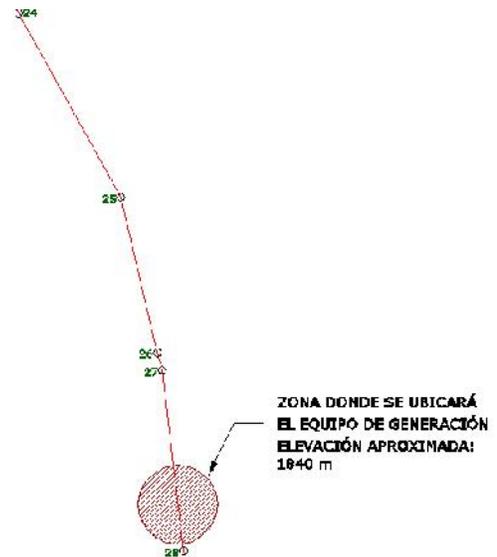


Figura 47. Tramos de tubería del punto 24 al 28

Fuente: Elaborados con el programa "autoCAD"

Se debe colocar tuberías de PVC SDR 26 a fin de garantizar, no solo la resistencia por presiones de trabajo, sino también previendo las condiciones del terreno y posible sometimiento a presiones por aplastamiento.

Como lo indica la nota en la figura 45, toda la tubería se debe colocar a una profundidad no menor de 80cm, y la zanja debe tener un ancho mínimo de 40cm.

Para este proyecto se pueden utilizar dos tipos de tubería, el primero sería PVC SDR 26 Ø 150 mm y el segundo caso sería un pequeño tramo donde se puede colocar tubería PVC SDR 26 Ø 100 mm para aumentar la velocidad del fluido. Este tramo sería específicamente el comprendido entre los puntos 19 y 23 como se muestra en el apéndice 2. En los demás tramos de debe mantener la tubería de Ø 150 mm.

**CUADRO 19. LONGITUD DE LA TUBERIA A COLOCAR,  
PUNTOS DEL 5 AL 28**

PUNTO	ELEVACIÓN (m)	TRAMO	DISTANCIA (m)
5	1898,7	4-5	
6	1897,63	5-6	7,46
7	1896,37	6-7	5,23
8	1893,55	7-8	9,54
9	1892,86	8-9	3,27
10	1892,4	9-10	3,82
11	1889,95	10-11	5,13
12	1890,29	11-12	7,82
13	1888,11	12-13	17,82
14	1887,37	13-14	9,52
15	1885,23	14-15	19,74
16	1880,62	15-16	36,72
17	1876,29	16-17	40,36
18	1874,62	17-18	2,71
19	1871,69	18-19	8,16
20	1866,11	19-20	9,12
21	1868,95	20-21	13,10
22	1865,65	21-22	13,66
23	1866,79	22-23	16,27
24	1867,38	23-24	4,54
25	1860,93	24-25	79,09
26	1850,74	25-26	59,84
27	1850,07	26-27	6,70
28	1838,28	27-28	68,27
<b>TOTAL</b>			<b>448</b>

Fuente: Cuadro elaborado con el programa "Excel"

# Producto

# Presupuesto preliminar

Con base en el diseño propuesto, se elabora un presupuesto general de las mejoras por realizar y las estructuras a construir, esto para efectos de prefactibilidad del proyecto, los costos de

elementos como tuberías y accesorios, incluyen precios de mercado a julio del 2012 y otros costos son globales.

<b>CUADRO 20. COSTO DEL SISTEMA DE TUBERIA</b>					
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LONGITUD (m)</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO ¢</b>	<b>COSTO TOTAL (IVI)</b>
TUBO PVC SDR 26 Ø 150 mm, con empaque	unidad	387,6	69	98000	6.762.000
TUBO PVC SDR 26 Ø 100 mm, con empaque	unidad	60,31	12	47000	564.000
REDUCCION LISA PVC Ø (150 X 100) mm	unidad	-	2	15000	30.000
MANO DE OBRA (EXCAVACIÓN, COLOCACIÓN DE LA TUBERÍA Y RELLENO DE ZANJA)	m	447,91	-	2500	1.119.775
<b>TOTAL</b>					<b>8.475.775</b>

<b>CUADRO 21. COSTO DE LA LINEA DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO ¢</b>	<b>COSTO TOTAL (IVI)</b>
POSTE DE MADERA 35-5	unidad	20	123396	2.467.920
CONDUCTOR ALUMINIO #2	m	2500	293,8	734.500
ALAMBRE DE COBRE #4	m	345	1310,35	452.071
ALAMBRE DE COBRE #6	m	3	840,27	2.521
VARILLA CONEX-TIERRA 10 PIES	unidad	24	8578,96	205.895
VARILLA P/ANCLA 3/4 x 6	unidad	44	7691,68	338.434
CABLE DE ACERO 3/8	m	880	358,44	315.427
OTROS ACCESORIOS	unidad	-	-	1.790.927
MANO DE OBRA (PRIMARIO)	-	200	8900	1.780.000
INSPECCIÓN	-	1	15000	15.000
HORA GRÚA	hora	10	55000	550.000
TRANSPORTE	-	3500	507	1.774.500
INGENIERIA	-	1	25000	25.000
<b>TOTAL</b>				<b>10.452.195</b>

## CUADRO 22. COSTO DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO ¢	COSTO TOTAL (IVI)
<b>ESTRUCTURA TANQUE</b>				
CONCRETO ARMADO	m3	4,5	135000	607.500
ENCHAPE	m2	26	8000	208.000
PINTURA	m2	30	1800	54.000
<b>TOTAL</b>				<b>869.500</b>
<b>ENTRADA AL TANQUE</b>				
CODO PVC 90° Ø 150 mm	unidad	2	22280	44.560
CODO PVC 45° Ø 150 mm	unidad	1	20600	20.600
VALVULA DE COMPUERTA Ø 150 mm	unidad	1	186000	186.000
ADAPTADOR MACHO PVC Ø 150 mm	unidad	2	5200	10.400
UNION DE TOPE PVC Ø 150 mm	unidad	1	35800	35.800
UNION DE TRANSICIÓN PVC Ø 150 mm	unidad	1	42000	42.000
CUBRE VALVULAS	unidad	1	15000	15.000
TAPA METALICA DE (60 X 60)	unidad	1	75000	75.000
<b>TOTAL</b>				<b>429.360</b>
<b>SALIDA DEL TANQUE</b>				
CODO PVC 45° Ø 150 mm	unidad	1	20600	20.600
VALVULA DE COMPUERTA HF Ø 150 mm	unidad	1	186000	186.000
FLANYER CON TORNILLO Y EMPAQUE Ø 150 mm	unidad	2	12500	25.000
UNIONES DRESSER Ø 150 mm	unidad	1	35800	35.800
CUBRE VALVULAS	unidad	1	15000	15.000
<b>TOTAL</b>				<b>282.400</b>
<b>LAVADO Y REVALSE</b>				
TEE LISA PVC Ø 100 mm	unidad	1	11000	11.000
CODO PVC 90° Ø 100 mm	unidad	1	7800	7.800
VALVULA DE COMPUERTA Ø 100 mm	unidad	1	110000	110.000
ADAPTADOR MACHO PVC Ø 100 mm	unidad	2	4400	8.800
UNION DE TOPE PVC Ø 100 mm	unidad	1	24250	24.250
UNION DE TRANSICIÓN PVC Ø 100 mm	unidad	1	33800	33.800
CUBRE VALVULAS	unidad	1	15000	15.000
TUBO Ø 100 mm SDR 26 PVC	unidad	4	44550	178.200
<b>TOTAL</b>				<b>388.850</b>

### CUADRO 23. COSTO DE MANO DE OBRA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO ¢	COSTO TOTAL (IVI)
ESTRUCTURA TANQUE	H-H	286	1600	457.600
ENTRADA AL TANQUE	H-H	16	1900	30.400
SALIDA DEL TANQUE	H-H	16	1900	30.400
LAVADO Y REVALSE	H-H	24	1900	45.600
<b>TOTAL</b>				<b>564.000</b>

**TOTAL CONSTRUCCIÓN TANQUE (Materiales + Mano de obra)**

**2.534.110**

### CUADRO 24. COSTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA CASA DE MAQUINAS

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO (Mater y Mobra)	COSTO TOTAL (IVI)
BODEGA	UNIDAD	1	90000	90.000
LIMPIEZA DE TERRENO	m2	14	600	8.400
ZANJEO	m3	4,5	2500	11.250
CONCRETO ARMADO	m3	1,8	125000	225.000
PAREDES BLOCK	m2	33,2	14000	464.800
CONTRAPISO	m2	14	9000	126.000
COLUMNAS	m3	0,64	135000	86.400
VIGAS	m3	0,875	135000	118.125
CUBIERTA TECHO	m2	21	8000	168.000
CERCHAS DE RT	m2	12,9	15000	193.500
TAPICHEL	m2	8,6	12000	103.200
REPELLOS	m2	75	1000	75.000
MARCOS Y PUERTAS	UNIDAD	1	60000	60.000
PINTURA	m2	75	1800	135.000

**TOTAL CONSTRUCCIÓN CASA MAQUINAS (Materiales + Mano de obra)**

**1.864.675**

### CUADRO 25. COSTO DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL DESARENADOR

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO ¢	COSTO TOTAL (IVI)
<b>ESTRUCTURA DESARENADOR</b>				
CONCRETO ARMADO	m3	2,8	135000	378.000
ENCHAPE	m2	22	8000	176.000
PINTURA	m2	11	1800	19.800
<b>TOTAL</b>				<b>573.800</b>
<b>ENTRADA AL DESARENADOR</b>				
CODO PVC 90° Ø 150 mm	unidad	1	22280	22.280
VALVULA DE COMPUERTA Ø 150 mm	unidad	1	186000	186.000
ADAPTADOR MACHO PVC Ø 150 mm	unidad	2	5200	10.400
UNION DE TOPE PVC Ø 150 mm	unidad	1	35800	35.800
UNION DE TRANSICIÓN PVC Ø 150 mm	unidad	1	42000	42.000
<b>TOTAL</b>				<b>296.480</b>
<b>SALIDA DEL DESARENADOR</b>				
CODO PVC 45° Ø 150 mm	unidad	1	20600	20.600
UNION DRESSER Ø 150 mm	unidad	1	35800	35.800
<b>TOTAL</b>				<b>56.400</b>
<b>LAVADO Y REVALSE</b>				
TEE LISA PVC Ø 100 mm	unidad	1	11000	11.000
CODO PVC 90° Ø 100 mm	unidad	1	7800	7.800
VALVULA DE COMPUERTA Ø 100 mm	unidad	1	110000	110.000
ADAPTADOR MACHO PVC Ø 100 mm	unidad	2	4400	8.800
UNION DE TOPE PVC Ø 100 mm	unidad	1	24250	24.250
TUBO Ø 100 mm SDR 26 PVC	unidad	1	44550	44.550
<b>TOTAL</b>				<b>206.400</b>

### CUADRO 26. COSTO DE MANO DE OBRA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL DESARENADOR

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO ¢	COSTO TOTAL (IVI)
ESTRUCTURA	H-H	258	1600	412.800
ENTRADA AL DESARENADOR	H-H	12	1900	22.800
SALIDA DEL DESARENADOR	H-H	12	1900	22.800
LAVADO Y REVALSE	H-H	12	1900	22.800
<b>TOTAL</b>				<b>481.200</b>

**TOTAL CONSTRUCCIÓN DESARENADOR (Materiales + Mano de obra)**

**1.614.280**

<b>CUADRO 27. OTROS GASTOS</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO ¢</b>	<b>COSTO TOTAL (IVI)</b>
GRUPO TURBINA-GENERADOR	unidad	1	7070000	7.070.000
MANO DE OBRA PARA LA INSTALACIÓN DE LA TURBINA	horas	10	8900	89.000
MEJORAS GLOBALES EN CAPTACIÓN (TOMA Y CONSTRUCCIÓN DE TANQUE)	Global	1	800000	720.000
MEJORAS EN LA ESTRUCTURA DE PASO ELEVADO A LA SALIDA DE LA NACIENTE	Global	1	600000	600.000
<b>TOTAL</b>				<b>8.479.000</b>

<b>CUADRO 28. RESUMEN DEL PRESUPUESTO DETALLADO</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>M DE OBRA</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>TOTAL</b>
SISTEMA DE TUBERIA	1119775	7356000	8.475.775
MEJORAS EN CAPTACIÓN	240000	480000	720.000
DESARENADOR	481200	1133080	1.614.280
CASA DE MAQUINAS	745870	1118805	1.864.675
EQUIPO ELECTROMECAÁNICO	89000	7070000	7.159.000
TANQUE DE ALMACENAMIENTO	564000	1970110	2.534.110
LINEA DE TRANSMISIÓN ELECTRICA	4144500	6307694	10.452.194
PASO ELEVADO DE TUBERIA	220000	380000	600.000
<b>SUBTOTALES</b>	<b>7604345</b>	<b>25815689</b>	<b>33.420.034</b>
<b>IMPREVISTOS (6%)</b>			<b>2.005.202</b>
<b>CARGAS SOCIALES (50%)</b>			<b>3.802.173</b>
<b>COSTO DIRECTO</b>			<b>39.227.409</b>
<b>GASTOS ADM. OPERACIÓN (5%)</b>			<b>1.961.370</b>
<b>UTILIDAD (10%)</b>			<b>4.118.878</b>

MONTO DEL PRESUPUESTO	COLONES	<b>¢45.307.657</b>
	DOLARES	<b>¢89.364</b>

Fuente: Cuadros elaborados con el programa "Excel"

# Conclusiones

En específico se puede concluir que:

- La potencia que mejor se ajusta para esta planta es de 7kw aproximadamente y operará con un factor de eficiencia del 80%
- El caudal mínimo esperado es de 17,7 litros por segundo representado en los meses más secos del año.
- La altura bruta del proyecto es aproximadamente 60 metros, sin embargo, el cálculo de la potencia se realizó con 53 metros, ya que se deben tomar en cuenta factores como la construcción del desarenador y las pérdidas de carga a lo largo de todo el sistema.
- Se debe colocar tuberías de PVC SDR 26 para garantizar la resistencia por presiones de trabajo.
- Se realizó el presupuesto del proyecto consultando precios actuales en el mercado y el costo estimado es **45 307 657**
- El tipo de fase del generador queda determinado como monofásico pues la potencia a generar es menor a los 10 kW.
- La producción esperada es de 61 320kWh al año.
- Actualmente el precio aproximado por cada kWh es de 65, por lo que el proyecto representará ventas cercanas a los 4,000,000 por año.
- El plazo de recuperación de la inversión es aproximadamente 10 años
- La elección del tipo de turbina y la potencia disponible de la planta, dependen de parámetros como la caída y el caudal con que se cuenta.
- Para este proyecto se puede utilizar cualquiera de los modelos propuestos en la sección de escogencia del equipo electromecánico. Puede ser un grupo turbina-generador tipo Pelton, Turgo o de flujo cruzado (Michell-Banki), sin embargo, queda a criterio de Coopesantos R.L, la escogencia de uno en específico, ya que se deben tomar en cuenta otros factores como el económico, y la facilidad para adquirirlo.

- Queda completamente descartado el uso de turbinas tipo Francis y Kaplan, ya que este tipo de turbinas se utilizan en condiciones de gran caudal y poca caída, por lo que no cumplen con las condiciones para este proyecto en específico.
- Los costos reales del equipo electromecánico son muy difíciles de conocer, sin embargo la mejor manera de estimar estos costos, es mediante una solicitud directa de los precios al fabricante, pues cada proyecto presenta ciertas características en específico. Además, se debe tener en cuenta que una cotización puede variar considerablemente de un fabricante a otro, por distintas razones; por ejemplo los materiales utilizados para su elaboración, el envío ó plazos de entrega.
- El diseño se llevo a cabo, tomando en cuenta las condiciones existentes en el sitio, sin embargo, se puede realizar mejoras en la captación, ya que existe gran cantidad de agua que no se está utilizando y de esta forma aumentar la potencia generada, y recortar el periodo de recuperación de la inversión.
- Se intentó plantear el proyecto a través de un convenio con el acueducto de El Rodeo de Tarrazú, con lo que se buscaba realizar mejoras en algunas estructuras, y a la vez poder utilizarlas, sin embargo, se realizaron algunas pruebas posteriores y se llegó a la conclusión que no es recomendable, pues dicho acueducto está diseñado por gravedad y el sitio de casa de máquinas está por debajo de algunos puntos por donde pasa la tubería del acueducto, por lo que al finalizar el proceso y almacenar el caudal turbinado en un tanque no será posible inyectarlo nuevamente a la trayectoria del flujo.

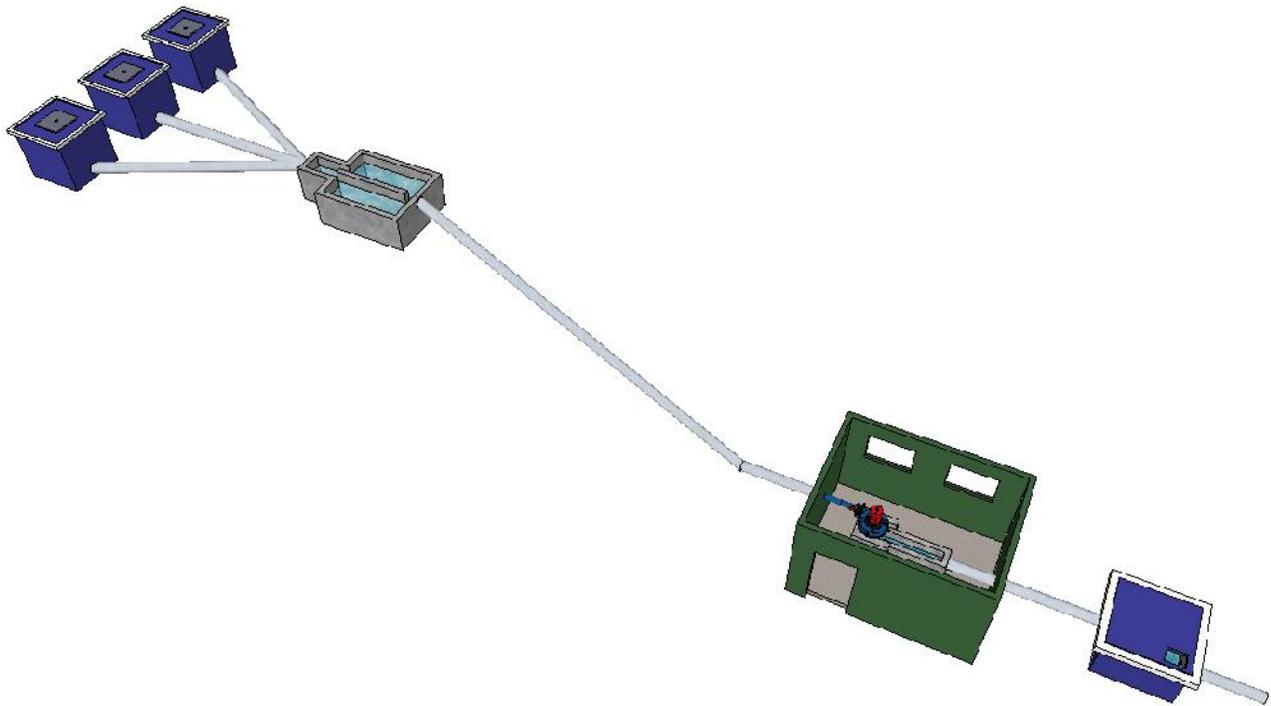
# Recomendaciones

- Para poder llevar a cabo este proyecto se deben realizar una serie de estudios previos en el sitio, además se debe diseñar y construir todos los elementos de acuerdo a los códigos y reglamentos correspondientes. (código sísmico, código de cimentaciones, estudio de impacto ambiental).
- Se recomienda realizar un diseño detallado de cada uno de las estructuras propuestas, ya que para este proyecto se realizó un dimensionamiento de los elementos únicamente para efectos de prefactibilidad económica, por lo que esto también puede reflejarse en los costos finales.
- Para este tipo de proyectos se debe contar con una serie de datos hidrológicos de al menos un año, para poder observar el comportamiento del caudal a lo largo de todos los meses, ya que un solo valor instantáneo no es significativo.
- Una vez finalizado el proceso de generación de energía, se recomienda restituir el caudal turbinado al cauce de la quebrada Lora, la cual se encuentra a unos pocos metros del sitio de casa de máquinas.
- Lo ideal es desarrollar un proyecto independiente de las estructuras del acueducto, pero, si se decide continuar con la idea de llevar a cabo un proyecto conjunto, lo que se debe hacer es trasladar hacia un sitio más elevado (aproximadamente hasta los 1860m) la ubicación de la casa de máquinas y el tanque de almacenamiento. Sin embargo, se debe tener en cuenta que con esto se pierde caída, y de esta forma la potencia generada será menor y por consiguiente disminuirán las ganancias por año y aumentará el periodo de recuperación de la inversión.

# Apéndices

# Apéndice 1

## MODELO GENERAL DEL PROYECTO.



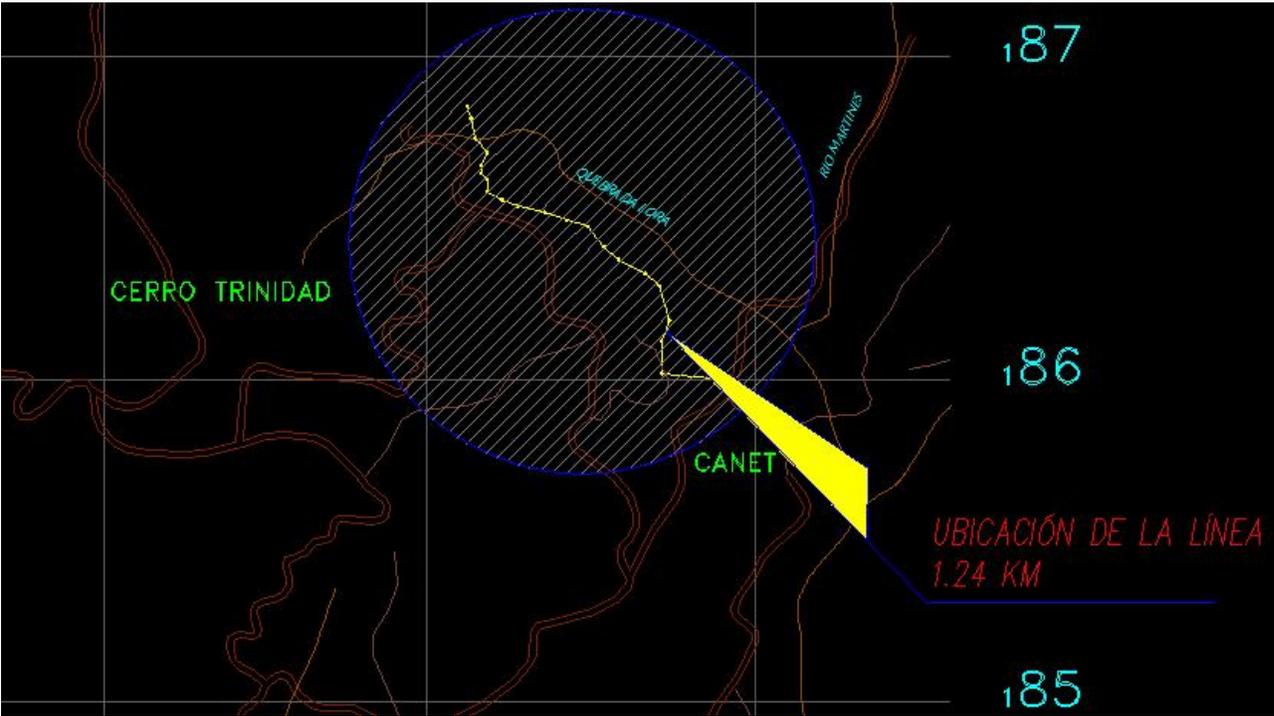
## Apéndice 2

### CÁLCULOS HIDRÁULICOS PARA EL DISEÑO DE LA TUBERÍA A PRESIÓN, EN LOS DIFERENTES TRAMOS DEL PROYECTO.

PUNTO	Dist. Acumulada (m)	Elevación. (m)	Ø nominal (pulg)	material.	Caudal Diseño (l/s)	Ø real (mm)	Coef. Rugosidad	HF (m)	VELOC. (m/s)	PEND. (%)	CELE (m/s)
5	0,00	1898,70							0	0	0,00
6	7,46	1897,63	6	pvc	17,17	150	130	0,054	1,00	14,3	338,64
7	12,69	1896,37	6	pvc	17,17	150	130	0,038	1,00	24,1	338,64
8	22,23	1893,55	6	pvc	17,17	150	130	0,069	1,00	29,6	338,64
9	25,50	1892,86	6	pvc	17,17	150	130	0,024	1,00	21,1	338,64
10	29,32	1892,40	6	pvc	17,17	150	130	0,027	1,00	12,0	338,64
11	34,45	1889,95	6	pvc	17,17	150	130	0,037	1,00	47,8	338,64
12	42,27	1890,29	6	pvc	17,17	150	130	0,056	1,00	-4,3	338,64
13	60,09	1888,11	6	pvc	17,17	150	130	0,128	1,00	12,2	338,64
14	69,61	1887,37	6	pvc	17,17	150	130	0,068	1,00	7,8	338,64
15	89,35	1885,23	6	pvc	17,17	150	130	0,142	1,00	10,8	338,64
16	126,07	1880,62	6	pvc	17,17	150	130	0,264	1,00	12,6	338,64
17	166,43	1876,29	6	pvc	17,17	150	130	0,290	1,00	10,7	338,64
18	169,14	1874,62	6	pvc	17,17	150	130	0,019	1,00	61,6	338,64
19	177,30	1871,69	4	pvc	17,17	100	130	0,423	2,25	35,9	423,77
20	186,42	1866,11	4	pvc	17,17	100	130	0,472	2,25	61,2	423,77
21	199,52	1868,95	4	pvc	17,17	100	130	0,678	2,25	-21,7	423,77
22	213,18	1865,65	4	pvc	17,17	100	130	0,707	2,25	24,2	423,77
23	229,45	1866,79	4	pvc	17,17	100	130	0,842	2,25	-7,0	423,77
24	233,99	1867,38	6	pvc	17,17	150	130	0,033	1,00	-13,0	338,64
25	313,08	1860,93	6	pvc	17,17	150	130	0,568	1,00	8,2	338,64
26	372,92	1850,74	6	pvc	17,17	150	130	0,430	1,00	17,0	338,64
27	379,62	1850,07	6	pvc	17,17	150	130	0,048	1,00	10,0	338,64
28	447,89	1838,28	6	pvc	17,17	150	130	0,491	1,00	17,3	338,64

# Apéndice 3

## LEVANTAMIENTO REALIZADO PARA LA COLOCACIÓN DE LA LÍNEA ELÉCTRICA



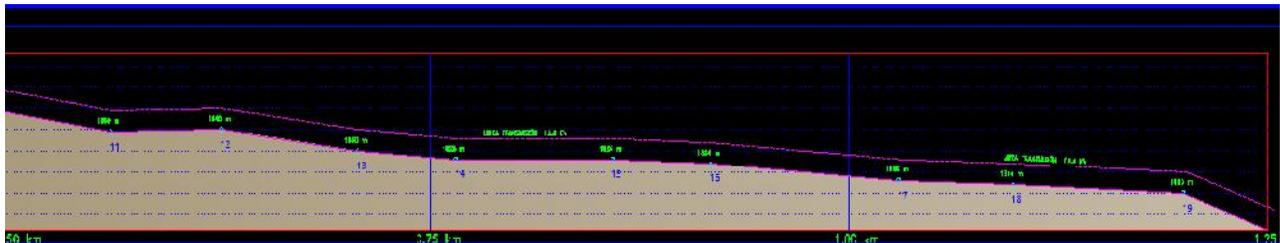
# Apéndice 4

## PERFIL DEL TERRENO DONDE SE UBICARÁ LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA.

- Primeros 500m, iniciando en casa de maquinas.



- De los 500m a los 1250 m (ubicación del primario más cercano)



# Anexos

# Anexo 1

## FÓRMULAS UTILIZADAS PARA LOS CÁLCULOS HIDRÁULICOS

- **Perdidas Longitudinales.**

### Fórmula de Hazen Williams.

$$H_f = \frac{10.675 * Q^{1.852} * L}{D^{4.87} * C^{1.852}}$$

### Donde:

H<sub>f</sub> = pérdidas por fricción longitudinales.

Q = caudal en m<sup>3</sup>/s

D = diámetro en metros

C = Coeficiente de Rugosidad de Hazen Williams. (C=130 para PVC, 100 para HG o HD)

L = longitud del tramo en metros.

- **Celeridad**

### Fórmula de Allievi

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + K \cdot \frac{D}{e}}}$$

Siendo:

K: Coeficiente función del módulo de elasticidad (ε) del material constitutivo de la tubería

$$K = \frac{10^{10}}{\varepsilon}$$

D: Diámetro interior de la tubería

e: Espesor de la tubería

# Anexo 2

## PÉRDIDAS DE CARGA EN ACCESORIOS.

Longitud equivalente de tubería recta en metros.

Diámetro del tubo	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	500	600	700
Curva 90°	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1	1,2	1,8	2	3	5	5	6	7	8	14	16
Codo 90°	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,3	1,7	2,5	2,7	4	5,5	7	8,5	9,5	11	19	22
Cono difusor	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Válvula de pie	6	7	8	9	10	12	15	20	25	30	40	45	55	60	75	90	100
Válvula de retención	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	35	40	50	60	75	85
V. Compuerta Abierta	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1,5	2	2	2	2,5	3	3,5	4	5
V. Compuerta <sup>3</sup> / <sub>4</sub> Abierta	2	2	2	2	2	2	4	4	6	8	8	8	10	12	14	16	20
V. Compuerta <sup>1</sup> / <sub>2</sub> Abierta	15	15	15	15	15	15	30	30	45	60	60	60	75	90	105	120	150

\* Valores aproximados, variables con la calidad de los accesorios.

# Anexo 3

## VELOCIDAD ESPECÍFICA EN TURBINAS

$$N_s = 1.2 \times N \times \frac{P^{0.5}}{H^{1.25}}$$

**Donde:**

Ns: Velocidad específica de la turbina.

N: Velocidad en el eje de la turbina, en r.p.m.

P: Potencia disponible en el eje de la turbina, en kW.

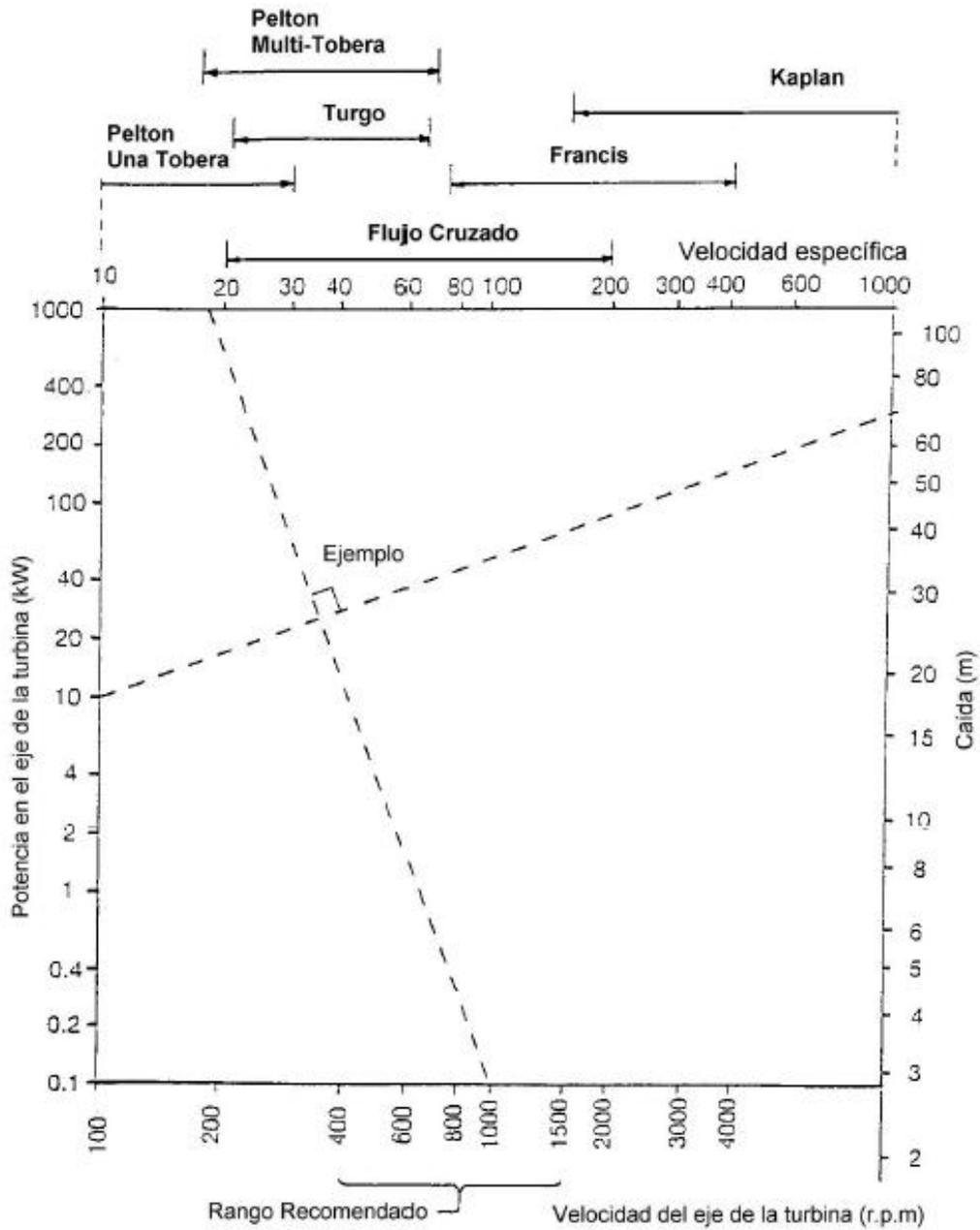
H: caída efectiva (m)

Se ha establecido que las turbinas funcionan con las mejores eficiencias si su velocidad específica se encuentra dentro del ámbito de valores presentados en la siguiente tabla.

Tipo de turbina	Ns
Pelton de una tobera	12 - 30
Pelton de dos toberas	14 - 40
Turgo	20 - 70
Michell-Banki (Flujo Cruzado)	20 - 200
Francis	80 - 400
Kaplan (Axial)	140 - 1000

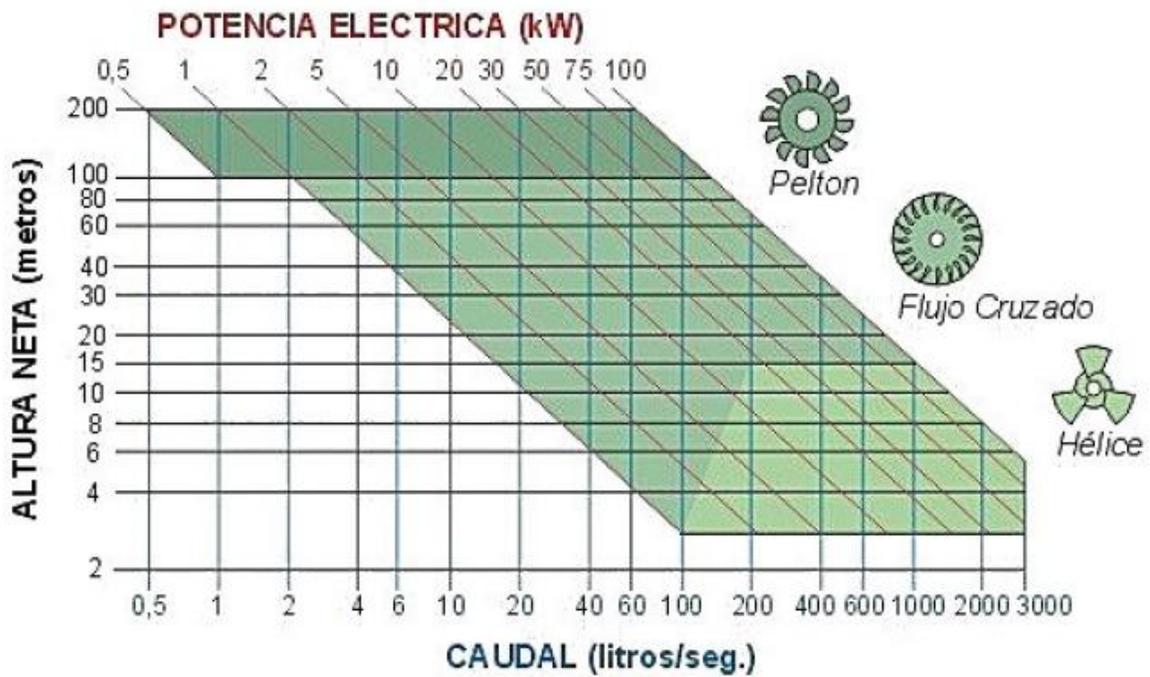
# Anexo 4

NOMOGRAMA UTILIZADO PARA LA SELECCIÓN DE TURBINAS



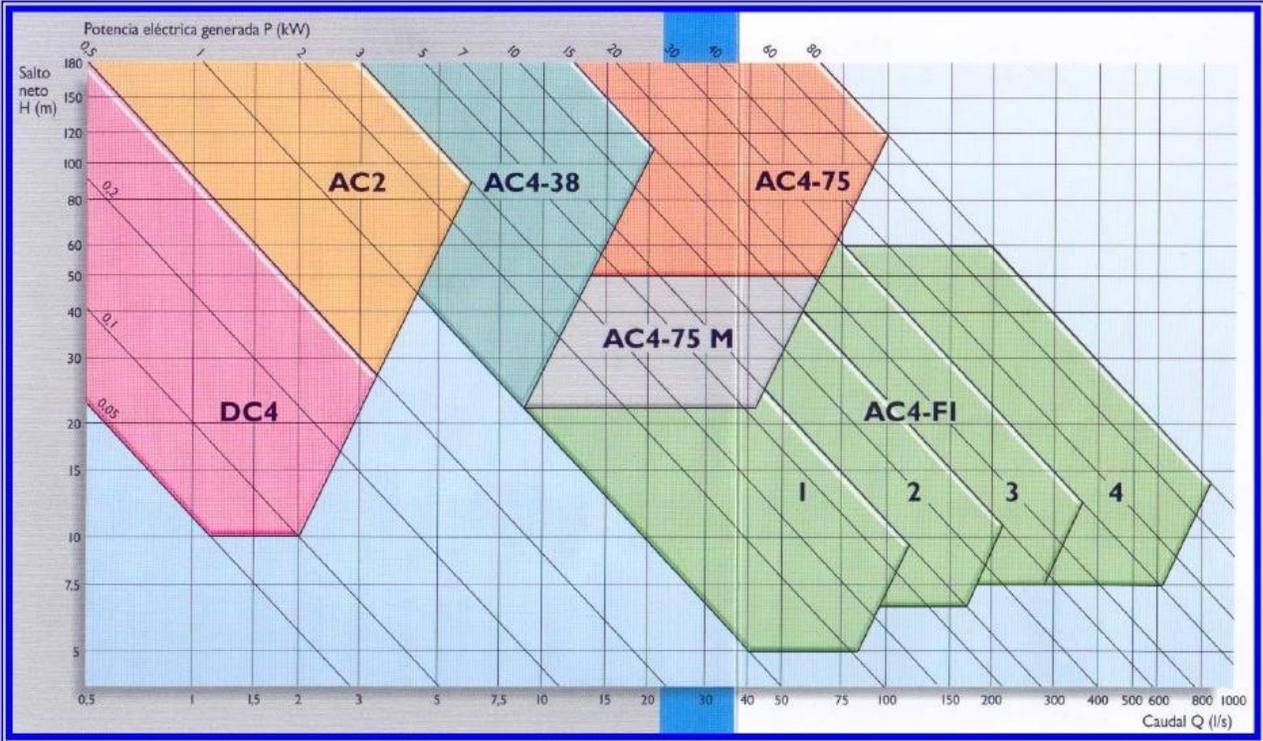
# Anexo 5

GRÁFICO PARA LA SELECCIÓN DE TURBINAS DE LA EMPRESA SAVOIA GENERATORS



# Anexo 6

**NOMOGRAMA UTILIZADO PARA LA ESCOGENCIA DE EQUIPOS (TURBINA-GENERADOR)  
EMPRESA IREM (ECOWATT)**



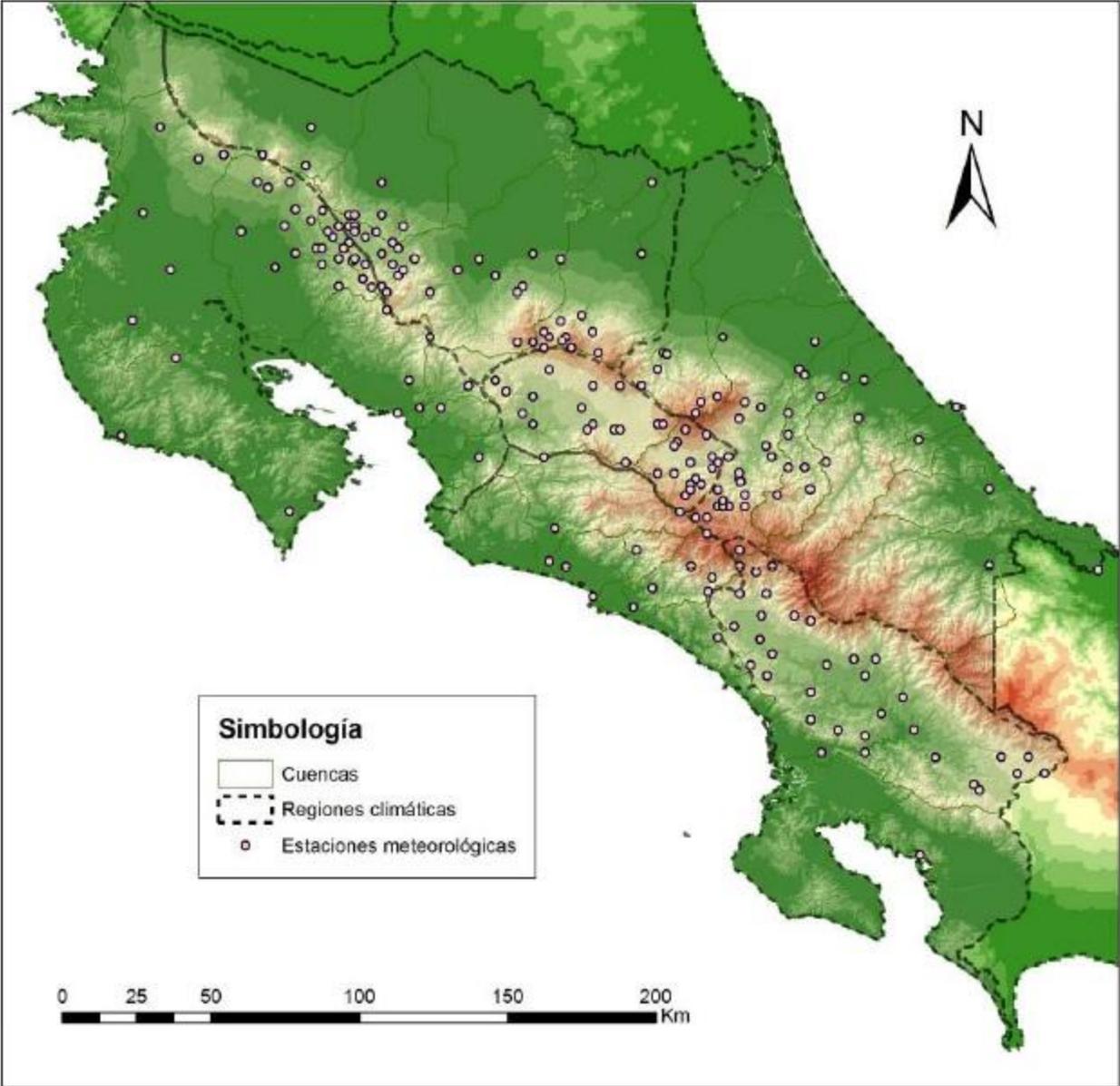
# Anexo 7

**TABLA RESUMEN PARA LA ESCOGENCIA DE TURBINAS**

<b>Tipo de turbina</b>	<b>Pelton</b>	<b>Turgo</b>	<b>Michell-Banki</b>	<b>Francis</b>	<b>Kaplan</b>
En caudales de:	0.5 – 250 L/s	90 – 450 L/s	2 - 1000 L/s	110 – 1100 L/s	100 – 3000 L/s
En caídas de:	30 – 500 m	30 – 100 m	3 – 100 m	10 – 100 m	3 – 15 m
Velocidad específica	12 - 40	20 - 70	20 - 200	80 - 400	140 - 1000
Eficiencia aproximada	70 - 80%	80%	65 - 70%	90%	90%

# Anexo 8

## UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN CR



# Anexo 9

## INFORMES DE PRECIPITACIÓN BRINDADOS POR LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA ABEJONAL.

- **Últimos 3 meses del año 2008.**

### ANNUAL CLIMATOLOGICAL SUMMARY

NAME: APACOACOPIO CITY: STATE:  
 ELEV: 1898 m LAT: 9° 42' 26" N LONG: 84° 03' 31" W

#### PRECIPITATION (mm)

YR	MO	TOTAL	DEP. FROM NORM	MAX OBS. DAY	DATE	DAYS OF RAIN OVER		
						.2	2	20
08	1							
08	2							
08	3							
08	4							
08	5							
08	6							
08	7							
08	8							
08	9							
08	10	752.8	0.0	103.2	12	23	14	11
08	11	198.1	0.0	43.2	6	26	16	3
08	12	26.8	0.0	10.4	3	24	3	0
		977.8	0.0	103.2	OCT	73	33	14

- **Año 2009.**

### ANNUAL CLIMATOLOGICAL SUMMARY

NAME: APACOACOPIO CITY: STATE:  
 ELEV: 1898 m LAT: 9° 42' 26" N LONG: 84° 03' 31" W

#### PRECIPITATION (mm)

YR	MO	TOTAL	DEP. FROM NORM	MAX OBS. DAY	DATE	DAYS OF RAIN OVER		
						.2	2	20
09	1	9.4	0.0	2.0	7	10	1	0
09	2	10.2	0.0	2.8	4	12	2	0
09	3	72.2	0.0	66.2	31	12	2	1
09	4	11.1	0.0	3.6	3	18	1	0
09	5	634.2	0.0	71.4	19	30	23	15
09	6	618.0	0.0	70.0	5	30	25	10
09	7	124.2	0.0	29.4	5	26	12	2
09	8	218.8	0.0	54.8	19	29	11	3
09	9	280.6	0.0	46.0	17	23	12	6
09	10	387.2	0.0	59.4	29	29	20	9
09	11	261.1	0.0	75.8	4	30	11	5
09	12	32.2	0.0	9.2	24	24	4	0
		2659.2	0.0	75.8	NOV	273	124	51

# INFORME DE PRECIPITACIÓN BRINDADO POR LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA SAN ANDRÉS.

- **Año 2010.**

ANNUAL CLIMATOLOGICAL SUMMARY

NAME: San Andres CITY: STATE:  
 ELEV: 1423 m LAT: 9° 42' 00" N LONG: 84° 06' 00" W

PRECIPITATION (mm)

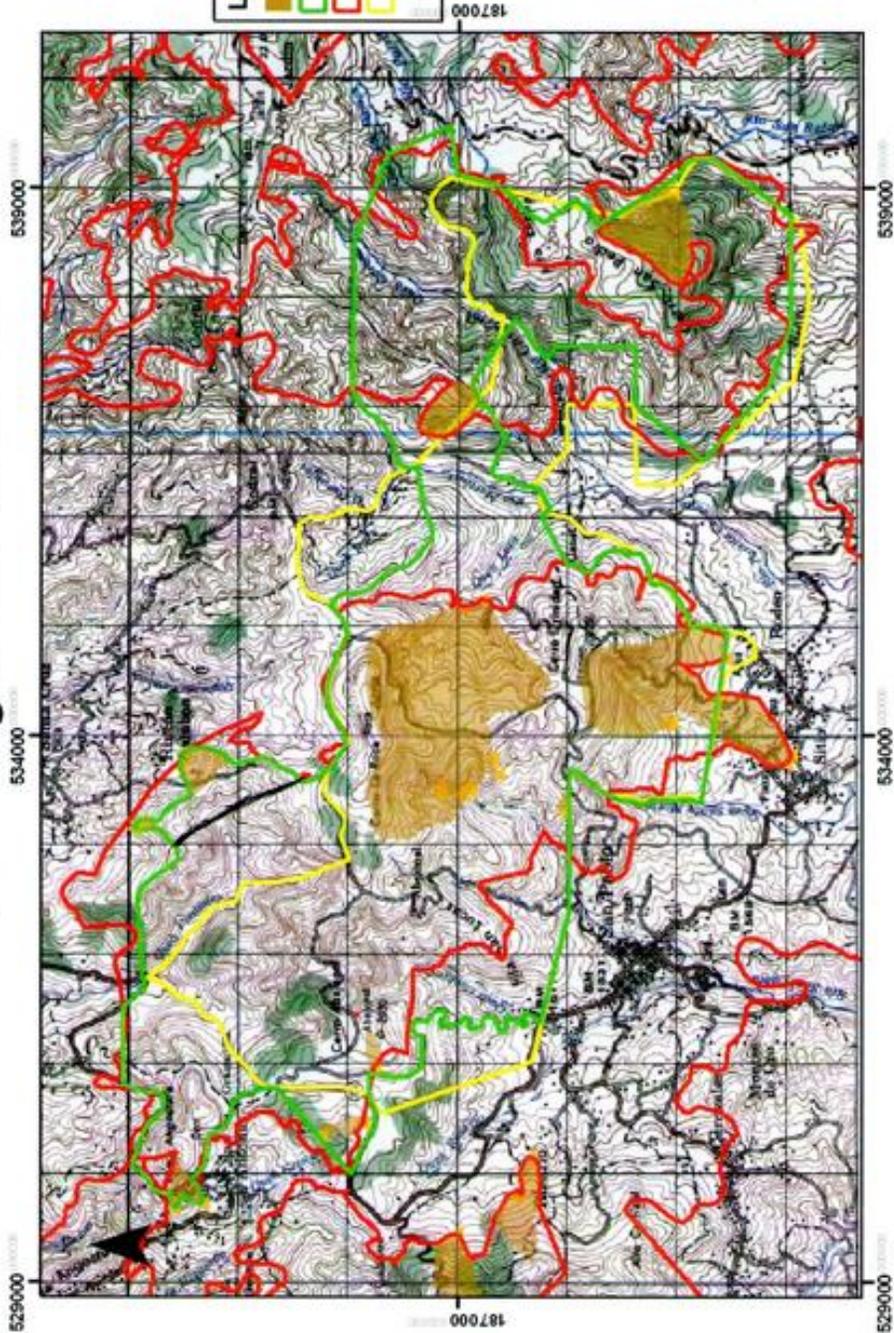
YR	MO	TOTAL	DEP. FROM NORM	MAX OBS. DAY	DATE	DAYS OF RAIN OVER		
						.2	2	20
10	1	0.2	0.0	0.2	23	1	0	0
10	2	12.8	0.0	12.4	23	2	1	0
10	3	0.0	0.0	0.0	1	0	0	0
10	4	165.0	0.0	48.6	28	16	6	4
10	5	202.8	0.0	60.0	23	22	15	4
10	6	225.8	0.0	46.0	3	27	19	1
10	7	236.3	0.0	66.0	20	24	16	2
10	8	345.8	0.0	39.6	31	24	21	10
10	9	447.4	0.0	65.6	28	29	26	6
10	10	293.8	0.0	58.0	24	19	13	6
10	11	364.8	0.0	127.4	3	15	9	5
10	12	19.8	0.0	10.0	2	11	3	0
		2314.5	0.0	127.4	NOV	190	129	38

# Propuesta de Zona Protectora de los cerros de Tarrazú Región de Los Santos



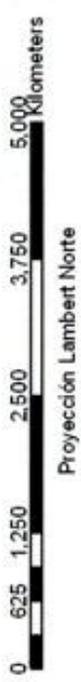
## Leyenda

- Áreas de recarga acuífera
- límites\_propuestos
- zona\_propuesta04
- Zona Propuesta MINAE
- Sitios de captación



Elaborado por Edwin Alpizar  
Según análisis de variables hidrológicas,  
verificación de campo y consulta con expertos  
Febrero del 2007  
San José, Costa Rica

Con el apoyo de  
**Hivos**



Mapa anexo 2

# Anexo 10

ECUACIONES PARA CALCULAR EL COSTO UNITARIO DE ALGUNAS TURBINAS UTILIZADAS EN MICROCENTRALES HIDROELÉCTRICAS.

Tipo de turbina	Ecuación para el costo unitario en US\$/kW
Francis	$C_{kW} = \frac{3080.9}{P^{0.3119}}$
Turgo	$C_{kW} = \frac{1794.3}{P^{0.233}}$
Pelton	$C_{kW} = \frac{1427.2}{P^{0.2406}}$
Flujo Cruzado	$C_{kW} = \frac{1069.7}{P^{0.2522}}$

**Donde:**

CkW = Costo por kW disponible en el eje de la turbina (Costo unitario).

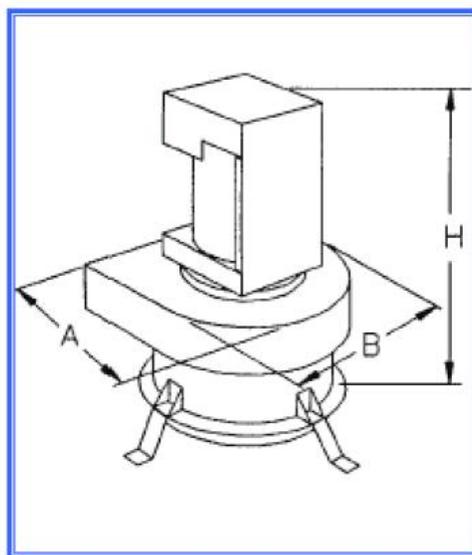
P = Potencia disponible en el eje de la turbina, en kW.

# Anexo 11

## DIMENSIONES Y PESOS DE MICROTURBINAS EMPRESA IREM (ECOWATT)

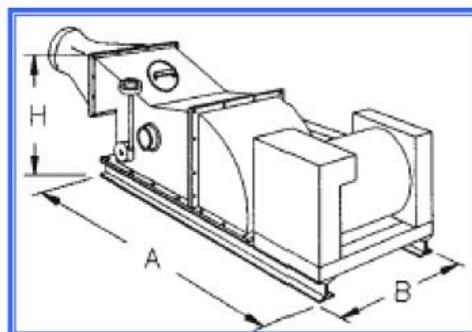
### Tipo Pelton

MODELO	P <sub>max</sub> (kW)	A (mm)	B (mm)	H (mm)	V (m <sup>3</sup> )	W (kg)
DC4	0,5	300	400	350	0,042	13
AC2	3	300	400	600	0,072	13
AC4-38	7	650	650	950	0,400	100
	15	750	750	1050	0,590	110
AC4-75M	15	900	900	1400	1,134	260
AC4-75	15	900	900	1250	1,250	210
	30	1050	1050	1350	1,488	230
	60	1050	1050	1450	1,600	300



### Michell Banki ( Flujo Cruzado)

MODELO	P <sub>max</sub> (kW)	A (mm)	B (mm)	H (mm)	V (m <sup>3</sup> )	W (kg)
F11	7	1050	600	450	0,284	270
F12	15	1400	800	600	0,672	400
F13	30	1750	1750	750	1,313	520
F14	30	2900	1400	900	3,650	950
	60	2900	1400	900	3,650	1050



# Anexo 12

## CARACTERÍSTICAS DE GRUPOS TURBINA-GENERADOR EMPRESA IREM (ECOWATT)

<p><b>Modelo AC 2:</b> Turbina Pelton con distribuidor de 6 inyectores, Generador Sincrónico monofásico autoexcitado, sin escobillas, 2 polos, 230V, 50 Hz. Regulador electrónico de cargas, protecciones y tablero de control. Potencias de 0.5 a 3 kW.</p>	
<p><b>Modelo AC 4-38:</b> Turbina Pelton con distribuidor de 6 inyectores y 3 válvulas de regulación, Generador Sincrónico trifásico autoexcitado, sin escobillas, 4 polos, 400/230V, 50/60 Hz. Regulador electrónico de cargas, protecciones y tablero de control. Potencias de 1 a 15 kW.</p>	

**Modelo AC 4-75:** Turbina Pelton con distribuidor de 6 inyectores y 4 válvulas de regulación, Generador Sincrónico trifásico autoexcitado, sin escobillas, 4 polos, 400/230V, 50/60 Hz. Regulador electrónico de cargas, protecciones y tablero de control. Potencias de 2 a 80 kW.



**Modelo AS 4:** Turbina Pelton o Michell-Banki con control de caudal, Generador Asíncrono trifásico, 4 polos, 400/230V, 50/60 Hz. Regulador electrónico de cargas, protecciones y tablero de control. Posibilidad de conexión a la red.



**Modelo AC 4-FI:** Turbina Michell-Banki, Generador Sincrónico trifásico autoexcitado, sin escobillas, 4 polos, 400/230V, 50/60 Hz. Regulador electrónico de cargas, protecciones y tablero de control. Potencias de 1 a 80 kW.



# Anexo 13

**PRECIOS DE GRUPOS TURBINA-GENERADOR  
EMPRESA SAVOIA GENERATORS - ARGENTINA  
LISTA ACTUALIZADA AL MES DE JUNIO 2012**

<i>Mini turbinas hidroeléctricas normalizadas</i>						
Salida en Corriente Alterna: 110V/60HZ or 220V/50Hz						
<i>Modelo</i>	<i>Caída (m)</i>	<i>CAUDAL (L/sec)</i>	<i>POTENCIA (W)</i>	<i>Entrada diámetro (mm)</i>	<i>Tamaño L x W x H /cm</i>	<i>PRECIO U\$S</i>
XJ14-0.3DCT4-Z	10 - 14	3 - 5	300	50	30x26x35, 25kg	<b>488</b>
XJ18-0.5DCT4-Z	12 - 18	5 - 7	500	50-75	33x30x36, 28kg	<b>742</b>
XJ18-0.75DCT4-Z	14 - 18	5 - 8	750	75	35x35x53, 47kg	<b>910</b>
XJ25-1.5DCT4-Z	18 - 25	8 - 11	1500	125	72x45x52, 76kg	<b>2093</b>
XJ25-1.5DCTH4-Z	15	12 - 18	1500	125-150	87x56x52, 120kg	<b>2317</b>
XJ25-3.0DCT4-Z	25 - 35	15 - 19	3000	125-150	85x56x56, 102kg	<b>3378</b>
XJ25-3.0DCTF4-Z	18 - 20	18 - 30	3000	150	87x58x58, 134kg	<b>3545</b>
XJ28-6.0DCT4/6-Z	28 - 35	30 - 38	6000	150	75x65x82, 210kg	<b>6838</b>
XJ28-6.0DCTF4/6-Z	18 - 20	38 - 50	6000	200	110x74x87, 260kg	<b>7160</b>
XJ30-10SCT4/-Z	30 - 38	40 - 50	10KW	200-250	110x80x86, 300kg	<b>11080</b>
XJ30-10STF6/-Z	25 - 30	50 - 60	10KW	200-250	110x80x90, 320kg	<b>11435</b>
XJ30-12SCTF4/-Z	28 - 35	50 - 60	12KW/3phase	200-250	110x85x100, 325kg	<b>13295</b>
XJ30-15SCTF4/6-Z	30 - 40	60 - 70	15KW/3phase	200	120x90x105, 350kg 80x60x50, 60kg	<b>14627</b>
XJ30-20SCTF4/6-Z	30 - 45	60 - 80	20KW/3phase	250-300	120x90x95cm, 490kg 80x60x50cm, 60kg 60x55x50cm, 60kg	<b>19502</b>
XJ38-30SCTF4/6-Z	38 - 45	90 - 120	30KW/3phase	250-300	120x95x115, 400kg 80x60x62, 60kg 55x60x50, 70kg	<b>26592</b>

**Turbinas para baja caída**

Salida en Corriente Alterna: 110V/60HZ or 220V/50Hz

<i>Modelo</i>	<i>Caída (m)</i>	<i>CAUDAL (L/sec)</i>	<i>POTENCIA (W)</i>	<i>Entrada diámetro (mm)</i>	<i>Tamaño L x W x H /cm</i>	<i>PRECIO U\$S</i>
QS-LZ-12-0.55KW	2~5	20~50	550	120	20x20x40, 35kg	<b>940</b>
ZD1.8-0.3DCT4-Z	1.8	40	300	120	85x35x26, 36kg	<b>430</b>
ZD2.0-0.5DCT4-Z	2	45	500	120	85x35x26, 36kg	<b>662</b>
ZD2.2-0.7DCT4-Z	2.2	50	700	120	87x27x33, 42kg	<b>795</b>
ZD2.5-1.0DCT4-Z	2.5	70	1000	120	95x34x27, 49kg	<b>1012</b>
GD-LZ-12-3kw	11	45	3000	150	142x65x60, 140kg	<b>4328</b>
GD-LZ-20-3kw	4	140	3000	250	130x54x90, 165kg 68x49x40, 79kg	<b>7313</b>
GD-LZ-20-6kw	7.5	140	6000	300	165x50x81 64x45x34 Total: 295 kg	<b>8475</b>
GD-LZ-20-10kw	11	160	10000	300	165x55x91, 303 kg 60x45x88, 54 kg 87x64x42, 99 kg	<b>10893</b>

# Anexo 14

## PRECIOS DE GRUPOS TURBINA-GENERADOR

EMPRESA 3HC - PERÚ

LISTA ACTUALIZADA AL MES DE JUNIO 2012

Los modelos ofrecidos incluyen: turbina hidráulica tipo Michell Banki, generador eléctrico, tablero de control y regulador automático de velocidad.

### MODELO: R125:

Utiliza generador asíncrono 3600 rpm, 60 Hz, 220V.

Potencia: 0.5 a 5 kW. Altura: 10 a 35 m. Caudal: 5 a 20 litros/seg.

Potencia	Generador	Valor FOB
0.5 KW	automotriz C.C. 12V	US\$ 1,620
1 KW	Inducción C.A., 2f,60Hz,220V	US\$ 2,520
2 KW	Inducción C.A.,2f,60Hz,220V	US\$ 3,000
3 KW	Inducción C.A.,2f,60Hz,220V	US\$ 3,960
5 KW	Inducción C.A.,2f,60Hz,220V	US\$ 6,480

(\*) Los precios son referenciales. Para precisar los precios solicite una cotización



### MODELO: R189:

Utiliza generador sincrónico 1800 rpm, 60 Hz, 220V.

Potencia: 6 a 20 kW. Altura: 10 a 80 m. Caudal: 5 a 350 litros/seg.

Potencia	Valor FOB ( * )
6 KW	US\$ 10,800
10 KW	US\$ 14,160
15 KW	US\$ 16,320
20 KW	US\$ 19,920

( \* ) Los precios son referenciales y considera generadores de 1800 rpm. Para precisar los precios solicite una cotización



### MODELO: R313:

Utiliza generador sincrónico 1800 rpm, 60 Hz, 220V.

Potencia: 20 a 100 kW. Altura: 20 a 220 m. Caudal: 20 a 700 litros/seg.

Potencia	Valor FOB ( * )
30 KW	US\$ 28,200
40 KW	US\$ 34,320
50 KW	US\$ 39,840
60 KW	US\$ 46,800
80 KW	US\$ 52,200
100 KW	US\$ 61,440

( \* ) Los precios son referenciales y considera generadores de 1800 rpm. Para precisar los precios solicite una cotización



# Referencias

- Martínez, E. et al. 2007. **DISEÑO DE PEQUEÑAS PRESAS**, 3ra edición, Editorial Bellisco. 1048p.
- Sánchez, T. et al. 2010. MICROCENTRALES HIDROELÉCTRICAS UNA ALTERNATIVA PARA EL DESARROLLO RURAL. Lima. 24p
- Biomass Users Network.2001. GUÍA PARA DESARROLLADORES DE PROYECTOS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA UTILIZANDO RECURSOS RENOVABLES EN COSTA RICA. Costa Rica. No 1:20 p.
- European Small Hydropower Association.2006. GUÍA PARA EL DESARROLLO DE UNA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA. España.164 p.
- Biomass Users Network (BUN-CA).2002. MANUALES SOBRE ENERGÍA RENOVABLE: HIDRÁULICA A PEQUEÑA ESCALA. San José.No1:44 p.
- ERAC. 2000. DESARROLLO DE ENERGÍAS RENOVABLES EN EL PROCESO DE LIBERALIZACIÓN DEL MERCADO ENERGÉTICO EN AMÉRICA CENTRAL. Segundo Informe
- Román, A.; Herrera, X. 2010. EL RÉGIMEN JURÍDICO DE LA GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA Y SU APLICACIÓN EN EL MARCO REGULATORIO COSTARRICENSE. Tesis de graduación. Escuela de Derecho, Universidad de Costa Rica. 221 p.
- Asamblea Legislativa. 2009. mayo. 07. LEY MARCO DE CONCESIÓN PARA APROVECHAMIENTO DE FUERZAS HIDRÁULICAS. LA GACETA, San José, Costa Rica. 64 p.
- Marín, J. 2010. ESTUDIO DE COSTOS DE INSTALACIÓN DE SISTEMAS PICO Y MICRO HIDROELÉCTRICO (100 W a 100 kW). Informe proyecto final de graduación. Escuela de Ingeniería, Universidad de Costa Rica. 130 p.
- Marín, J. 2010. ESTUDIO DE COSTOS DE INSTALACIÓN DE SISTEMAS PICO Y MICRO HIDROELÉCTRICO (100 W a 100 kW). Informe proyecto final de graduación. Escuela de Ingeniería, Universidad de Costa Rica. 130 p.
- Álvarez, B.; Villagra, D. 2010. LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE EBAIS MÓVILES PARA LAS Y LOS TRABAJADORES RECOLECTORES DE CAFÉ, EN EL ÁREA DE SALUD LOS SANTOS. Tesis de graduación. Escuela de ciencias geográficas. Universidad Nacional. 166p.
- 3HC S.A. MANUAL DE DISEÑO Y FABRICACIÓN DE TURBINAS HIDRÁULICAS. Lima, Perú. 4p.
- Bello, M.; Pino, M. 2000.MEDICIÓN DE PRESIÓN Y CAUDAL. Boletín INIA N° 28, Punta Arenas, Chile. 20p.
- Harley, A. 2000. MICRO-HYDRO DESIGN MANUAL: A GUIDE TO SMALL-SCALE WATER POWER SCHEMES. Intermediate technology Publications. London, UK.