



Universidad de Nariño

INGEN<sup>ERÍA</sup>  
ELECTRÓNICA



USAID  
FROM THE AMERICAN PEOPLE

IPSE

Instituto de planificación y promoción  
de Soluciones Energéticas para las  
zonas No Interconectadas

# ESTUDIO A NIVEL DE PERFIL PARA LA CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN DE UNA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA EN EL MUNICIPIO EL TAMBO



**pers**  
Nariño

Plan de Energización Rural Sostenible

## ESTUDIO A NIVEL DE PERFIL PARA LA CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN OPERACIÓN DE UNA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELÉCTRICA EN EL MUNICIPIO EL TAMBO

### COORDINADOR Y FORMULADOR:

**Edisson Escobar**

Ing. Electrónico, Magíster en Ingeniería Electrónica y de Computadores

### ASISTENTES DE INVESTIGACIÓN:

**Elizabeth Verdugo**

**Danilo Oliva**

### COLABORADORES:

**Álvaro León Ibarra**

Ing. Mecánico

**Mauricio Cabrera**

Ing. Ambiental, Mg.

**Jorge Larrañaga**

Ing. Electricista

**Alejandro Romero**

Ing. Civil

PLAN DE ENERGIZACIÓN RURAL DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO

PERS-Nariño

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

UPME

USAID

IPSE

San Juan de Pasto – Nariño

Colombia

2014

## CONTENIDO

1. FICHA DEL PROYECTO.....	7
2. RESUMEN DEL PROYECTO.....	8
3. IDENTIFICACIÓN .....	9
3.1 Situación Actual.....	9
3.1.1 Área Influenciada por el Proyecto.....	9
3.1.2 Información del Servicio.....	13
3.1.3 Participantes.....	16
3.2. Marco de Referencia .....	16
3.2.1. Contribución a la Política Pública.....	16
3.2.2. Antecedentes .....	17
<b>3.2.2.1 Implementación de PCHs en diferentes países.</b> .....	<b>18</b>
3.2.2.2 Implementación de PCHs en Colombia.....	18
3.2.2.3 PROYECTOS DE PCHS DESARROLLADOS.....	19
3.2.2.4 EXPERIENCIAS EN PLANES Y PROGRAMAS DE PCHS .....	21
3.2.3. Marco del Arte .....	25
3.2.3.1 Definiciones.....	25
3.2.3.2 Pequeña Central Hidroeléctrica (PCH) Definición y clasificación.....	25
3.3. Problema Central, Causas y Efectos.....	31
4. FORMULACION DE LA ALTERNATIVA .....	32
4.1 Nombre de la Alternativa.....	32
4.2 Resumen de la Alternativa .....	32
4.3 Objetivos .....	32
4.3.1 Objetivo General .....	32
4.3.2 Objetivos Específicos.....	32
4.4 Productos, Actividades y Personal Requerido .....	33
4.5 Identificación y Descripción de la Innovación Propuesta .....	34
4.6 Metodología y Distribución de Responsabilidades.....	35
4.7 Indicadores de Objetivo General, de Producto y de Gestión.....	35
4.8 Fuentes de Verificación y Supuestos.....	37

4.9 Bienes y/o Servicios .....	43
4.10 Beneficios e Ingresos.....	43
4.11 Horizonte del Proyecto .....	45
4.12 Impactos Esperados .....	45
4.13 Análisis de Riesgos .....	46
4.14 Cronograma.....	47
4.15 Presupuesto .....	49

## Lista de Tablas

Tabla 1 Población El Tambo con base año 2005 y proyección.....	9
Tabla 2 Capacidad instalada por transformador en zona rural. ....	11
Tabla 3 Encuestas residenciales veredas El Tambo .....	12
Tabla 4 Consumo promedio comercial, institucional y residencial .....	12
Tabla 5 Viviendas Zona No Interconectada .....	13
Tabla 6 Consumo facturado de trapiches interconectados .....	14
Tabla 7 Consumo de energía rural residencial y trapiches .....	15
Tabla 8 Costo total prestación de servicio residencial y trapiches .....	15
Tabla 9 Análisis de participantes.....	16
Tabla 10 Fomento a Empresas de PCHs por PESENCA.....	24
Tabla 11 Resumen de estudios de proyectos de PCH's en la costa realizados por PESENCA.....	24
Tabla 12 Clasificación PCH según potencia .....	26
Tabla 13 Clasificación PCH según salto en metros.....	26
Tabla 14 Productos, actividades y personal para objetivo uno .....	33
Tabla 15 Productos, actividades y personal para objetivo dos.....	33
Tabla 16 Productos, actividades y personal para objetivo tres .....	34
Tabla 17 Productos, actividades y personal para objetivo cuatro .....	34
Tabla 18 Indicadores que miden el objetivo general.....	35
Tabla 19 Indicadores de producto, objetivo uno .....	36
Tabla 20 Indicadores de producto, objetivo dos .....	36
Tabla 21 Indicadores de producto, objetivo tres .....	36
Tabla 22 Indicadores de producto, objetivo cuatro.....	37
Tabla 23 Fuentes de verificación y supuesto para actividades, objetivo uno.....	37
Tabla 24 Fuentes de verificación y supuesto para actividades, objetivo dos .....	38
Tabla 25 Fuentes de verificación y supuesto para actividades, objetivo tres.....	39
Tabla 26 Fuentes de verificación y supuesto para actividades, objetivo cuatro .....	40
Tabla 27 Fuentes de verificación y supuestos para productos, objetivo uno.....	40
Tabla 28 Fuentes de verificación y supuestos para productos, objetivo dos .....	41
Tabla 29 Fuentes de verificación y supuestos para productos, objetivo tres.....	41
Tabla 30 Fuentes de verificación y supuestos para productos, objetivo cuatro .....	42
Tabla 31 Oferta, demanda y déficit por etapa del proyecto.....	43
Tabla 32 Beneficios por generación de mano de obra calificada .....	43
Tabla 33 Análisis de riesgos.....	46
Tabla 34 Datos de localización .....	53
Tabla 35 Datos para encontrar la velocidad .....	53
Tabla 36 Datos de profundidades h(m) para realizar el perfil transversal .....	54
Tabla 37 Datos para determinar el coeficiente C.....	54
Tabla 38 Datos para encontrar velocidad superficial Vs.....	55

Tabla 39 Datos de profundidades h(m) para realizar perfil transversal .....	56
Tabla 40 Velocidad promedio .....	57
Tabla 41 Coeficiente C de corrección por velocidad.....	57
Tabla 42 Datos de caudales.....	57
Tabla 43 Velocidad superficial Vs.....	58
Tabla 44 Geometría recomendada para desarenadores de diferente tipo .....	60
Tabla 45 Constante de capacidad (k) .....	62

## Lista de Figuras

Figura 1 Mapa del área influenciada del proyecto. ....	14
Figura 2 Central a filo de agua .....	27
Figura 3 Central acoplada a un embalse .....	28
Figura 4 Central hidroeléctrica por derivación del agua.....	29
Figura 5 Perfil transversal caudal mínimo.....	54
Figura 6 Perfil transversal caudal máximo .....	56
Figura 7 Bocatoma de fondo.....	65
Figura 8 Tubería conducción .....	66
Figura 9 Desarenador.....	66
Figura 10 Tanque de carga .....	67
Figura 11 Casa de máquinas – planta arquitectónica .....	67
Figura 12 Casa de máquinas – planta de cimentación.....	68
Figura 13 Canal de pantallas deflectoras .....	68
Figura 14 Canal de rápidas con tapa y columpio .....	69

## 1. FICHA DEL PROYECTO

Título del proyecto:	Estudio a nivel de perfil para la Construcción y Puesta en Operación de una Pequeña Central Hidroeléctrica en el Municipio El Tambo	
Entidad formuladora:	UDENAR	
Entidad beneficiaria:	Asociación de Paneleros El Tambo	
Entidad ejecutora:	UDENAR	
Otras instituciones participantes:		
Duración del proyecto (meses):		
Costo total del proyecto:		
Monto solicitado:	Total costo del proyecto	
Monto total de la contrapartida:	-	-
Contrapartida de la entidad beneficiaria:	En efectivo: -	En especie: Mano de Obra
Lugar de ejecución del proyecto:	Ciudad: El Tambo	Departamento: Nariño
Persona responsable del proyecto:	Empresa/Institución: UDENAR	Cargo: Coordinador – Formulator

## 2. RESUMEN DEL PROYECTO

En El Tambo, municipio a hora y media en transporte terrestre desde Pasto capital de Nariño, aun se pueden percibir rezagos del conflicto armado que se ha vivido en el Departamento de lo que dan fe los habitantes de este municipio. Gran parte de los programas de gobierno han puesto sus esfuerzos en reparar los efectos producidos por el conflicto armado, en Nariño ha tomado relevancia el programa “NARIÑO SIN COCA SÍ SE PUEDE” llevado a cabo por la Unidad Administrativa para Consolidación Territorial (UACT), post sustitución de cultivos ilícitos, para el beneficio de las familias que de alguna u otra manera estuvieron involucradas en el conflicto.

El sector industrial panelero ha mejorado precisamente por dicho beneficio con el apoyo de la UACT se han sustituido cultivos ilícitos por cultivos de caña de azúcar con sus respectivos trapiches, sin embargo las tierras disponibles y la composición fértil han dado predios en lugares apartados de la Zona Interconectada (ZI) tomando la necesidad de que trapiches funcionen al 100% con sistemas diésel de alto impacto ambiental dado su huella de carbono. Aun cuando la mayoría de trapiches se encuentran en Zona Interconectada la facturación mensual de consumo energético es costosa, pensando que en este momento las familias relacionadas con este sector industrial deben ser competitivas y auto sostenibles.

Por otra parte, El Tambo posee recursos hídricos aprovechables para la construcción de generadoras hidráulicas a pequeña escala, brindándose una alternativa a la energización de los procesos productivos que incurren en altos costos por consumo de energía eléctrica y posibilitando la instalación de nuevos puntos de procesamiento de caña panelera en regiones apartadas del sistema interconectado de la cabecera municipal.

Este documento describe el estudio a nivel de perfil del municipio de El Tambo y plantea la construcción de una PCH para cubrir la demanda de 4 trapiches en la zona rural cuya energía es suministrada por medio de plantas diésel, además de 30 viviendas sin servicio de energía. Aunque solamente se plantea una alternativa al problema presentado, ésta surge del trabajo de campo de encuestas realizado en la primera fase del PERS-Nariño. En esta primera etapa, la población de las zonas rurales y el personal de la oficina de planeación y la alcaldía refirieron claramente esta solución como una alternativa viable debido al potencial hídrico de río EL Salado en las veredas Yunguilla y San Pedro, cerca de las cuales existen instalaciones de una antigua PCH, abandonada por fallas en los equipos.

Teniendo en cuenta los antecedentes de la región, se decidió realizar un estudio inicial para analizar la posibilidad de la construcción de una nueva central, produciendo diseños básicos de las obras civiles y cálculos de la capacidad de generación. Finalmente, el producto consolidado de este perfil es la proposición de un cronograma y presupuesto que detallan las actividades para el proyecto de prefactibilidad enfocado en la solución planteada.

### 3. IDENTIFICACIÓN

#### 3.1 Situación Actual

De acuerdo al plan de desarrollo del municipio de El Tambo, el servicio de energía eléctrica es suministrado por Centrales Eléctricas de Nariño CEDENAR S.A. E.S.P. y resalta que el alumbrado público es insuficiente al quedar algunas zonas sin cobertura, lo que facilita la ocurrencia de accidentes y eventos de inseguridad, existen viviendas en algunas veredas que carecen del servicio; son alrededor de 50 viviendas en diferentes veredas que no están interconectadas a la red pública<sup>1</sup>.

El difícil acceso y la distancia de las viviendas que no disponen del servicio no han permitido que se puedan interconectar a la red pública al igual que algunos trapiches que integran la Asociación de Paneleros que no disponen del servicio de energía eléctrica y deben recurrir a plantas diésel impactando ambientalmente por concepto de huella de carbono. Por otro lado los trapiches que sí se encuentran interconectados pagan valores altos en facturación.

##### 3.1.1 Área Influenciada por el Proyecto

La población del municipio El Tambo para el año 2005, según el DANE<sup>2</sup> es de 14.146 habitantes que corresponden al 0,97% del total del departamento de Nariño. De este total de la población, 5.128 personas que representan el 36%, están en la cabecera municipal y las restantes, 9.018 personas, es decir, el 64% están ubicadas en el área rural como se ilustra en la Tabla 1 junto con algunos años proyectados con la base del 2005. El 49,9% de la población de El Tambo que cambió de residencia en los últimos cinco años lo hizo por razones familiares, el 23,9% por otra razón, el 11,6% por dificultad para conseguir trabajo y el 6,2% por amenaza para su vida.

**Tabla 1 Población El Tambo con base año 2005 y proyección**

Año	Cabecera		Resto		Total	
	Personas	%	Personas	%	Personas	%
2005	5.128	36	9.018	64	14.146	100
2013	5.297	42	7.341	58	12.638	100
2014	5.299	43	7.149	57	12.448	100
2020	5.263	46	6.081	54	11.344	100

Fuente: Plan de Desarrollo 2012 – 2015, pg. 23.

El DANE<sup>3</sup>, señala que el 92,6% de las viviendas en el municipio de El Tambo son casas y aproximadamente el 63,4% de los hogares están conformados en promedio por 4 personas. Además en el perfil Municipal, indica que el 91% de las viviendas tienen conexión a energía eléctrica, 37,1% al servicio de alcantarillado, 76,7% cuenta con acueducto y 4,5% dispone de línea telefónica. No poseen conexión para gas.

<sup>1</sup> Plan de Desarrollo 2012 – 2015 El Tambo.

<sup>2</sup> Dorado H. William, Plan de Desarrollo 2012 – 2015 El Tambo, pg. 22.

<sup>3</sup> Dorado H. William, Plan de Desarrollo 2012 – 2015 El Tambo, pg. 167.

Las actividades económicas más importantes de esta Subregión están basadas en el sector agropecuario destacándose el cultivo del café, plátano, maíz, yuca, fique, caña panelera y frutales; igualmente es significativa la explotación de ganado bovino, porcino y especies menores.

El servicio de energía eléctrica es suministrado por CEDENAR S.A. E.S.P., dejando notar que el alumbrado público es insuficiente al quedar algunas zonas sin cobertura, lo que facilita la ocurrencia de accidentes y eventos de inseguridad, además muchas viviendas de algunas veredas carecen del servicio<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Dorado H. William, *Plan de Desarrollo 2012 – 2015 El Tambo*, pg. 78.

**Tabla 2 Capacidad instalada por transformador en zona rural.**

DIRECCION	CAP. (kVA)	DIRECCION	CAP. (kVA)
VEREDA CHARGUAYACO	15	VEREDA AMINDA	15
VEREDA CHAGRAUCO	75	VEREDA AMINDA	15
VEREDA TANGUANA	15	VEREDA SAN PEDRO TAMBO	15
VEREDA EL GRANADILLO	15	LAS COCHAS	15
VEREDA POTRERILLO	37,5	VEREDA AMINDA	100
VEREDA POTRERILLO (ESCUELA)	25	ESCUELA VEREDA JANGUANA	37,5
VEREDA CASCAJAL	25	CS 61 VILLA NUEVATAMBO	15
VEREDA CASCAJAL ALTO	15	VEREDA TANGUANA	15
VEREDA CASCAJAR (ESCUELA)	15	CS 25 VILLANUEVA ESTER BURBANO	15
VEREDA CASCAJAL BAJO	15	VEREDA VILLANUEVA	45
VEREDA CASCAJAL BAJO	25	VEREDA VILLANUEVA	25
VEREDA CASCAJAL BAJO	15	VEREDA TAMBILLO	15
VEREDA CASCAJAL BAJO	25	VEREDA TAMBILLO	15
VEREDA SAN PEDRO	15	VEREDA TAMBILLO CAPILLA	15
VEREDA SAN PEDRO	15	VEREDA TAMBILLO	15
VEREDA SAN PEDRO	25	VEREDA SULTANA (MILSIADES DIAS FIGUEROA)	15
VEREDA SAN PEDRO	37,5	VEREDA PUEBLO VIEJO	15
VEREDA SAN PEDRO	15	VEREDA ARRAYANNES (BERTHA ELISA MAYA)	15
VEREDA LOS LIMOS	15	VEREDA PUEBLO VIEJO	15
VEREDA LOS LIMOS	25	VEREDA ASOQUE (ESCUELA)	25
VEREDA LOS LIMOS	15	VEREDA ASOQUE	25
VEREDA CHAGRAURCO	15	VEREDA ASOQUE	15
VEREDA CHAGRAUCO	15	VEREDA ASOQUE	15
VEREDA CHAGRAUCO	15	VEREDA LA OVEJERA (ESCUELA)	15
VEREDA EL POTRERILLO	10	VEREDA LA OVEJERA	15
VEREDA MOLINOYACO	25	VEREDA LA OVEJERA	37,5
VEREDA CAFELINA	15	VEREDA LA OVEJERA	15
VEREDA TROJAYACO	15	VEREDA LAS PALMAS	25
VEREDA TROJAYACO	15	VEREDA LAS PALMAS	37,5
VEREDA TROJAYACO	25	VEREDA TROJAYACO	15
VEREDA TROJAYACO MARIA SOCORRO	25	VEREDA EL GRANADILLO	15
VEREDA TROJAYACO	15	LA GRANJA	37,5
VEREDA TOJAYACO	15	VEREDA EL PLACER	15
VEREDA TROJAYACO	15	VEREDA EL PLACER	15
VEREDA TANGUANA	10	VEREDA EL PLACER	15
VEREDA CAFELINA	15	VEREDA EL PLACER	15
VEREDA CAFELINA	15	VEREDA ESPADA	15
VEREDA TANGUANA SAN ANTONIO	15	VEREDA EL PLACER	15
VEREDA TANGUANA	25	VEREDA ASOQUE	15,5
SAN PABLO ALTO	15	VEREDA ASOQUE	25
SAN PABLO	15	VEREDA VILLANUEVA	15
SAN PABLO	25	CS 52A BANAJO BAJO	37,5
SAN PABLO BAJO	15	CHAGRAURCO TRAPICHE CAÑAVERAL	45
SAN PABLO BAJO	15	CS 41 LA HACIENDA SAN PEDRO	45
SAN PABLO BAJO	15	TRAPICHE SAN FRANCISCO VEREDA SAN PEDRO EL PEÑOL	45
VEREDA AMINDA	15	TRAPICHE EL PORVENIR VEREDA SAN PEDRO	45
VEREDA CHAGRAUCO	15		
		TOTAL	1.998

Fuente: Base de datos CEDENAR S.A E.S.P.

La zona rural del municipio cuenta con un estimado de 93 transformadores como se muestra en la



Tabla 2 con la respectiva localización o dirección y la capacidad en kVA; con esto se realiza un cálculo de la oferta energética total instalada para la zona rural de aproximadamente 1.998 kVA.

Se enfatiza el hecho que el cálculo realizado es solo un estimado usando los datos de los transformadores instalados en las veredas del municipio; es posible que hayan conexiones ya sea desde y hacia otras veredas que no corresponden a El Tambo, puesto que muchas veredas son vecinas muy cercanas a los municipios del Peñol y La Florida.

Además de la aproximación realizada para la zona rural; mediante las encuestas realizadas por el Plan de Energización Rural Sostenible para el departamento de Nariño (PERS-Nariño) se pudo estimar el consumo promedio mes en kWh de establecimientos comercial, institucional y residencial. El total de encuestas realizadas fue de 147 así: 14 comerciales, 18 institucionales y 115 residenciales; de todas un total de 83 en zona rural aledaña a la cabecera municipal, de las cuales 66 encuestas residenciales se hicieron en diferentes veredas del municipio como se muestra en la Tabla 3<sup>5</sup>

**Tabla 3 Encuestas residenciales veredas El Tambo**

Vereda	No Viviendas residencial encuestadas
Azogue	10
Cascajal bajo	15
El Tambillo	9
La Sultana	13
Llano Largo	9
San Pablo	3
San Pablo Bajo	7
Total	66

Fuente: Encuestas PERS-N, 2013.

Se obtuvo el consumo promedio en kWh para un establecimiento comercial, institucional y residencial, tal como se aprecia en la Tabla 4. Es importante tener en cuenta que algunos encuestados no podían facilitar la factura de energía eléctrica, por lo tanto, en la Tabla 4 se especifica el número de usuarios por tipo de establecimiento que contaban con la factura al momento de realizarse la encuesta.

**Tabla 4 Consumo promedio comercial, institucional y residencial**

Establecimiento	No. de usuarios que facilitaron factura	Promedio consumo Mes (kWh) *
Comercial	2	63
Institucional	2	103
Residencial	50	39,63

Fuente: Encuestas PERS-N, 2013.

\* El consumo utilizado es el promedio del segundo semestre de 2012 registrados en las facturas. De acuerdo al primer censo realizado por la secretaría de planeación de la Alcaldía de El Tambo, son 50 las viviendas que no están conectadas a la red eléctrica pública: 8 en la vereda Pocaurco, 12

<sup>5</sup> Encuestas PERS – N, 2013. Disponible en <http://sipersn.udenar.edu.co:90/sipersn/>

en Villanueva, 2 en Trojayaco, 2 en El Tambillo, 3 en Los Limos, 3 en Altosano, 5 en Aminda, 10 en Azogue, 3 en El Didral, 1 en Ricaurte y 1 en Mexico<sup>6</sup> como se puede apreciar en la Tabla 5. Adicionalmente, existen 14 trapiches paneleros de los cuales 10 son usuarios del servicio eléctrico pero pagan altos costos por el mismo, los 4 restantes no poseen el servicio y trabajan con plantas diesel<sup>7</sup>.

Es importante resaltar que el sector industrial panelero viene apoyado por el programa “NARIÑO SIN COCA SÍ SE PUEDE” llevado a cabo por la Unidad Administrativa para la Consolidación Territorial (UACT), post sustitución de cultivos ilícitos, beneficiándose varias familias con cultivos de caña de azúcar y sus respectivos trapiches.

**Tabla 5 Viviendas Zona No Interconectada**

Vereda	No Viviendas	Vereda	No Viviendas	Vereda	No Viviendas
Pocaurco	8	Los Limos	3	Didral	3
Villanueva	12	Altosano	3	Ricaurte	1
Trojayaco	2	Aminda	5	Mexico	1
El Tambillo	2	Azogue	10		
				Total	50

Fuente: Base de datos Secretaría de Planeación El Tambo – Anexo 1.

En el mapa de la Figura 1 se puede apreciar la distribución aproximada de las viviendas de la ZNI con el número de viviendas en cada vereda de acuerdo a la Tabla 5, la ubicación aproximada de algunos de los trapiches en la zona rural de acuerdo al Anexo 2 y un punto de referencia sobre el río El Salado.

A partir de lo anterior se puede observar que hay aproximadamente 30 viviendas cercanas al punto de referencia sobre el río El Salado y que los trapiches están ubicados relativamente cercanos entre sí.

### 3.1.2 Información del Servicio

En la Tabla 6 se registra la información suministrada por la Alcaldía de El Tambo y el Secretario de Gobierno, Jorge Arteaga; del consumo real en algunos trapiches y el valor que pagan por el servicio de energía eléctrica para un periodo reciente.

**Tabla 6 Consumo facturado de trapiches interconectados<sup>8</sup>**

Dirección Predio y Vereda	Carga Instalada	Consumo Promedio	Consumo en un Mes

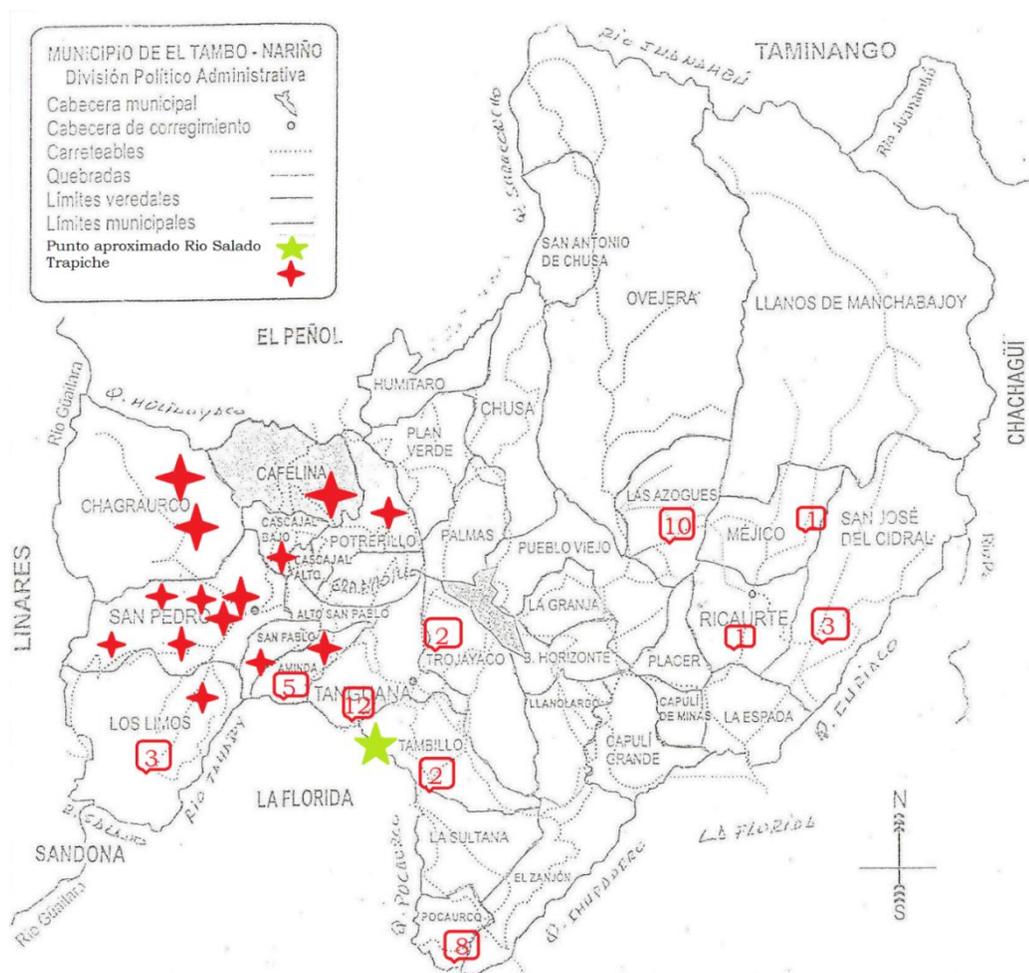
<sup>6</sup> Acosta C. Clara. Secretaría de Planeación El Tambo – **Anexo 1, 2013**

<sup>7</sup> Erazo José. Presidente Asociación Paneleros El Tambo – **Anexo 2, 2013**

<sup>8</sup> Arteaga Jorge. Secretaría de Gobierno. Facturación CEDENAR, 2012 – 2013.

	(kW)	kWh	Periodo	kWh	Mes	Costo Total (\$)	Valor \$/kWh
Cafelina CS 22A	18,65	1277	Mar-Ago 2013	1663	sep-13	\$ 870.880	\$ 523,68
Chagraurco CS 6A	11,19	769	Feb-Jul 2013	941	ago-13	\$ 494.790	\$ 525,81
San Pedro CS 72	11,19	1218	Mar-Ago 2013	1546	sep-13	\$ 815.960	\$ 527,79
Chagraurco CS 10A	11,59	1342	Mar-Ago 2013	442	sep-13	\$ 237.820	\$ 538,05
San Pedro CS 41	18,65	1412	Nov/12 - Abr/13	988	may-13	\$ 509.600	\$ 515,79

Figura 1 Mapa del área influenciada del proyecto.



Fuente: Alcaldía El Tambo. Mapa división política, disponible en <http://www.eltambo-narino.gov.co>

De la Tabla 6 y considerando el mayor consumo en un semestre, se tiene que en el periodo Noviembre de 2012 a abril de 2013 uno de los trapiches obtuvo un consumo promedio de 1.412 kWh.

Ahora, si se considera el censo del Anexo 2 cada trapiche de la ZI paga aproximadamente \$1'000.000 COP por el servicio de energía mensualmente; y los demás trapiches que poseen tipo de energía Diesel pagan alrededor de \$1'600.000 COP en consumo de combustibles; en el Anexo 2 se detalla la información de los trapiches, su ubicación, el tipo de maquinaria que utilizan, el consumo y el valor aproximado que pagan sus propietarios por el mismo. Comparativamente el censo adelantado por el presidente de la Asociación de paneleros a petición de PERS – N, y la facturación registrada en la Tabla 6 son congruentes para lo que las dos fuentes de información se utilizaran con igual importancia.

Con los costos mensuales aproximados en el sector industrial panelero tanto en ZI como en ZNI se obtienen los valores anuales como se observa en la Tabla 8.

En la Tabla 7 se presenta el consumo de energía en el sector rural residencial para ZI correspondiente a 2156 usuarios y para ZNI a 50 usuarios, para estos últimos se utiliza el valor promedio mensual tomado de la Tabla 4 que equivale a 39,63 kWh. En el caso de los trapiches se tiene en cuenta el costo presentado en Tabla 8 y el hecho que para El Tambo según la página web de CEDENAR y algunas facturas del servicio, la tarifa para un trapiche es de \$436 por kWh mas un 20% del costo por consumo en concepto de contribución.

**Tabla 7 Consumo de energía rural residencial y trapiches**

Consumo de Energía Rural por año (kWh)			
Residencial (Total usuarios 2206)		Industrial (Total trapiches 14)	
ZI (2156 Usuarios):	1.047.375,44 kWh	ZI (10 Trapiches):	229.357,80 kWh
ZNI (50 Usuarios al consumo de ZI):	1.981,5 kWh	ZNI (4 Trapiches al consumo de ZI):	91.743,12 kWh
Total:	1.049.356,94 kWh	Total:	322.100,91 kWh

**Tabla 8 Costo total prestación de servicio residencial y trapiches**

Costo Total de Prestación de servicio por año (Pesos)			
Residencial (Total usuarios 2206)		Industrial (Total trapiches 14)	
ZI (2156 Usuarios):	\$ 444.066.239,1	ZI (10 Trapiches):	\$ 120.000.000
ZNI (50 Usuarios al precio de ZI):	\$ 840.116,37	ZNI (4 Trapiches al precio de ZI):	\$ 48.000.000
Total:	\$ 444.906.355,4	ZNI (4 Trapiches al precio Diesel):	\$ 76.800.000
		Total (14 Trapiches al precio de ZI):	\$ 168.000.000
		Total (10 Trapiches al precio ZI y 4 al precio Diesel):	\$ 196.800.000

### 3.1.3 Participantes

En el proceso de consecución de información secundaria y primaria, la alcaldía del Municipio estuvo siempre disponible con funcionarios de: secretaría de gobierno, secretaría de obras, secretaría de planeación, tesorería, Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria (UMATA) y la Asociación de Paneleros de El Tambo como los directamente beneficiados.

La formalidad del proyecto y la asignación de responsabilidades se presentarán en el momento que se culmine la etapa de prefactibilidad (que se propone como etapa siguiente al presente documento). Igualmente se sugiere búsqueda de apoyo por parte de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) o la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) dadas las condiciones del proyecto que compatibilizan con modelos que ya han sido viabilizados por estos entes. En la Tabla 9 se muestra el análisis de participantes

**Tabla 9 Análisis de participantes.**

Participante	Posición	Tipo de Contribución	Experiencia Previa
Habitantes ZNI	Beneficiado	Ninguna	Ninguna
Trapiches (Industrial)	Beneficiado- (Cooperante)	Mano de obra y Operación.	Conexión a la red CEDENAR
USAID	Cooperante	Recursos económicos	Proyectos en todo el país.
OLADE	Cooperante	Recursos económicos	Proyectos en Latinoamérica.
UDENAR	Cooperante	Formulación y ejecución	

### 3.2. Marco de Referencia

#### 3.2.1. Contribución a la Política Pública

El proyecto se encuentra enmarcado dentro del plan de desarrollo nacional en el cual se estipula la asignación de ingresos para el aumento de cobertura y mejora del servicio principalmente en ZNI y población vulnerable, además de asegurar la provisión de energía eléctrica, promoviendo el uso eficiente de energía y la generación de energías alternativas. En el plan de desarrollo nacional se encuentra el siguiente objetivo:

“Energía para el desarrollo de la población más vulnerable: La destinación de los recursos de los Fondos Especiales del Ministerio de Minas y Energía dirigidos a mejorar la cobertura y calidad del servicio a la población más vulnerable, se realizará bajo criterios que promuevan la equidad regional y teniendo en cuenta el Plan Nacional de Consolidación Territorial. Así mismo, el Gobierno nacional trabajará en la implementación de esquemas sostenibles y financieramente viables que permitan la prestación del servicio para los usuarios más pobres<sup>9</sup>.

El sector minero-energético además de ser una locomotora para el crecimiento, tiene la gran responsabilidad de garantizar el abastecimiento energético para el desarrollo sostenible de las demás locomotoras. En este sentido, el compromiso se centra en suplir la demanda con energéticos de calidad, de manera confiable y que a su vez contribuyan con la conservación del medio ambiente”<sup>10</sup>.

<sup>9</sup> Santos Juan. *Plan Nacional de Desarrollo 2010 – 2014 “Prosperidad para todos”,* pg. 282

<sup>10</sup> Santos Juan. *Plan Nacional de Desarrollo 2010 – 2014 “Prosperidad para todos”,* pg. 609, 610

En cuanto al plan de desarrollo departamental el proyecto está respaldado por eje estratégico Nariño productivo y competitivo programa desarrollo productivo subprograma minería sostenible y producción energética<sup>11</sup>

“La productividad y la competitividad de Nariño tienen también una inmensa posibilidad en el aprovechamiento de las potencialidades hídricas y geotérmicas de la región para la producción de energía con el fin de atender las necesidades del Departamento y exportar energía a países de Suramérica”<sup>12</sup>.

En relación al plan de desarrollo municipal el proyecto se encuentra enmarcado en las políticas de fortalecimiento de la prestación de servicios y aumento de cobertura; las políticas y estrategias que lo respaldan son:

#### Política sectorial

“Se incrementará la inversión pública con la finalidad de ofrecer mejores condiciones para la prestación de los servicios públicos y la construcción de infraestructura que permita cumplir con los criterios de eficacia, eficiencia, calidad y oportunidad, así como alcanzar las metas de cobertura proyectadas”.

#### Estrategia

“Fortalecimiento de la prestación de los servicios públicos domiciliarios con calidad, eficiencia y oportunidad mediante la estructuración y modernización empresarial que permita llegar a todos los habitantes del Municipio”<sup>13</sup>.

### 3.2.2. Antecedentes

La utilización de energías renovables ha sido uno de los campos de la ciencia y la tecnología de mayor desarrollo a nivel mundial en las últimas décadas, ante las perspectivas ventajosas que ofrece frente a los sistemas tradicionales de generación, en términos de costos, eficiencia y bajo impacto ambiental. En la actualidad, dentro de los planes de expansión energética en los países desarrollados, se prevé que las energías alternativas aporten al menos un 20% de la capacidad requerida, para atender adecuadamente sus necesidades.

La energía hidroeléctrica fue una de las primeras formas usadas para producir electricidad y en la actualidad es la segunda fuente y la forma más generalizada para la obtención de energía eléctrica. La energía hidroeléctrica es una energía renovable (al menos mientras el ciclo del agua continúe) que inicialmente aprovecha la energía potencial del líquido almacenado a nivel superior y posteriormente la energía cinética del agua para mover una turbina conectada a un generador, el voltaje generado se eleva mediante transformador, se transmite mediante redes de alta tensión y se distribuye mediante transformadores reductores y redes de baja tensión. Los efectos nocivos al medio ambiente dependen principalmente de la magnitud y modo de ejecución del proyecto. Otras de sus ventajas están en que las obras civiles y la maquinaria tienen una duración considerable y bajo coste de mantenimiento.

<sup>11</sup> Plan de Desarrollo Departamental 2012 – 2015, “Nariño Mejor”, pg. 90

<sup>12</sup> Plan de Desarrollo Departamental 2012 – 2015, “Nariño Mejor”, pg. 175

<sup>13</sup> Plan de Desarrollo Municipal El Tambo, 2012 – 2015, pg. 158

### 3.2.2.1 Implementación de PCHs en diferentes países.

#### Aspectos destacados PCH a nivel mundial 2009:

“En el mundo se han instalado aproximadamente 25,5 GW en plantas hidroeléctricas a pequeña escala. En los países en los que las PCHs han alcanzado una participación significativa en los balances energéticos, se ha contado con legislaciones e incentivos que favorecen el desarrollo de este tipo de sistemas. En el caso de China se han construido más de 89.000 micro centrales con una capacidad total de 6,3 GW y capacidad promedio de 70 kW”<sup>14</sup>.

China agregó 37 GW de capacidad de energía renovable, más que cualquier otro país en el mundo, para alcanzar 226 GW de la capacidad de las energías renovables total. A nivel mundial, cerca de 80 GW de capacidad de renovación se ha añadido, entre ellos 31 GW de hidráulica y 48 GW de capacidad no hidráulica. Adiciones de energía eólica alcanzó un récord de 38 GW.

China fue el principal mercado, con 13,8 GW, lo que representa más de un tercio del mercado mundial en marcha de apenas un 2 por ciento del mercado en 2004, Estados Unidos ocupó el segundo lugar con 10 GW. La proporción de generación de energía eólica en varios países alcanzó máximos históricos, incluido un 6,5 por ciento en Alemania.

Casi todas las industrias de energías renovables con experiencia crecimiento del sector manufacturero en 2009, a pesar de la continua crisis económica mundial, aunque muchos la expansión del capital planes se redujeran o pospuestos. Deterioro de acceso a mercados de valores, la dificultad para obtener financiación, y consolidaciones industriales negativamente afectado a casi todos los las empresas.

"Estímulo verde" desde finales de los esfuerzos-2008 por muchos de los las principales economías del mundo ascendió a cerca de \$ 200 mil millones aunque la mayoría de estímulo fue lento al arrancar o menos 10 por ciento de los fondos de estímulo verde se había gastado durante 2009<sup>15</sup>.

### 3.2.2.2 Implementación de PCHs en Colombia.

Colombia tiene grandes posibilidades para una amplia difusión de pequeñas centrales hidroeléctricas en todo el país.

“Colombia ha sido clasificada, como el cuarto país en el mundo con capacidad hidráulica. Según las estadísticas, Colombia tiene un caudal en los principales ríos de 52.075, m<sup>3</sup>/s y un área total de 1.141.748 km<sup>2</sup>.

En cuanto a hidroelectricidad en proyectos grandes, según el Inventario de Interconexión Eléctrica S.A. -ISA-, se cuenta un potencial de 93.085 MW con unos inventarios de 308 proyectos mayores de 100 MW. De este potencial se han instalado 7.700 MW. Según el Plan Energético Nacional -PEN-, en pequeñas Centrales Hidroeléctricas, se ha estimado un potencial global de 25.000 MW

<sup>14</sup> Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia (PDFNCE), Volumen 2 - Diagnóstico de las FNCE en Colombia, 2010, pg. 185

<sup>15</sup> Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia (PDFNCE), Volumen 2 - Diagnóstico de las FNCE en Colombia, 2010, pg. 183

instalables, de los cuales según inventario de del Programa Nacional de Energías No Convencionales y de estudios adelantados por la Universidad Nacional de Colombia, se han construido 197 Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, con una capacidad instalada aproximada de 220 MW. A pesar de contar con este gran potencial, en proyectos grandes se sólo se ha explotado un 8,27% y en Pequeñas Centrales Hidroeléctricas el 0,9%. En el año 2008 el IDEAM en convenio de la UPME desarrollaron una investigación en la cual el potencial se estima del orden de 8.000 MW<sup>16</sup>.

Además las empresas dedicadas a la generación y distribución de energía e instituciones financieras muestran gran interés en programas nacionales para la rehabilitación de pequeñas centrales, ya que es una alternativa económica para el abastecimiento de energía. La mayor parte de la energía eléctrica generada en zonas aisladas de Colombia, proviene de pequeñas centrales hidroeléctricas en un rango de instalación entre 100 y 10000 kW.

### 3.2.2.3 PROYECTOS DE PCHS DESARROLLADOS

En marzo de 1996 se inauguró Río Frío II de 9,6 MW construida por la Compañía de Electricidad de Tuluá. Adicionalmente se han construido e instalado aproximadamente 50 pico centrales con potencias entre 300 y 900 vatios entre 1994 y 1995 y en el año de 1995 se instaló una Micro central de 6 kW en el parque nacional de los Guacharos Huila.

EMPRESAS PRIVADAS: Las Empresas privadas han Ejecutado entre otras las siguientes PCHs: Patico La Cabrera Potencia de 1500 KW construida por GENELEC, PCH Río Piedras, en el año 2010 se rehabilito la PCH Coconuco en Cauca, EPSA Construyo Amaine, actualmente está Construyendo Bajo y alto Tuluá y EPM entre otras Empresas está construyendo PCHs<sup>17</sup>.

El Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas (IPSE) ha llevado a cabo la ejecución de varios proyectos en diferentes lugares de Colombia, tales como la Micro central hidroeléctrica en el Parque Ecoturístico El Salado; la cual genera 16 KW aprovechando un caudal de 35 litros por segundo y una caída hidráulica de 61 metros; también ejecuto la construcción y puesta en operación de la pequeña central hidroeléctrica de 55 kw en la departamento de Antioquia de Colombia, implementada en el Municipio de Urao, Corregimientos de La Encarnación, Veredas Barrancos y San Rafael, la cual aprovecha una caída de 40 metros y beneficia a 420 habitantes.

A continuación se hace énfasis en algunos proyectos llevados a cabo con éxito en Colombia.

- **PCH Santa Ana**

Dentro del programa de obras orientado a reducir la vulnerabilidad del Sistema de Abastecimiento Chingaza, la EAAB – E.S.P. construyó, entre los años 2000 y 2003, el Túnel Alterno de Usaquén y la PCH de Santa Ana.

---

<sup>16</sup> *Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia (PDFNCE), Volumen 2 - Diagnóstico de las FNCE en Colombia, 2010, pg. 185*

<sup>17</sup> *Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia (PDFNCE), Volumen 2 - Diagnóstico de las FNCE en Colombia, 2010, pg. 187*

La PCH aprovecha el salto disponible de 105,9 metros, entre la Planta de Tratamiento Francisco Wiesner, ubicada en el municipio de la Calera sobre el Embalse de San Rafael, y el Tanque de Almacenamiento de Santa Ana, localizado al norte de Bogotá, en la localidad de Usaquén.

Diseñada para un flujo de agua de 13,5 m<sup>3</sup>/s, la PCH cuenta con una capacidad instalada de 13,43 MW, que podría permitirle generar 90 GWh/año, y utiliza una turbina Francis Neirpic para producir, con agua tratada, energía eléctrica limpia que entrega a la Red del Sistema Interconectado Nacional. La reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) que genera la operación de la PCH se encuentra en el desplazamiento de fuentes fósiles que se produce al estar interconectada a la red nacional de transmisión de energía eléctrica y tener prioridad de despacho en el sistema interconectado nacional.

La PCH empezó a operar en junio de 2005 y su periodo de acreditación de 10 años como Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) inició el 1 de agosto de ese año.

Como MDL se estima que la PCH puede generar una reducción total de 206,424 Ton de CO<sub>2</sub>e, durante los 10 años de acreditación del proyecto, al considerar una generación anual esperada de 47 GWh y el Coeficiente de Emisiones para la Red calculado por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) del Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 0,4392 Ton CO<sub>2</sub>e/kWh.

- **Central hidroeléctrica la Herradura**

Cuenta con una capacidad instalada de 19,8 MW. La captación del proyecto, sobre el río La Herradura, está localizada en el municipio de Frontino, mientras que la casa de máquinas, las obras de conducción y la descarga de aguas turbinadas al río Cañas gordas se encuentran en el municipio del mismo nombre.

La central aprovecha la parte alta y media de la cuenca del río La Herradura hasta aguas arriba de la desembocadura de la quebrada Pizarro, en la cota 1.187. La cuenca aprovechable tiene una extensión de 324 km<sup>2</sup> y drena en el sitio de captación un caudal de 13,8 m<sup>3</sup> por segundo.<sup>65</sup>

- **Central hidroeléctrica La Vuelta**

Está ubicada en jurisdicción de los municipios de Frontino y Abriaquí, el primero situado a 160 km de Medellín, por la vía al mar, y el segundo a 30 km de Frontino. La central La Vuelta, con una capacidad instalada de 11,8 MW, entró en operación en octubre de 2004, hace parte, junto con la central La Herradura, del proyecto Desarrollo hidroeléctrico del río La Herradura.

La captación del proyecto está en el límite de los dos municipios, en la cota 1.600 m.s.n.m. aprovecha la parte alta y media de la cuenca del río La Herradura hasta la cota 1.600 m.s.n.m en la desembocadura de la quebrada La Nancu, en jurisdicción del municipio de Abriaquí.

- **Central hidroeléctrica Ayura**

Está localizada en Envigado a 12,5 kilómetros al sureste de Medellín, inició operación en 1983 y se convirtió, después de Piedras Blancas, en la segunda central de EPM con doble aprovechamiento: energía y acueducto, pertenece a la Gerencia Aguas, es operada y mantenida por la Gerencia Generación Energía. La central tiene una capacidad instalada de 20.000 kW y se sirve de las aguas desviadas del río Buey hacia el río Piedras, bombeando a su vez al Pantanillo. El caudal resultante junto con el de la quebrada las Palmas, conforma el embalse la Fe.

Las aguas captadas son conducidas a la casa de máquinas a través de un túnel de 8.600 m que en su parte final se trifurca para posibilitar el óptimo funcionamiento de la central y de su planta de tratamiento.

- **Micro Central Hidroeléctrica de Palmor.**

La capacidad actual de la planta es de 150 kW (aunque en este momento está generando 130 kW). El proyecto contempla la instalación de una segunda planta de 130 a 150 kW para suplir la demanda de energía del pueblo. La MCH “Miguel Medina” fue construida para y por la comunidad, gracias a la Cooperación Alemana a través del Programa Especial de Energía de la Costa Atlántica (PESENCA), con la participación del P.N.R, la Gobernación del Magdalena, Corporación Eléctrica de la Costa Atlántica (CORELCA), y Colturbinas (empresa que hizo las turbinas en funcionamiento).

La obra se inició en Enero de 1988, y se inauguró en Febrero 1991. Ha funcionado sin mayores contratiempos hasta la fecha, siempre con el mismo operario Juancho Carlo, quien se capacitó durante 2 años en el SENA. La relativa cercanía de Colturbinas en Barranquilla también creada en el marco de PESENCA –, ha facilitado el apoyo técnico necesario<sup>18</sup>.

- **Micro central hidroeléctrica Aguas Claritas**

El diseño final con ingeniería de detalle se ha aprobado; el IPSE y DPS serán co-financiadores vía FONADE.

Población beneficiada: 724 personas (253 viviendas)

Estado: Diseño finalizado - se espera empezar ejecución antes de finalizar el 2013

Ejecutores: IPS, IPSE, FONADE, CCEP

Componentes: Construcción MCH (100 kW) incluidas redes de interconexión entre poblaciones<sup>18</sup>.

- **Micro central hidroeléctrica El Yucal**

Beneficiarios: 426 personas (92 familias Embera)

Estado: Cierre financiero con co-financiación USAID/IPSE. Licitación antes de finalizar 2013

Donatario: Reserva Indígena Río Panguí

Componentes: Construcción de una MCH (18kW)<sup>18</sup>

### 3.2.2.4 EXPERIENCIAS EN PLANES Y PROGRAMAS DE PCHS<sup>19</sup>

En el país se han adelantado muchos y variados programas para el desarrollo de PCHs, liderados en el pasado por el antiguo Instituto Colombia de Energía Eléctrica (ICEL) y varios de ellos, con la participación de agencias internacionales como la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ), la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (JICA por sus siglas en inglés), el Gobierno Italiano. Además del ICEL, también otras empresas regionales como CORELCA y la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) adelantaron proyectos. En los proyectos de CORELCA

<sup>18</sup> USAID. *Seminario Internacional de Energización con Fuentes Alternativas, Pasto, Colombia, 2013.*

<sup>19</sup> *Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia (PDFNCE), Volumen 2 - Diagnóstico de las FNCE en Colombia, 2010, pg. 190*

participó la GTZ y el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). A continuación se describen estos proyectos:

- **Plan de Microcentrales ICEL:** Entre los años 1979 a 1982, el ICEL realizó estudios de prefactibilidad y factibilidad en sitios aislados. Los Proyectos evaluados en este Plan son los siguientes:  
 Unguía (1100 kW), Bahía Solano (2400 kW), El Calvario (200 kW), Santa Rosa (250 kW), Argelia (750 kW), Juradó (800 kW), Paya (48 kW), Pisba (36 kW), Mitú (650 kW), Aguazul (4800 kW), Puerto López (600 kW), Tame (1800 kW).  
 Con este programa se pretendía instalar cerca de 13,4 MW en zonas aisladas pero sólo se ejecutaron los proyectos de Paya y Pisba.
- **Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ):** El ICEL con el fin de aprovechar al máximo los equipos de generación, ejecutó un estudio con cooperación de la República Federal Alemana, para 21 Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, con lo cual incrementaría la potencia de cada planta.
- **Plan ICEL- JICA:** El ICEL solicitó al Gobierno del Japón en 1987, la realización de un estudio de rehabilitación para 82 pequeñas centrales eléctricas (3 térmicas, 62 hidráulicas y 17 diesel), las cuales eran operadas por 15 electrificadoras filiales del ICEL. De estas 82 Centrales se escogieron para estudios de factibilidad las siguientes PCHs: Municipal, Intermedia y San Cancio en el Departamento de Caldas y Julio Bravo en el Departamento de Nariño.
- **Proyecto Territorios Nacionales:** Este proyecto fue desarrollado por ICEL, con la colaboración del Gobierno Italiano; se seleccionaron 16 posibles proyectos, de las cuales se les realizaron a estudios de factibilidad técnico económica para los siguientes: San Pedro (12 MW), Mesetas (720 kW), Nunchía (entre 800 - 1000 kW), La Salina (500 kW), Recetor (450 kW), Tauramena (entre 600 - 800 kW).
- **Plan Microcentrales CORELCA - PESENCA:** CORELCA a través de PESENCA, en 1985, con la participación del ICA y la GTZ, desarrolló un programa en la Costa Atlántica cuyos resultados fueron los siguientes: Palmor (Magdalena, 125 kW, en operación), Caracolí (Guajira, 100 kW, en construcción), Palestina (Magdalena, 8,5 kW), Paucedonia (Magdalena, 15 kW, en operación), Siervo Arias (Magdalena, 12 kW, en operación), Sacramento (Magdalena, 23 kW, en operación), Río Piedras (Magdalena, 250 kW, en construcción), rehabilitación de la PCH de Gaira (Magdalena, 1090 kW), Mico Ahumado (Bolívar, 120 kW, en construcción), Machosolo (Magdalena, 10 kW, en operación). En este Plan se identificaron los proyectos de: Nabusinake (Magdalena, 30 kW), Simití (Bolívar, 1900 kW), Santa Rosa de Simití (Bolívar, 300 kW), Villa Germanía (Cesar, 60 kW).
- **Proyecto Piloto en Zonas Aisladas:** El Ministerio de Minas y Energía, fue encargado por el Gobierno Nacional para adelantar los siguientes Proyectos Piloto para suministro de Energía Eléctrica: Cumbitara (Nariño, 125 kW, en construcción), Acandí (Chocó, 300 kW, en proyecto), La Macarena (Meta, 150 kW, en proyecto), Caracolí (Guajira, 100 kW, en construcción), Bahía Solano (Chocó, 600 kW, Puerto López (Cauca, 300 kW, en construcción).

- Plan de Rehabilitación de PCHs por la CVC: En 1983, la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca -CVC- realizó estudios de rehabilitación de las siguientes centrales: Cali I y II, Nima I y II, Guadalajara, El Rubor, La Rivera, Riofrío y Consota. En 1992 inició gestiones para la consecución de los recursos financieros necesarios para emprender los trabajos de recuperación de estas instalaciones, con un costo total estimado de MUS\$ 23.
- El ICEL ( 1995-1997) realizó un programa de construcción de PCHs: Chorrera(Amazonas) 40 kW, San Pedro 15000 kW, López de Micay(Cauca) 450 kW, Guapi (Cauca) 13500 kW, Timbiquí (Cauca) 8800 kW, B. Solano (Choco) 2220 kW, Unguía (Choco) 1100 kW, Acandí 250 kW, Pizarro 2000 kW, San José de Guaviare 15000 kW, El retorno 110 kW, La Macarena 600 kW, Puerto Carreño 5000 kW, Bocas de Satinga 3030 kW, Mocoa (Putumayo) 22000 kW y Mitú (Vaupés) 320 kW, que adicionaran al sistema 114,8 MW.
- El INEA (1995-1997) adelantó los siguientes proyectos: Diagnóstico técnico de rehabilitación de PCHs fuera de servicio, Adecuación de criterios de diseño de PCHs y Levantamiento del potencial hídrico para generación hidroeléctrica a pequeña escala.
- IPSE (1997-2010) El IPSE estudió posibilidad de construcción de PCHs en territorios Nacionales y en el año 2009 por gestión del IPSE y Licitación Internacional de FONADE se inició la Construcción de la PCH Guapi.
- Actualmente el IPSE se encuentra desarrollando la construcción de la PCH de Mitú con una inversión cercana a 112.800 Millones.

### **Evaluación de experiencias de energización rural en la costa norte de Colombia.**

La información sobre la evaluación ex-post de proyectos de energización rural en Colombia es muy limitada. Uno de los pocos estudios de evaluación disponibles es el realizado para FUNDESARROLLO en 1999 siguiendo los lineamientos de esa institución y de la UPME sobre proyectos realizados en la Costa Atlántica. La evaluación consideró varios programas como el Plan de Electrificación Rural de la Costa Atlántica (PERCAS), el Plan de Electrificación Rural de Zonas No Interconectadas (PEZNI), el Programa Especial de Energía de las Costa Atlántica (PESENCA entre 1985 y 1995) y el Plan de Inversiones Prioritarias de la Costa Atlántica (PLANIEP, concluido en 1999), principalmente. A diferencia de todos los planes considerados, PESENCA consideró para la energización rural energías renovables. Estas fuentes fueron la hidroelectricidad explotada en pequeña escala, el biogás producido por el estiércol del ganado y los sistemas fotovoltaicos que utilizan la luz solar para satisfacer las necesidades energéticas mínimas de una vivienda Es en este contexto y limitado a las PCH que se referirá el presente informe (una discusión más amplia se da más adelante). PESENCA realizó estudios de reconocimiento, factibilidad y diseño de PCHs, como se da en la Tabla 11.

PESENCA también realizó estudios para la rehabilitación de microcentrales eléctricas en el interior del país, tales como la de Julio Bravo en Nariño, la de Mirolindo en Tolima y la de La Cascada en el Valle del Cauca.

PESENCA dejó instaladas en la región 34 sistemas fotovoltaicos, 33 plantas de biogás y 8 microcentrales hidroeléctricas, incluyendo la rehabilitación de una planta existente de 1090 kW. (Gaira).

PESENCA también impulsó la formación de empresas en el sector de las PCH como las que se dan en la Tabla 10

**Tabla 10 Fomento a Empresas de PCHs por PESENCA**

NOMBRE	ACTIVIDAD
HIDROENERGÍA	-Desarrollo de Proyectos hidroeléctricos y ejecución de obras civiles.
COLTURBINAS	-Desarrollo de proyectos hidroeléctricos. -Fabricación de equipos electromecánicos. -Montajes y puesta en marcha.

Fuente: UPME

**Tabla 11 Resumen de estudios de proyectos de PCH's en la costa realizados por PESENCA**

Proyecto	Localidad	Costo del Estudio (\$)	Nº de Viviendas a beneficiar	Participación de PESENCA (%)	Entidades Participantes.
Pequeña Central de Gaira	Gaira-Magdalena	2.500.000	Interconexión	100	PESENCA
Minicentrales de Buritaca y Guachaca	Magdalena	1.000.000	—	100	PESENCA
Minicentral de Palmor	Palmor-Magdalena	5.200.000	182	80	CORELCA y PESENCA
Minicentral de Santa Rosa del Sur	Sta. Rosa-Bolívar	2.554.500	660	100	PESENCA
Minicentral de Caracolí	San Juan del Cesar – Guajira	4.379.900	133	100	PESENCA
Minicentral de Pueblo Bello	Pueblo bello-Cesar	1.000.000	Interconexión	0	Electrocesar y PESENCA (Asesoría)
Microcentrales Sierra Nevada y Sur de Bolívar	Magdalena-Bolívar	5.000.000	—	0	PNR, CORELCA y PESENCA
Minicentral Villa Germania	Valledupar-Cesar	2.000.000	—	0	PNR, Comité de Cafeteros del Cesar, PESENCA y Electrocesar
Minicentral de la Soledad	Argelia-Antioquia	4.977.993	—	0	DNP, CORNARE y PESENCA (Asesoría)
Minicentral de Acandí	Acandí-Chocó	6.000.000	—	0	Mimmas, Electrochocó, Alcaldías de Acandí y PESENCA
Minicentrales La Puerta	Caí-Valle	1.000.000	23	0	CORDESAL, SWISSAID y PESENCA (Asesoría)
Minicentral de Nico Azumado	Merales-Bolívar	4.997.525	110	0	PNR, Electribol y Fundación PESENCA
Minicentral de Villa Germania. Diseños Obras Civiles	Valledupar-Cesar	4.379.500	133	100	PESENCA
Pequeña Central de Mirolindo	Ibagué-Toima	4.000.000	—	0	S.E.T. Fundación PESENCA
Pequeña Central Julio Bravo	Pasto-Nariño	11.958.339	—	0	Coponariño, GTZ, Fundación PESENCA
Minicentral de Soto Mayor	Soto Mayor-Nariño	1.411.838	Mina Esparta	0	Coponariño, GTZ, Fundación PESENCA

Fuente: FUNDESARROLLO

Los principales resultados de la evaluación de FUNDESARROLLO relacionados con PCHs y en general con las FENR son:

Algunos de esos proyectos ya no estaban en operación (en 1999) por daños sufridos en los equipos o porque fueron remplazados por la interconexión a las redes eléctricas y el suministro de gas.

- Los daños ocurridos en los equipos se debieron a la falta de mantenimiento oportuno y adecuado.
- La política de PESENCA de entregar los proyectos a las comunidades para su operación y mantenimiento, asumiendo que éstas serían capaces de sostenerlos, resultó errada.
- De los 8 proyectos hidroeléctricos construidos con la participación de PESENCA, 3 se encontraban en 1999 en operación.
- Estas cifras demuestran que es necesario poner en práctica un sistema que garantice la sostenibilidad de los proyectos que dependen de las comunidades.
- A pesar de los problemas encontrados, las pequeñas centrales hidroeléctricas y los sistemas fotovoltaicos siguen siendo soluciones adecuadas para suplir las necesidades energéticas de poblaciones pequeñas y alejadas de las redes existentes.

### 3.2.3. Marco del Arte

#### 3.2.3.1 Definiciones

- **Energía Hidroeléctrica<sup>20</sup>**

La energía hidroeléctrica aprovecha la energía potencial y cinética del agua y en este mismo hecho dentro de sus principales desventajas está la dependencia de niveles de agua dados por condiciones meteorológicas de lluvia y sequía, el alto impacto ecológico en algunos casos y los altos costos por la necesidad de construcciones de obras civiles como represas y embalses y los estudios previos de factibilidad usualmente efectuados para grandes centrales.

#### 3.2.3.2 Pequeña Central Hidroeléctrica (PCH) Definición y clasificación.

Según La Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), se define una PCH como una instalación donde se utiliza la energía hidráulica para generar reducidas cantidades de electricidad de 500 hasta 5000 KW aproximadamente, por medio de uno o más grupos de conjuntos turbina/generador.

Las PCH son centrales de generación hidroeléctrica, con una potencia de generación baja. En su mayoría se construyen en zonas aisladas y no representan gran importancia para el sistema de interconexión nacional ya que su área de influencia es muy reducida. Se pueden definir como el conjunto de obras civiles y estructuras hidráulicas generales y específicas que, complementadas con su correspondiente equipo electromecánico, aprovechan las energías potencial y cinética del agua para producir energía eléctrica. Esta energía es conducida por diferentes líneas de transmisión a los centros de consumo, en donde se utiliza en alumbrado público y residencial, operación de aparatos electrodomésticos y demás necesidades eléctricas de la zona en donde se lleve a cabo el proyecto.

<sup>20</sup> Investigación y compilación de documentación técnica, legal y pertinente para la caracterización de una pequeña central hidroeléctrica en el municipio de Tame.

- **Clasificación según Potencia y salto.**

Las PCH se clasifican según la potencia producida o según el salto (altura vertical desde el nivel libre del agua en la cámara de presión, hasta el nivel de máximo aprovechamiento de la turbina) como se aprecia en la Tabla 12 y Tabla 13:

**Tabla 12 Clasificación PCH según potencia**

Según Potencia	
Tipos	Potencia
Picocentrales	0,5 a 5 KW
Microcentrales	5 a 50 KW
Minicentrales	50 a 500 KW
Pequeñas centrales hidroeléctricas	500 a 5000 KW

**Tabla 13 Clasificación PCH según salto en metros**

Según salto en metros			
Tipos	Bajo	Medio	Alto
Microcentrales	<15	14-50	>50
Minicentrales	<20	20-300	>100
PCH's	<25	2,25 a 130	>130

- **Clasificación según la forma de utilización.**

Según su forma de utilización las PCH's se pueden clasificar de acuerdo a:

**Su captación:** pueden ser de paso o con embalse

**Su operación:** la cual puede ser continua con una disponibilidad de 24 horas al día todo el año, o discontinua con operación de tiempo parcial.

**Su regulación:** esta puede ser regulable de forma manual o automática o de carga constante donde el exceso se disipa.

**Su vinculación al sistema eléctrico:** en este rango se tienen centrales aisladas y centrales integradas o interconectadas.

Su concepción tecnológica: se tienen Centrales con tecnologías convencionales (Según normas de países industrializados) y Centrales con tecnologías no convencionales (Según tecnología local adecuada a las condiciones del país).

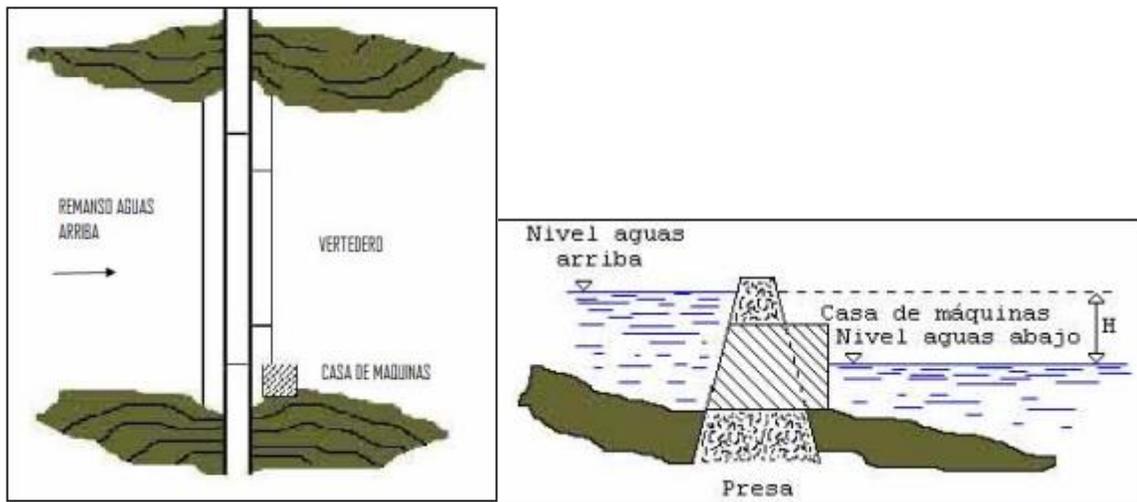
## TIPOS DE CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

El aprovechamiento hidroenergético se puede realizar construyendo una presa para crear un embalse, esta forma requiere de gran profundidad en su diseño y gran tecnología. Este tipo de obra no es recomendable para las pequeñas centrales, por cuanto son obras costosas que en la mayoría de los casos encarecen el costo de kilovatio instalado. La otra forma es por medio de la derivación del caudal; este caso tiene un fácil diseño y es posible usar tecnología regional; en Colombia, este es el tipo de PHC usada.

Desde el punto de vista de cómo utilizar el agua para la generación, las centrales hidroeléctricas se pueden clasificar en:

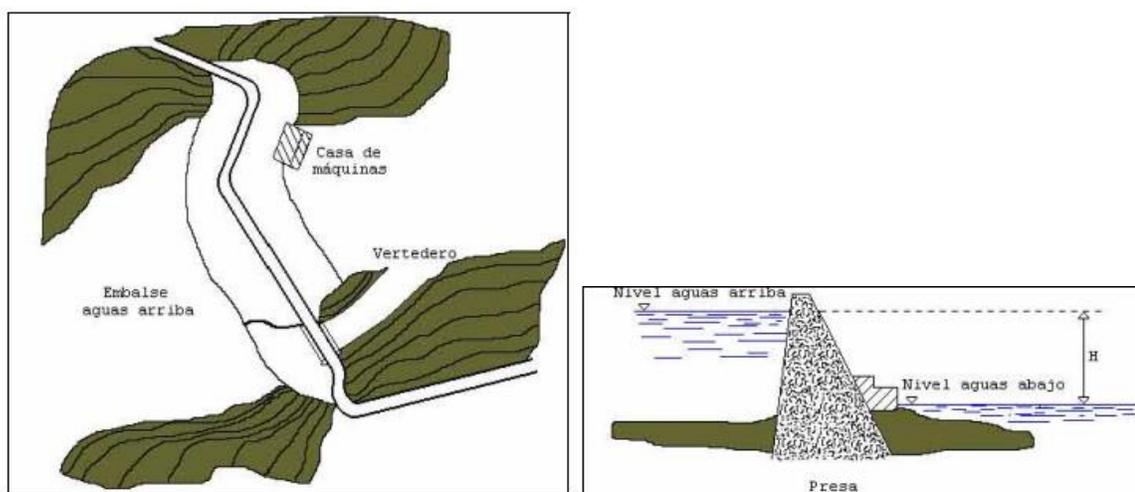
**Central a filo de agua:** También denominadas centrales de agua fluyente o de pasada, utilizan parte del flujo de un río para generar energía eléctrica. Operan en forma continua porque no tienen capacidad para almacenar agua, no disponen de embalse. Turbinan el agua disponible en el momento, limitadamente a la capacidad instalada. En estos casos las turbinas pueden ser de eje vertical, cuando el río tiene una pendiente fuerte u horizontal cuando la pendiente del río es baja.

**Figura 2 Central a filo de agua**

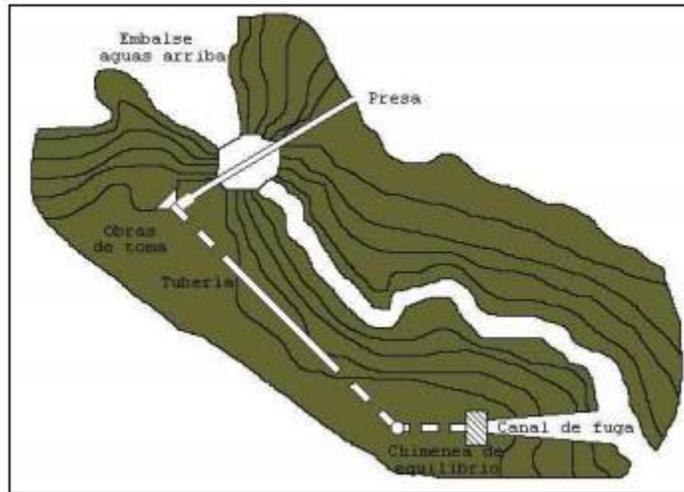


**Central acoplada a uno o más embalses:** Es el tipo más frecuente de central hidroeléctrica. Utilizan un embalse para reservar agua e ir graduando el agua que pasa por la turbina. Es posible generar energía durante todo el año si se dispone de reservas suficientes. Requieren una inversión mayor. Existen dos variantes de esta central hidroeléctrica:

**Figura 3 Central acoplada a un embalse**



**Figura 4 Central hidroeléctrica por derivación del agua**



**Central de bombeo:** Son un tipo especial de centrales hidroeléctricas que posibilitan un empleo más racional de los recursos hidráulicos de un país. Disponen de dos embalses situados a diferente nivel. Cuando la demanda de energía eléctrica alcanza su máximo nivel a lo largo del día, las centrales de bombeo funcionan como una central convencional generando energía.

Al caer el agua, almacenada en el embalse superior, hace girar el rodete de la turbina asociada al alternador. Después el agua queda almacenada en el embalse inferior. Durante las horas del día en la que la demanda de energía es menor el agua es bombeada al embalse superior para que pueda hacer el ciclo productivo nuevamente. Para ello la central dispone de grupos de motores-bomba o, alternativamente, sus turbinas son reversibles de manera que puedan funcionar como bombas y los alternadores como motores.

### Información básica para el diseño de PCH's.

El análisis de las posibilidades hidroeléctricas de las cuencas hidrográficas, parte del conocimiento de estudios de topografía, hidrología, geología y de suelos, ya que son la base para el diseño de todas las obras civiles necesarias, en la construcción de las PCH's; además permite prever los impactos generados por la puesta en operación de las mismas.

Es necesario tener en cuenta las ventajas y desventajas de la energía hidroeléctrica a pequeña escala.

### Ventajas de la energía hidroeléctrica a pequeña escala

- Es una fuente limpia y renovable de energía: No consume agua, solo utiliza su energía potencial. No emite gases invernaderos y los impactos al sector donde se instala la central no son significativos.
- Disponibilidad: Este recurso inagotable mientras el ciclo del agua perdure y se conserve en la cuenca del río intervenido.
- Bajos costos de operación: Ya que no se requiere de combustibles y las necesidades de mantenimiento son relativamente bajas.

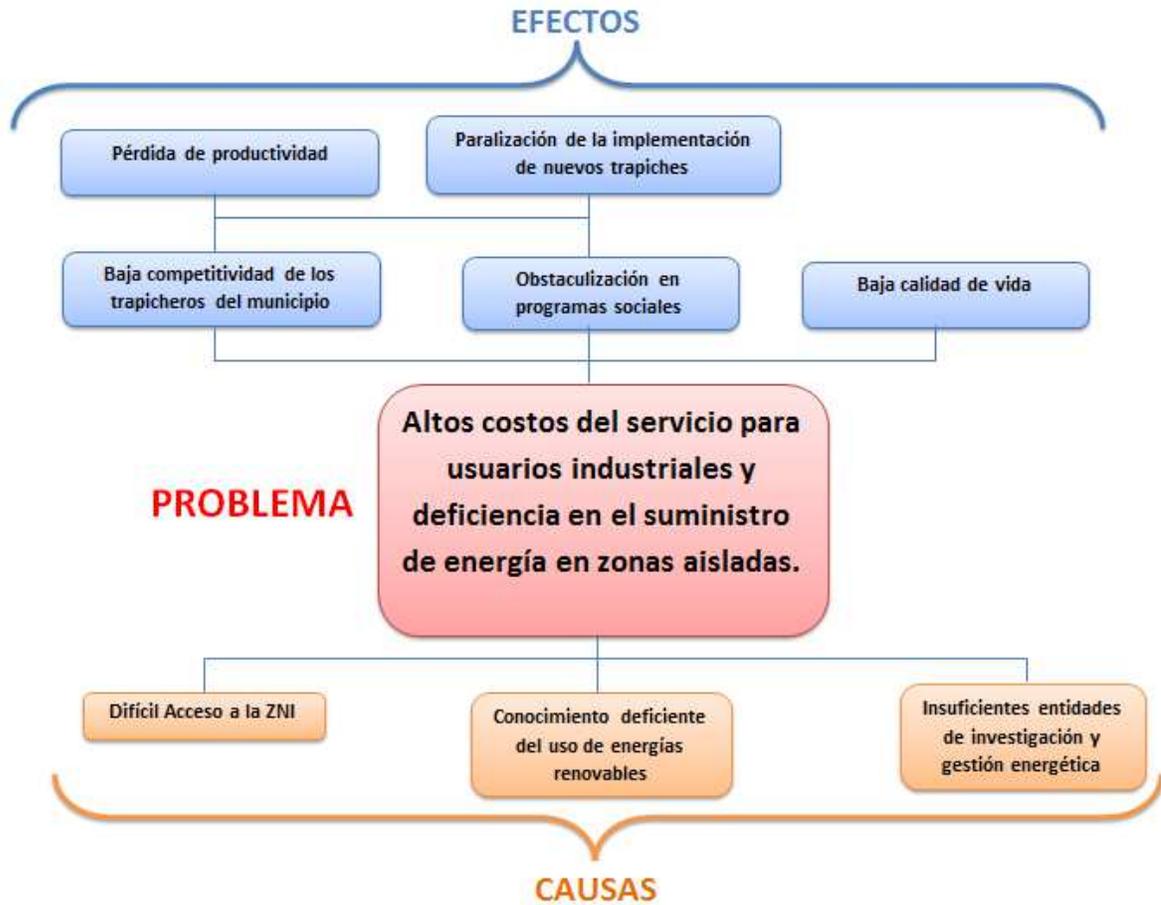
- Funciona a Temperatura ambiente y “operación en frío”: no se requiere emplear sistemas de refrigeración ó calderas que consumen energía y en muchos casos contaminan.
- Eficiencia: Esta tecnología posee altas eficiencias de conversión de la energía potencial a energía mecánica y eléctrica (entre 75% y 90%) que es mayor al de otras tecnologías.
- Vida útil: La tecnología es robusta y posee larga vida útil. Los sistemas pueden mantenerse funcionando por 50 años o más sin requerir grandes inversiones para reemplazar componentes.

#### **Desventajas de la energía hidroeléctrica a pequeña escala**

- Alto costo inicial: La inversión requerida está muy concentrada en el desarrollo inicial del proyecto.
- Disponibilidad Local: La tecnología depende de las condiciones geográficas, climatológicas e hidrológicas por lo que no está disponible en cualquier sitio. Además en muchos casos lo sitios aptos están muy lejanos del sistema de transmisión.
- Variabilidad del caudal: como estas centrales por lo general no disponen de gran capacidad de almacenamiento de agua, la potencia máxima generada está determinada por el caudal el que puede variar considerablemente de una temporada a otra.

**Necesidad de estudios:** Los proyectos de pequeñas centrales requieren de estudios técnicos para conocer el potencial disponible y la factibilidad técnica, estos implican un costo y un plazo mayor para la puesta en marcha.

### 3.3. Problema Central, Causas y Efectos



## 4. FORMULACION DE LA ALTERNATIVA

Después de realizar un reconocimiento del río EL Salado en las veredas Yunguilla y San Pedro, con la información suministrada por funcionarios de la alcaldía y habitantes del municipio, el equipo de profesionales finalmente evaluó y presentó una alternativa a la implementación de una PCH para beneficio del municipio sobre dicho río.

### 4.1 Nombre de la Alternativa

Análisis de construcción y puesta en operación de una pequeña central hidroeléctrica que favorezca la ZNI del sector industrial panelero perteneciente a familias afectadas por el conflicto armado en el municipio El Tambo.

### 4.2 Resumen de la Alternativa

El proyecto se propone desarrollar en el municipio El Tambo, enfocándose específicamente en el sector industrial panelero cuyas familias pertenecen al programa del gobierno post cultivos ilícitos UACT. A la asociación pertenecen 14 trapiches de los cuales 10 se encuentran conectados a la red y 4 funcionan con plantas diésel, los cuales asumen altos costos por consumo energético de los molinos y demás elementos asociados a los trapiches. Es por esto que se hace imperante mejorar las condiciones en calidad de vida y productividad de dichas familias por medio de una pequeña central hidroeléctrica que permita suplir la demanda energética bajo un esquema empresarial sostenible y que a través de capacitaciones tengan la suficiencia para su administración y manejo operativo.

En resumen, la población objetivo del proyecto se centra en 4 trapiches no interconectados y 30 familias actualmente sin servicio de energía en locaciones cercanas al proyecto. Aunque los trapiches están cerca de puntos de interconexión, la geografía del municipio y las dificultades técnicas, hacen que la conexión a la red de estos usuarios industriales sea poco factible. Esto se evidencia por la actual solución por medio de plantas diésel, sumada al alto costo de la energía y la deficiente calidad de la prestación del servicio en la cola del sistema de distribución de la cabecera municipal.

### 4.3 Objetivos

#### 4.3.1 Objetivo General

Realizar un estudio detallado de ingeniería para la construcción de una central de generación hidráulica en el sector industrial panelero perteneciente a familias bajo el programa contra cultivos ilícitos de la UACT en el municipio El Tambo.

#### 4.3.2 Objetivos Específicos

1. Determinar la oferta y demanda energética y proyectada para el sector industrial panelero del municipio El Tambo.
2. Establecer la localización más óptima para la ubicación de las obras civiles e infraestructura eléctrica.

3. Lograr un análisis económico, técnico y socio ambiental basado en la capacidad de generación de energía eléctrica y las características del área beneficiada por el proyecto.
4. Disponer de un esquema empresarial de autoabastecimiento y sostenibilidad del servicio de energía para el sector industrial panelero beneficiado.

#### 4.4 Productos, Actividades y Personal Requerido

**Tabla 14 Productos, actividades y personal para objetivo uno**

Producto	Código Actividad	Actividad	Personal
1. Documento sobre la oferta y demanda energética del sector industrial panelero del municipio El Tambo.	A1-1	Recopilación de información histórica y actual sobre la oferta y demanda energética del sector industrial panelero municipio El Tambo.	Economista Asistente Inv.
	A1-2	Procesamiento y análisis de información referente a la oferta y demanda energética del sector industrial panelero municipio El Tambo.	Economista
2. Documento sobre la oferta y demanda energética proyectada del sector industrial panelero del municipio El Tambo.	A2-1	Estimación de un modelo matemático de proyección de acuerdo con los datos históricos obtenidos del sector industrial panelero municipio El Tambo.	Economista
	A2-2	Proyección de la oferta y demanda energética del sector industrial panelero municipio El Tambo.	Economista

**Tabla 15 Productos, actividades y personal para objetivo dos**

Producto	Código Actividad	Actividad	Personal
3. Documento sobre estudio topográfico, hidrológico y geotécnico	A3-1	Recopilación de datos de campo topográfico, hidrológico y geotécnico. Considerando mínimo dos alternativas.	Ing. Civil Asistente Inv. Geógrafo
	A3-2	Procesamiento y análisis de alternativas presentadas como lugares de construcción de PCH para determinar la localización más óptima.	Ing. Civil Geógrafo
4. Planos de obras civiles y eléctricas	A4-1	Diseños de obras civiles: captación, conducción, desarenador, cámara de carga, conducción a presión, sistema de apoyos, casa de máquinas	Ing. Civil
	A4-2	Diseños de turbina, generador eléctrico, subestación, red de transmisión y distribución.	Ing. Mecánico Ing. Eléctrico

**Tabla 16 Productos, actividades y personal para objetivo tres**

Producto	Código Actividad	Actividad	Personal
5. Documento de estudio ambiental	A5-1	Estudio del impacto ambiental en las etapas de planeamiento, construcción y operación de la planta	Ing. Ambiental
	A5-2	Elaboración de una guía ambiental a tenerse en cuenta en posteriores etapas del proyecto.	Ing. Ambiental
6. Documento sobre la evaluación socio económica y del recurso hidroenergético.	A6-1	Evaluación socio económica y realización de estructura de costos de una PCH y calculo de rentabilidad	Ing. Civil Ing. Eléctrico Ing. Mecánico Economista
	A6-2	Evaluación del potencial hidroenergético relacionando los limitantes socio ambientales	Ing. Ambiental Economista

**Tabla 17 Productos, actividades y personal para objetivo cuatro**

Producto	Código Actividad	Actividad	Personal
7. Documento con alternativas de esquemas empresariales.	A7-1	Recopilación de esquemas empresariales relacionados con asociaciones tipo panelero	Economista
	A7-2	Elaboración de un documento consolidado con las diferentes características para la creación de una empresa para la administración y gestión energética	Economista
8. Esquema empresarial sostenible y de autoabastecimiento.	A8-1	Asignación de responsabilidades, deberes y funciones de los actores directamente involucrados y que harán parte de la empresa bajo la aprobación de todos.	Economista
	A8-2	Creación de un documento guía sobre el esquema empresarial diseñado que permita que el proyecto sea sostenible en un marco de autoabastecimiento.	Economista

#### 4.5 Identificación y Descripción de la Innovación Propuesta

La construcción de las hidroeléctricas se encuentra ampliamente estandarizada y clasificada, de igual manera la tecnología y todos los elementos de estudio técnico e investigativo en las tres etapas, planeamiento, construcción y operación.

La implementación de una mini central hidroeléctrica para el sector panelero del Municipio El Tambo mejora la prestación y calidad del servicio con la posibilidad de llegar a los trapiches en ZNI a la vez que dicho sector industrial se ve fortalecido en producción, capacitaciones técnicas de operación, e ingresos económicos, todo reflejado en un bienestar común social y ambiental.

#### 4.6 Metodología y Distribución de Responsabilidades

La metodología de la presente propuesta se fundamenta en un análisis previo de la capacidad energética de la región. Por lo tanto, se iniciará con la descripción de lo realizado y la respectiva información obtenida, para luego presentar los detalles de las actividades que se llevarán a cabo para lograr los objetivos planteados en este documento.

Se recuerda que son 14 trapiches de los cuales 10 están interconectados y 4 no interconectados. Se realiza la proyección para los trapiches no interconectados en un horizonte de 10 años desde 2016 hasta el 2025 y puesto que no habrá construcciones de más trapiches a corto y mediano plazo, solo se va a considerar una demanda en dichos trapiches hasta el doble del déficit máximo actual 56,696 kW, lo que significa aproximadamente una tasa de crecimiento anual del 7,17%, esto es, en el año 10 el déficit máximo proyectado es:

$$(56,696 \text{ kW})(1,0717)^{10} = 113,314 \text{ kW}$$

El valor de demanda máximo para los 10 trapiches interconectados en el año 10 considerando la demanda actual 175 kW, es:

$$(175,31 \text{ kW})(1,0717)^{10} = 350,379 \text{ kW}$$

Para caudal máximo de 0,2m<sup>3</sup>/s\* se obtuvo una potencia generadora de 220 kW por tanto esto suplirá el déficit que en el año 10 que será de 113,314 kW.

\* En los estudios realizados se recomienda encontrar un punto óptimo de caudal para la necesidad de demanda y ver la posibilidad de energizar también a los trapiches que están interconectados a través de algún tipo de formalidad con CEDENAR.

#### 4.7 Indicadores de Objetivo General, de Producto y de Gestión

**Tabla 18 Indicadores que miden el objetivo general**

Indicadores que miden el Objetivo General		
Indicador	Meta	Unidad de Medida
Solución a nivel de factibilidad para la construcción y puesta en funcionamiento de una pequeña central hidroeléctrica que permite suplir de energía a los 14 trapiches pertenecientes a familias bajo el programa contra cultivos ilícitos de la UACT en el municipio.	Entrega de diseños, planos, guía ambiental, esquema empresarial de autoabastecimiento para la PCH.	1 Documento.

**Tabla 19 Indicadores de producto, objetivo uno**

Indicadores de producto, Objetivo específico 1				
Producto	Indicador	Unidad	Meta	Año
Oferta y demanda energética del sector industrial panelero	En el primer bimestre del 2014, se ha identificado en su totalidad la oferta y demanda energética del sector industrial panelero de El Tambo	Documento	Oferta y demanda energética	2014
Oferta y demanda energética proyectada del sector industrial panelero	El sector panelero de El Tambo en el segundo bimestre del 2014 cuenta con la proyección de oferta y demanda energética hasta el 2019	Documento	Proyección de oferta y demanda energética	2014

**Tabla 20 Indicadores de producto, objetivo dos**

Indicadores de producto, Objetivo específico 2				
Producto	Indicador	Unidad	Meta	Año
Estudio topográfico, hidrológico y geotécnico	al finalizar el primer semestre del 2014 se ha sugerido el lugar más óptimo para los diseños de obras civiles de la PCH en El Tambo	Documento	Definir un lugar óptimo para la construcción de PCH	2014
Planos de Obras civiles	Finalizando el 2014 se ha socializado el 100% de diseños de obras civiles, equipos electromecánicos, subestación, red transmisión y distribución para la implementación de la PCH	Documento	Diseños de obras civiles y elementos mecánicos - eléctricos al 100%	2014

**Tabla 21 Indicadores de producto, objetivo tres**

Indicadores de producto, Objetivo específico 3				
Producto	Indicador	Unidad	Meta	Año
Estudio ambiental	Se ha realizado el análisis y guía ambiental en las etapas de planeación, ejecución y operación de la obra de la PCH a agosto de 2014	Documento	Obtener una Guía ambiental	2014
Evaluación socio económica y del recurso hidroenergético.	Hacia Octubre de 2014 se ha evaluado el potencial hidroenergético, costos y rentabilidad de la PCH considerando limitantes socio ambientales	Documento	Análisis viabilidad económica	2014

**Tabla 22 Indicadores de producto, objetivo cuatro**

Indicadores de producto, Objetivo específico 4				
Producto	Indicador	Unidad	Meta	Año
Esquemas empresariales.	Hacia Octubre de 2014 se ha socializado las alternativas de esquemas empresariales pertinentes al proyecto	Documento	Alternativas esquemas empresariales	2014
Esquema empresarial sostenible y autoabastecimiento.	Hacia Noviembre de 2014 Se han definido y asumido responsabilidades en la administración, operación y manejo eficiente de la energía	Documento	Definir un esquema empresarial más apropiado	2014

#### 4.8 Fuentes de Verificación y Supuestos

**Tabla 23 Fuentes de verificación y supuesto para actividades, objetivo uno**

Fuentes de verificación y supuestos para actividades, Objetivo específico 1			
Código Actividad	Actividad	Fuentes de verificación	Supuestos
A1-1	Recopilación de información histórica y actual sobre la oferta y demanda energética.	Encuesta presidente Asociación Paneleros, certificado de permanencia El Tambo, Encuestas PERS-N	La alcaldía brindará el apoyo logístico de las visitas de campo, el presidente y la asociación entregará datos históricos y encuestas
A1-2	Procesamiento y análisis de información referente a la oferta y demanda energética	Memorias de cálculo	La cantidad de datos recopilados son suficientes, se contará con herramienta computacional y software de calculo
A2-1	Estimación de un modelo matemático de proyección de acuerdo con los datos históricos analizados	Memorias de cálculo	se contará con herramienta computacional y software de calculo
A2-2	Proyección de la oferta y demanda energética	Memorias de cálculo	se contará con herramienta computacional y software de calculo

**Tabla 24 Fuentes de verificación y supuesto para actividades, objetivo dos**

Fuentes de verificación y supuestos para actividades, Objetivo específico 2			
Código Actividad	Actividad	Fuentes de verificación	Supuestos
A3-1	Recopilación de datos de campo topográfico, hidrológico y geotécnico. Considerando mínimo dos alternativas.	Certificados de permanencia El Tambo, fotografías, constancia de materiales y equipo empleado.	La alcaldía brindará el apoyo logístico de las visitas de campo y el acceso vial estará normal, se tendrán los equipos de medición topográficos, hidrológicos y geotécnicos, se contará con el equipo de profesionales.
A3-2	Procesamiento y análisis de alternativas presentadas como lugares de construcción de PCH para determinar la localización más óptima.	Memorias de calculo	Los datos recopilados son suficientes, se contará con herramienta computacional y software de calculo
A4-1	Diseños de obras civiles: captación, conducción, desarenador, cámara de carga, conducción a presión, sistema de apoyos, casa de máquinas	Informe de diseños, constancia de socialización de diseños	Se ha encontrado un lugar óptimo para la PCH, se contará con herramienta computacional y software de cálculo, los proveedores estarán claramente identificados
A4-2	Diseños de obras de turbina, generador eléctrico, subestación, red de transmisión y distribución.	Informe de diseños, constancia de socialización de diseños	se contará con herramienta computacional y software de cálculo, los proveedores estarán claramente identificados

**Tabla 25 Fuentes de verificación y supuesto para actividades, objetivo tres**

Fuentes de verificación y supuestos para actividades, Objetivo específico 3			
Código	Actividad	Fuentes de verificación	Supuestos
A5-1	Análisis ambiental en las etapas de planeamiento, construcción y operación de la planta	Informe de análisis ambiental, fotografías, certificados de permanencia	Las etapas de planeación, construcción y operación estarán claramente caracterizadas sin ningún contratiempo operativo externo
A5-2	Elaboración de una guía ambiental	Documento Guía Ambiental	Se habrá hecho un análisis ambiental completo sin oposición de comunidad lugareña alguna.
A6-1	Evaluación socio económica y realización de estructura de costos de una PCH y calculo de rentabilidad	Memorias de cálculo	Se contará con los presupuestos de todos los diseños, oferta y demanda energética sin ningún tipo de contratiempo por hurto de equipos de computo.
A6-2	Evaluación del potencial hidroenergético relacionando los limitantes socio ambientales	Memorias de cálculo	se tendrá la guía ambiental, los presupuestos asociados a los diseños y la capacidad de generación considerando limitaciones socio ambientales permisibles.

**Tabla 26 Fuentes de verificación y supuesto para actividades, objetivo cuatro**

Fuentes de verificación y supuestos para actividades, Objetivo específico 4			
Código Actividad	Actividad	Fuentes de verificación	Supuestos
A7-1	Recopilación de esquemas empresariales relacionados con asociaciones tipo panelero	Informe de esquemas empresariales	Se tendrá información de modelos empresariales aceptados por los actores directamente involucrados.
A7-2	Elaboración de un documento consolidado con las diferentes características para la creación de una empresa para la administración y gestión energética	Informe de esquemas empresariales	Se tendrá definida la razón social de la empresa para la administración y gestión energética.
A8-1	Asignación de responsabilidades, deberes y funciones de los actores directamente involucrados y que harán parte de la empresa	Cartas de compromiso, constancia de socialización y asistencia	Los integrantes de la asociación de paneleros no se opondrán a sus responsabilidades, los actores cooperantes y beneficiados firmarán cartas de compromiso
A8-2	Creación de un documento guía sobre el esquema empresarial diseñado que permita que el proyecto sea sostenible en un marco de autoabastecimiento.	Guía esquema empresarial	El proyecto será económica, social y ambientalmente viable

**Tabla 27 Fuentes de verificación y supuestos para productos, objetivo uno**

Fuentes de verificación y supuestos para productos, Objetivo específico 1			
Producto	Indicador	Fuentes de Verificación	Supuestos
Oferta y demanda energética del sector industrial panelero	En el primer bimestre del 2014, se ha identificado en su totalidad la oferta y demanda energética del sector industrial panelero de El Tambo	Registro estadístico Asociación paneleros de El Tambo, informe de oferta y demanda	Existe información histórica de oferta y demanda energética en la Asociación de paneleros El Tambo o en CEDENAR
Oferta y demanda energética proyectada del sector industrial panelero	El sector panelero de El Tambo en el segundo bimestre del 2014 cuenta con la proyección de oferta y demanda energética hasta el 2019	Memorias de cálculo y registro estadístico	La información y datos históricos obtenidos son suficientes, se contará con equipo computacional y software de cálculo.

**Tabla 28 Fuentes de verificación y supuestos para productos, objetivo dos**

Fuentes de verificación y supuestos para productos, Objetivo específico 2			
Producto	Indicador	Fuentes de Verificación	Supuestos
Estudio topográfico, hidrológico y geotécnico	al finalizar el primer semestre del 2014 se ha sugerido el lugar más óptimo para los diseños de obras civiles de la PCH en El Tambo	constancia de materiales y equipo empleado, fotografías, certificados de permanencia, informe	se contará con los elementos de medición topográficos, hidrológicos y geotécnicos, se tendrá el equipo computacional y software especializado, acceso vial normal
Planos de Obras civiles	Finalizando el 2014 se ha socializado el 100% de diseños de obras civiles, equipos electromecánicos, subestación, red transmisión y distribución para la implementación de la PCH	informe de diseños, planillas de asistencia a socialización de obras civiles	Se contará con un lugar óptimo para construcción de PCH,

**Tabla 29 Fuentes de verificación y supuestos para productos, objetivo tres**

Fuentes de verificación y supuestos para productos, Objetivo específico 3			
Producto	Indicador	Fuentes de Verificación	Supuestos
Estudio ambiental	Se ha realizado el análisis y guía ambiental en las etapas de planeación, ejecución y operación de la obra de la PCH a agosto de 2014	Certificados de permanencia, fotografías, guía ambiental	Se tendrá claramente estudiadas las etapas de planeación, ejecución y operación de la PCH dado un acceso vial normal
Evaluación socio económica y del recurso hidroenergético.	Hacia Octubre de 2014 se ha evaluado el potencial hidroenergético, costos y rentabilidad de la PCH considerando limitantes socio ambientales	Informe de evaluación, memorias de cálculo, planilla de asistencia a socialización de evaluación.	se tendrá guía ambiental, capacidad de PCH, presupuestos de diseños bajo el hecho de no contar con alguna clase de hurto en equipos de computo

**Tabla 30 Fuentes de verificación y supuestos para productos, objetivo cuatro**

Fuentes de verificación y supuestos para productos, Objetivo específico 4			
Producto	Indicador	Fuentes de Verificación	Supuestos
Esquemas empresariales.	Hacia Octubre de 2014 se ha socializado las alternativas de esquemas empresariales pertinentes al proyecto	Informe de esquemas empresariales	Se tendrá definida la razón social de la empresa para la administración y gestión energética
Esquema empresarial sostenible y autoabastecimiento.	Hacia Noviembre de 2014 Se han definido y asumido responsabilidades en la administración, operación y manejo eficiente de la energía	Guía esquema empresarial, cartas de compromiso, planilla asistencia socialización esquema empresarial	Proyecto económica, social y ambientalmente viable, ningún actor impedirá las acciones del proyecto.

#### 4.9 Bienes y/o Servicios

Se brindará el servicio de energía eléctrica al sector industrial panelero de El Tambo supliendo la demanda energética de la maquinaria y demás elementos eléctricos provistos en los 14 trapiches existentes.

De los 14 trapiches, 10 están en ZI, y 4 por su ubicación no están conectados a la red eléctrica y por tanto funcionan con plantas diésel.

En un momento dado en el cual toda la maquinaria o molinos estén en funcionamiento a su máxima capacidad, la demanda máxima total es de 232,006 kW de los cuales 175,31 kW corresponden a los 10 trapiches en ZI y 56,696 kW a los 4 trapiches no interconectados.

De acuerdo a la información facilitada por la Asociación de paneleros no hay planes de la construcción de más trapiches a corto y mediano plazo, por tanto la demanda permanecerá constante.

**Tabla 31 Oferta, demanda y déficit por etapa del proyecto**

Etapa proyecto	Año	Oferta (kW)	Demanda (kW)	Déficit (kW)
Perfil	2013	175,31	232,006	56,696
Pre factibilidad - factibilidad	2014	175,31	232,006	56,696
Ejecución y operatividad	2015	175,31	232,006	0

#### 4.10 Beneficios e Ingresos

**Tabla 32 Beneficios por generación de mano de obra calificada**

Beneficios por Generación de Mano de Obra Calificada				
Formación	Número de Estudiantes	Salario Mensual	Salario Promedio Anual	Beneficio
Pregrado	1	\$ 1.724.471,00	\$ 20.693.652,00	\$ 20.693.652,00
Maestría	1	\$ 3.396.815,00	\$ 40.761.780,00	\$ 40.761.780,00
TOTAL				\$ 61.455.432,00

En la Tabla 8 se estimó para los 4 trapiches de ZNI facturación anual por concepto de combustible Diesel de \$ 76.800.000 COP, por otro lado si los mismos 4 trapiches tuvieran el servicio de una PCH pagando al costo de ZI, la facturación anual por concepto del servicio de energía sería de \$ 48.000.000 COP. Desde este punto de vista se estaría ahorrando \$ 28.000.000 en el año cero considerando el precio actual \$436 COP el kWh más 20% por contribución. Además si se tiene en cuenta la tasa de crecimiento anual establecida del 7,17% el ahorro acumulado en 10 años es de \$390.000.000 COP.

Por otro lado teniendo en cuenta el máximo déficit de 56,696 kW, es decir que los 4 trapiches se encuentren trabajando a su máxima demanda todo el tiempo la facturación anual en el año cero sería \$256.291.319,8 COP al precio actual \$436 COP por kWh mas 20% por contribución. Nuevamente considerando el crecimiento de demanda energética del 7,17% anual la facturación acumulada en 10 años sería de \$ 618.272.181 COP.

Los siguientes cálculos corresponden a una etapa de implementación de la solución, así:

**Ahorro en costos por la disminución del consumo de madera como leña:**

Este cálculo se realiza evaluando el consumo en metros cúbicos de leña anual (por ej. 30,46 m<sup>3</sup>) y se multiplica por el valor estimado del metro cúbico de leña en la región (típicamente \$8.000).

$$\begin{aligned} \text{Volumen\_Leña\_No\_Consumido\_Año} &= \\ 0,53 * \text{No\_Usuarios} * \text{Consumo\_leña(Kwh mes)} * \text{Factor\_Conversión}(0,0054\text{m}^3/\text{Kwh}) * 12 \\ &= 0,53 * 4 * 2017,43 \text{ kWh mes} * (0,0054\text{m}^3/\text{KWh}) * 12 = 277,146 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ahorro\_Disminución\_Consumo\_Leña} &= \text{Volumen\_Leña\_No\_Consumido\_Año} * \text{Valor\_m}^3\_leña \\ &= 277,146 \text{ m}^3 * \$8.000/\text{m}^3 = \$2.217.171 \end{aligned}$$

**Costos por la disminución de la Producción de CO2 al reducirse la combustión de leña:**

Se establece multiplicando el precio referencia de la tonelada de CO2 (bonos de carbono \$19216,4) por el Ahorro de CO2 equivalente (volumen de madera no consumido x el factor de emisión de CO2 1,6 TonCO2/m<sup>3</sup>).

$$\begin{aligned} \text{Costos\_Disminución\_Producción\_CO2} &= \$19.216,4/\text{TonCO2} * \text{Volumen\_Leña\_No\_Consumido\_Año} \\ &* 1,6 \text{ TonCO2/m}^3 = \$19.216,4/\text{TonCO2} * 277,146 \text{ m}^3 * 1,6 \text{ TonCO2/m}^3 = \$8.521.197,43 \end{aligned}$$

Para el caso de los 4 trapiches:

$$\text{Pago aproximado mensual combustible por trapiche} = \$1.600.000$$

$$\text{Valor aproximado de galón ACPM en Nariño} = \$6.200$$

$$\text{Galones} = (\$1.600.000/\$6.200) * 4\text{Trapiches} = 1.032,25 \text{ Gal} = 151,245\text{GJ}$$

$$\begin{aligned} \text{Costos\_Disminución\_Producción\_CO2} \\ &= \$19.216,4/\text{TonCO2} * 151,245\text{GJ} * 0,07401\text{TonCO2/GJ} * 12\text{meses} = \$2.581.218 \end{aligned}$$

**Ahorro en mitigación ambiental por menor tala:**

Este cálculo se hace multiplicando el número de hectáreas no taladas por el costo estimado de la mitigación ambiental de una hectárea no talada: El número de hectáreas equivalentes consumidas como leña se determina basándose en los metros cúbicos de madera usados (por año) multiplicado por el factor de conversión 0,003 Hectareas/m<sup>3</sup>.

$$\begin{aligned} \text{Hectareas\_Consumidas\_como\_Leña} &= \text{Volumen\_Leña\_No\_Consumido\_Año} * 0,0033 \text{ Hectareas/m}^3 \\ &= 277,146 \text{ m}^3 * 0,0033\text{Hectareas/m}^3 = 0,914\text{Hectareas} \end{aligned}$$

A su vez el costo de cada hectárea no talada se establece como

$$\text{Costo\_No\_Tala\_Hecta} = 70000 * 1,17$$

$$\begin{aligned} \text{Ahorro\_Mit\_Ambien\_Menor\_Tala} &= \text{No\_Hectareas\_No\_Taladas} * \text{Costo\_No\_Tala\_Hecta} \\ &= 0,914\text{Hectareas} * 70000 * 1,17 = \$74.904,24 \end{aligned}$$

### **Disminución en gasto de combustible:**

El consumo de galones por día para una vivienda en zona rural dedicada a diferentes fines es de 0,11Gal/día (valor típico en Colombia). De las viviendas de una región el 30% hace uso de algún tipo de combustible (uso de la energía).

Para las 4 familias de los 4 trapiches en ZNI:

$$\text{Volumen\_Combustible\_Año} = 12 * 30\text{días} * 0,3 * 0,11\text{Gal/día} * \text{No Usuarios} \\ = 12 * 30\text{días} * 0,3 * 0,11\text{Gal/día} * 4 = 47,52 \text{ Gal}$$

$$\text{Ahorro\_Combustible} = \text{Volumen\_Combustible\_Año} * \text{Precio\_Combustible} \\ = 47,52 \text{ Gal} * \$6.150,52/\text{Gal} = \$292.272,7$$

Para los 4 Trapiches con planta diesel:

$$\text{Pago aproximado mensual combustible por trapiche} = \$1.600.000$$

$$\text{Ahorro\_Combustible} = \$1.600.000 * 4\text{Trapiches} * 12\text{meses} = \$76.800.000$$

$$\text{Ahorro\_Combustible\_Total} = \$77.092.272,7$$

Diagnóstico de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero por Suministro de Energía en Zonas No Interconectadas Ministerio del Medio Ambiente - Oficina Colombiana para la Mitigación del Cambio Climático Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas

### **4.11 Horizonte del Proyecto**

Se ha planteado un año para la ejecución y operatividad del proyecto y un horizonte de 10 años, aunque este horizonte se debe evaluar formalmente en la etapa de pre factibilidad.

### **4.12 Impactos Esperados**

#### Impactos científicos y tecnológicos del proyecto:

Formación de recursos humanos en investigación y gestión tecnológica: es verificable con el personal vinculado al proyecto en estudios a nivel de pregrado y maestría y las capacitaciones pertinentes a la operación de la central.

#### Impactos sobre la productividad y competitividad:

Empleo generado: incremento de empleo en el sector industrial asociado con la producción de la panela.

Mejoramiento de la productividad y la calidad: el incremento de la producción garantizando un servicio constante de energía eléctrica.

Regiones y comunidades beneficiadas: el beneficiario directo corresponde a las personas vinculadas a la Asociación de Paneleros de El Tambo.

#### Impactos sobre el medio ambiente y la sociedad:

Reducción el consumo de recursos naturales: reducción del consumo anual de 0,914 Hectáreas de bosque.

Reducción en la generación de emisiones: reducción de emisiones de CO2 de 11,19 Ton correspondiente a combustible diésel y a leña 443,43 Ton.

Aprovechamiento sostenible de recursos naturales: aprovechamiento del agua bajo una guía ambiental para la generación de energía eléctrica.

Mejoramiento de la calidad de vida: mejoramiento del sector industrial panelero y por tanto el incremento de la calidad de vida de las familias beneficiadas.

#### 4.13 Análisis de Riesgos

**Tabla 33 Análisis de riesgos**

Descripción del riesgo	Probabilidad	Efectos	Impacto	Medida de Mitigación
Robo de equipos de computo	remoto	retraso en tareas y procesamiento de datos	moderado	Realizar siempre una copia de respaldo de la información contenida en un lugar diferente al sitio de los equipos
avería de equipos de computo	remoto	retraso en tareas y procesamiento de datos	moderado	Contar con un equipo de respaldo
Robo herramientas y equipos de medición	remoto	retraso en tareas de campo	moderado	alquilar los equipos necesarios
avería de herramientas y equipos de medición	remoto	retraso en tareas de campo	moderado	de ser necesario y por premura de tiempo alquilar los equipos
acceso vial Pasto-El Tambo imposibilitado	poco probable	retraso en tareas programadas en el Tambo	alto	trabajo mancomunado con profesionales de pertinencia que pertenezcan a la alcaldía como secretaria de planeación, secretaria de obras

#### 4.14 Cronograma

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES PREFACTIBILIDAD					MES												
Objetivo específico	Producto	Código Actividad	Actividad	Personal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. Determinar la oferta y demanda energética y proyectada para el sector industrial panelero del municipio El Tambo	1.1. Documento sobre la oferta y demanda energética del sector industrial panelero del municipio El Tambo.	1.1.1	Recopilación de información histórica y actual sobre la oferta y demanda energética.	Economista													
				Asistente Inv. Pregrado													
	1.1.2	Procesamiento y análisis de información referente a la oferta y demanda energética	Economista														
	1.2. Documento sobre la oferta y demanda energética proyectada del sector industrial panelero del municipio El Tambo.	1.2.1	Estimación de un modelo matemático de proyección de acuerdo con los datos históricos analizados	Economista													
		1.2.2	Proyección de la oferta y demanda energética	Economista													
2. Determinar la localización más óptima para la consecución de obras civiles, boca toma, canal de conducción, casa de máquinas, equipos electromecánicos, subestación, red de transmisión y red de distribución.	2.1. Documento sobre estudio topográfico, hidrológico y geotécnico	2.1.1	Recopilación de datos de campo topográfico, hidrológico y geotécnico. Considerando mínimo dos alternativas.	Ing. Civil													
				Asistente Inv. Pregrado													
	Geógrafo																
	2.1.2	Procesamiento y análisis de alternativas presentadas como lugares de construcción de PCH para determinar la localización más óptima.	Ing. Civil														
			Geógrafo														
	2.2. Planos de Obras civiles	2.2.1	Diseños de obras civiles: captación, conducción, desarenador, cámara de carga, conducción a presión, sistema de apoyos, casa de máquinas	Ing. Civil													
2.2.2	Diseños de turbina, generador eléctrico, subestación, red de transmisión y distribución.	Ing. Mecánico															
		Ing. Eléctrico*															
3. Realizar un análisis económico, técnico y socio ambiental basado en la capacidad de generación de energía eléctrica.	3.1 Documento de estudio ambiental	3.1.1	Análisis ambiental en las etapas de planeamiento, construcción y operación de la planta	Ing. Ambiental													
		3.1.2	Elaboración de una guía ambiental	Ing. Ambiental													
	3.2. Documento sobre la evaluación socio económica y del recurso hidroenergético.	3.2.1	Evaluación socio económica y realización de estructura de costos de la PCH diseñada y cálculo de rentabilidad	Ing. Civil													
				Ing. Eléctrico*													
				Ing. Mecánico													
				Economista													
3.2.2	Evaluación del potencial hidroenergético relacionando los limitantes socio ambientales	Ing. Ambiental															
		Economista															

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES PREFACTIBILIDAD					MES											
Objetivo	Producto	Código Actividad	Actividad	Personal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4. Elaborar un esquema empresarial de autoabastecimiento y sostenibilidad del servicio de energía al sector industrial panelero beneficiado.	4.1 Documento con alternativas de esquemas empresariales.	4.1.1	Recopilación de esquemas empresariales relacionados con asociaciones tipo panelero	Economista												
		4.1.2	Elaboración de un documento consolidado con las diferentes características para la creación de una empresa para la administración y gestión energética	Economista												
	4.2 Conformación esquema empresarial sostenible y autoabastecimiento.	4.2.1	Asignación de responsabilidades, deberes y funciones de los actores directamente involucrados y que harán parte de la empresa	Economista												
		4.2.2	Creación de un documento guía sobre el esquema empresarial diseñado que permita que el proyecto sea sostenible en un marco de autoabastecimiento.	Economista												

\*Estudiante de Maestría

#### 4.15 Presupuesto

Objetivo	Código Actividad	Personal	Mano de Obra			Transporte				
			Salario	Meses	Subtotal	Detalle	Pasaje	Alimentación	Días	Subtotal
1. Determinar la oferta y demanda energética y proyectada para el sector industrial panelero del municipio El Tambo	1.1.1	Economista	\$3.396.815	1	\$ 3.396.815,00	Pasto-El Tambo-Pasto	12000	20000	2	\$ 64.000,00
		Asistente Inv. Pregrado	\$1.724.471	2	\$ 3.448.942,00	Pasto-El Tambo-Pasto	12000	20000	2	\$ 64.000,00
	1.1.2	Economista	\$3.396.815	1	\$ 3.396.815,00	-	-	-	-	-
	1.2.1	Economista	\$3.396.815	1	\$ 3.396.815,00	-	-	-	-	-
	1.2.2	Economista	\$3.396.815	1	\$ 3.396.815,00	-	-	-	-	-
2. Determinar la localización más óptima para la consecución de obras civiles, boca toma, canal de conducción, casa de máquinas, equipos electromecánicos, subestación, red de transmisión y red de distribución.	2.1.1	Ing. Civil	\$3.396.815	3	\$10.190.445,00	Pasto-El Tambo-Pasto	12000	20000	24	\$ 768.000,00
		Asistente Inv. Pregrado	\$1.724.471	3	\$ 5.173.413,00	Pasto-El Tambo-Pasto	12000	20000	24	\$ 768.000,00
		Geógrafo	\$3.396.815	3	\$10.190.445,00	Pasto-El Tambo-Pasto	12000	20000	24	\$ 768.000,00
	2.1.2	Ing. Civil	\$3.396.815	2	\$ 6.793.630,00	-	-	-	-	-
		Geógrafo	\$3.396.815	2	\$ 6.793.630,00	-	-	-	-	-
	2.2.1	Ing. Civil	\$3.396.815	3	\$10.190.445,00	-	-	-	-	-
	2.2.2	Ing. Mecánico	\$3.396.815	3	\$10.190.445,00	-	-	-	-	-
		Ing. Eléctrico*	\$3.396.815	3	\$10.190.445,00	-	-	-	-	-

Objetivo	Código Actividad	Personal	Mano de Obra				Transporte				
			Salario	Meses	Subtotal	Detalle	Pasaje	Alimentación	Días	Subtotal	
3. Realizar un análisis económico, técnico y socio ambiental basado en la capacidad de generación de energía eléctrica.	3.1.1	Ing. Ambiental	\$3.396.815	2	\$ 6.793.630,00	Pasto-El Tambo-Pasto	12000	20000	8	\$ 256.000,00	
			\$3.396.815	2	\$ 6.793.630,00	Pasto-El Tambo-Pasto	12000	20000	8	\$ 256.000,00	
	3.1.2	Ing. Ambiental	\$3.396.815	1	\$ 3.396.815,00	-					
	3.2.1	Ing. Civil	\$3.396.815	1	\$ 3.396.815,00	-					
		Ing. Eléctrico*	\$3.396.815	1	\$ 3.396.815,00	-					
		Ing. Mecánico	\$3.396.815	1	\$ 3.396.815,00	-					
		Economista	\$3.396.815	1	\$ 3.396.815,00	-	-	-	-	-	
	3.2.2	Ing. Ambiental	\$3.396.815	1	\$ 3.396.815,00	-					
		Economista	\$3.396.815	1	\$ 3.396.815,00	-					
	4. Elaborar un esquema empresarial de autoabastecimiento y sostenibilidad del servicio de energía al sector industrial panelero beneficiado.	4.1.1	Economista			\$ 3.396.815,00	-				
4.1.2		Economista	\$3.396.815	1	\$ -	-					
4.2.1		Economista			\$ 3.396.815,00	Pasto-El Tambo-Pasto	12000	20000	4	\$ 128.000,00	
4.2.2		Economista	\$3.396.815	1	\$ -						
TOTAL					\$130.907.695		TOTAL			\$3.072.000,00	

\*Estudiante de Maestría

El presupuesto asociado al costo de obras civiles se relaciona en el **Anexo Presupuesto obras civiles** archivo adjunto

## ANEXOS

### Anexo 1 Censo Secretaria de Planeación El Tambo

VIVIENDAS POR ELECTRIFICAR - MUNICIPIO DE EL TAMBO-NARIÑO				
VEREDA	No.	NOMBRE Y APELLIDO	NO. CC. CIUDADANIA	REPORTA LA INFORMACIÓN
POCAURCO	1	JESUS ANTONIO ENRRIQUEZ	87,302,791	
	2	JESUS ANIVAL DIAZ	87302,837	
	3	JULIA MARIÑA ENRRIQUEZ	27,289,249	
	4	ARNULFO GUILLERMO CHAVEZ	0	
	5	JUAN CARLOS BURBANO	87,304,542	
	6	ISIDRO VICENTE ZAMORA	0	
	7	JUAN ESTEBAN ESPAÑA	0	
	8	PEDRO ALVARO ORTEGA	0	
PRESIDENTE J.A.C. Celular No. 3117811708				RODRIGO BOLIVAR BURBANO

VEREDA	No.	NOMBRE Y APELLIDO	NO. CC. CIUDADANIA	REPORTA LA INFORMACIÓN
VILLA NUEVA	1	LIBARDO DE VIBIEMDASSE	0	
	2	EDUARDO SANTIAGO DIAZ	2,248,156	
	3	PEDRO ERNESTO DAVID	5,230,653	
	4	GILVERTO DAVID	5,248,962	
	5	MAURO MARINO MUÑOZ MELENDEZ	0	
	6	HUNIER MARINO CINIDO DIAZ IBARRA	0	
	7	LAUREANO FIGUEROA	0	
	8	LUIS ALBERTO ANDRADE FIGUEROA	0	
	9	GOMAIRA A YRORA DIAZ	0	
	10	MARIA AGRIPINA ZAMUDIO	59,122,935	
	11	JORGE ZAMUEL ESPAÑA	1,835,210	
	12	ESTEBAN IBARRA		
PRESIDENTE J.A.C. Celular No.				FRANCISCO ESPAÑA

VEREDA	No.	NOMBRE Y APELLIDO	NO. CC. CIUDADANIA	REPORTA LA INFORMACIÓN
TROJAYACO	1	NUBIA DEL CARMEN PAZOS DIAZ	59,123,392	
	2	SOCORRO ORTEGA BURGOS		
PRESIDENTE J.A.C. Celular No.				

VEREDA	No.	NOMBRE Y APELLIDO	NO. CC. CIUDADANIA	REPORTA LA INFORMACIÓN
TAMBILLO	1	MARIA HOMERA		
	2	LUIS DAVID		
PRESIDENTE J.A.C. Celular No.				

VEREDA	No.	NOMBRE Y APELLIDO	NO. CC. CIUDADANIA	REPORTA LA INFORMACIÓN
LOS LIMOS	1	RIGOBERTO LOPEZ	98,333,101	
	2	MARIA LIGIA BURBANO	59,122,136	
	3	GUILLERMO VILLAREAL		
PRESIDENTE J.A.C. Celular No.				

VEREDA	No.	NOMBRE Y APELLIDO	NO. CC. CIUDADANIA	REPORTA LA INFORMACIÓN
ALTOSANO	1	WILSON CABRERA		
	2	SIMON ESPAÑA		
PRESIDENTE J.A.C. Celular No.				

VEREDA	No.	NOMBRE Y APELLIDO	NO. CC. CIUDADANIA	REPORTA LA INFORMACIÓN
AMINDA	1	PRDRO LEONARDO CALVACHE	18,888,317	3217328701
	2	JESUS ALBERTO ERAZO	87,303,343	3148058348
	3	MARIA DEL CARMEN PAZOS	59,123,308	3127439870
	4	ARNULFO GUILLERMO CHAVEZ	0	
	5	OCTALIVAR BASTIDAS	87,304,542	3128354218
PRESIDENTE J.A.C. Celular No. 3117811708				

VEREDA	No.	NOMBRE Y APELLIDO	NO. CC. CIUDADANIA	QUIEN REPORTA LA INFORMACIÓN
AZOGUE	1	FERNANDO CHAVEZ		
	2	YOBANY DIAZ		
	3	WILSON MATABAJAY		
	4	MARCO AREVALO		
	5	VICENTE CANCEMANCE		
	6	MILTON ENRRIQUEZ		
	7	LAUREANO ANDRADE		
	8	ARGELIA LOPEZ		
	9	FRANCO GARCIA		
	10	RAMIRO GARCIA		
PRESIDENTE J.A.C. Celular No. 3117811708				

Este es el resultado del primer censo, faltan algunas veredas por reportarse como el Didral, donde hay 3 viviendas, Ricaurte una y México una.

## Anexo 2 Encuesta por Presidente Asociación de Paneleros El Tambo

Trapiches El Tambo							
Nombre	Propietario	Ubicación (vereda)	Maquinaria	Capacidad (HP)	Capacidad (kW)	Tipo energía	Pago aproximado por mes en consumo energía (COP)
La playa	José Erazo	San Pablo	Molino Penagos 12 lb	25	18,65	Eléctrico	No registra
Aminda	Daniel Ortega	Aminda	Molino Apolo 8 lb	16	11,936	Diesel	1400000
Las delicias	Cornelio Días	Chagraurco	Molino panelero 14 lb	25	18,65	Eléctrico	800000
Tres esquinas	Cornelio Figueroa	Chagraurco	Molino de campana 16 lb	25	18,65	Eléctrico	1000000
El palmar	Benito Figueroa	Potrerrillo	Molino de campana 16 lb	16	11,936	Diesel	1600000
Cañaduz al	Juan Benavides	La cafelina	Molino de campana 14 lb	25	18,65	Eléctrico	1000000
La cabaña	Arturo Mera	Cascajal Bajo	Molino de campana 14 lb	16	11,936	Diesel	1400000
El porvenir	Dario Zambrano	San Pedro	Molino de campana 16 lb	25	18,65	Eléctrico	1000000
La hacienda	Luis Narvaez	San Pedro	Molino panelero 14 lb	25	18,65	Eléctrico	1000000
San Agustín	Agustín Matabajoy	San Pedro	Molino Apolo 8 lb y Apolo 16 lb	12 y 16	8,952 y 11,936	Diesel	2000000
El limón	Tulía Acosta	Los limos	Molino panelero 15 lb	20	14,92	Eléctrico	1000000
El crucero	Raul Dias	San Pedro	Molino Penagos 16 lb	25	18,65	Eléctrico	No registra
San Francisco	Eduardo Marcial Arteaga	San Pedro	Molino Penagos 16 lb	25	18,65	Eléctrico	1000000
Santa Rosa	German Guerrero	San Pedro	Molino panelero 14 lb	15	11,19	Eléctrico	800000

### Anexo 3 Ubicación de obras y estimación de caudales

Para realizar la toma de datos en campo se realizaron mediciones el 26 de octubre de 2013 de acuerdo con la información obtenida del plano de localización de las obras civiles.

**Tabla 34 Datos de localización**

TOMA DE DATOS PARA ESTIMACIÓN DE CAUDALES		
NOMBRE DEL RIO	COORDENADAS BOCATOMA	
	N	W
SALADO	1,38437	77,42679

#### Equipo utilizado

- Un objeto flotante, que en nuestro caso utilizamos una bola de ping – pong.
- Un cronometro
- Una cinta métrica

#### Procedimiento calculo caudal mínimo, ecológico, y de diseño

- Seleccionamos en la quebrada un tramo uniforme, libre de piedras, troncos, y cualquier obstáculo, en nuestro caso la distancia escogida fue de d= 5m.
- Ubicamos los puntos de inicio y final del tramo escogido.
- Procedemos a medir la velocidad en el tramo seleccionado de la siguiente manera: Una persona se ubica con el flotador en la parte inicial y otra persona con el cronometro en la parte final del tramo, se registra el tiempo de recorrido del flotador desde el inicio hasta el final, esta prueba la realizamos 8 veces. Tabla 35
- Se determina la velocidad superficial como la relación entre la longitud y el tiempo (INEA, 1997)

$$velocidad(v) = \frac{distancia(d)}{tiempo(t)}$$

**Tabla 35 Datos para encontrar la velocidad**

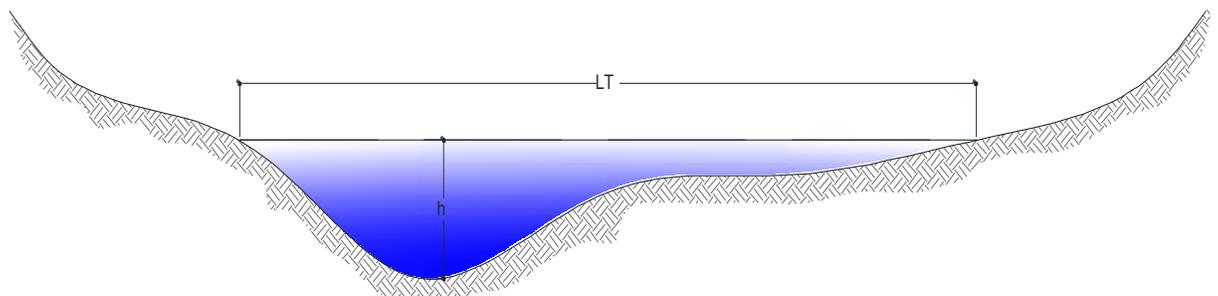
REGISTRO	TIEMPO(seg)	DISTANCIA(m)
1	35,82	5
2	25,16	5
3	28,79	5
4	31,74	5
5	29,81	5
6	36,89	5
7	31,37	5
8	33,14	5

- Se mide el ancho del río  $LT= 3,2m$  y las profundidades ( $h$ ) para poder determinar el perfil transversal del río. Figura 5 y Tabla 36

**Tabla 36 Datos de profundidades  $h(m)$  para realizar el perfil transversal**

h1	0,12
h2	0,27
h3	0,41
h4	0,48
h5	0,45
h6	0,37
h7	0,26
h8	0,18
h9	0,14
h10	0,12
h11	0,12
h12	0,12
h13	0,1
h14	0,07
h15	0,04

**Figura 5 Perfil transversal caudal mínimo**



- Con base en lo anterior se determina el área de la sección transversal  $A$  del río durante la crecida
- Se determina un coeficiente  $C$  de corrección por velocidad en función de la relación entre el área de la sección transversal  $A$  del río y su perímetro  $P$ , para poder determinar el caudal.

**Tabla 37 Datos para determinar el coeficiente  $C$**

AREA TRANS $A(m^2)$	PERIMETRO $P(m)$
0,65	6,63

- Calculo del caudal mínimo (Qmin)

$$Q_{min} = C * V * A$$

- El caudal ecológico es el 25% del caudal mínimo
- Como caudal de diseño se elige un valor que garantice el caudal ecológico

### Procedimiento para el cálculo del caudal máximo

A continuación se describe un método simple para estimar el caudal máximo, a partir de huellas de crecidas anteriores en el cauce del río.<sup>21</sup>

- Usando el método del flotador, hallar la velocidad superficial del agua (Vs).Tabla 38.

**Tabla 38 Datos para encontrar velocidad superficial Vs**

REGISTRO	TIEMPO(seg)	DISTANCIA(m)
1	35,82	5
2	25,16	5
3	28,79	5
4	31,74	5
5	29,81	5
6	36,89	5
7	31,37	5
8	33,14	5

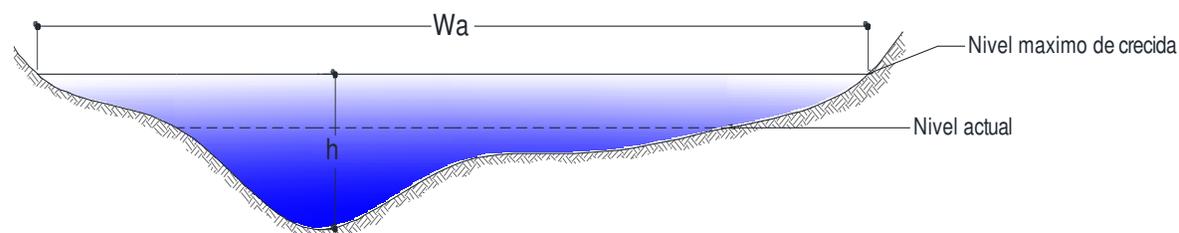
- Medir la profundidad actual en el centro del río hc= 0,5m
- Se mide el ancho del río de acuerdo a las huellas encontradas Wa= 4,8m y las distancias (h) para poder determinar el perfil transversal del río.

<sup>21</sup>Fuente: (Federico Coz, 1995)

Tabla 39 Datos de profundidades h(m) para realizar perfil transversal

h1	0,37
h2	0,52
h3	0,66
h4	0,73
h5	0,7
h6	0,62
h7	0,51
h8	0,43
h9	0,39
h10	0,37
h11	0,37
h12	0,37
h13	0,35
h14	0,32
h15	0,29

Figura 6 Perfil transversal caudal máximo



- Con base en lo anterior se determina el área de la sección transversal  $Aa$  del río durante la crecida
- Luego se calcula

$$hm = Aa/Wa$$

- La velocidad del agua durante la crecida es mayor, y se calcula con

$$Va = \left(\frac{hm}{h}\right)^{\frac{2}{3}}$$

- Por último se calcula el caudal de la crecida con:

$$Qa = VaxAa$$

## Resultados

### Resultados caudal mínimo, ecológico, y de diseño

Velocidad:

**Tabla 40 Velocidad promedio**

REGISTRO	VELOCIDAD(m/s)
1	0,14
2	0,20
3	0,17
4	0,16
5	0,17
6	0,14
7	0,16
8	0,15
Promedio=	0,16

Área de la sección transversal A= 0,65m<sup>2</sup>

Factor de corrección por velocidad C:

**Tabla 41 Coeficiente C de corrección por velocidad**

A/P	C
0,1	0,565

Fuente: (Ortiz Florez, 2002)

Caudal:

**Tabla 42 Datos de caudales**

CAUDAL MINIMO	m3/s	0,06
	l/s	59,27
CAUDAL ECOLOGICO	m3/s	0,01
	l/s	14,82
CAUDAL DE DISEÑO	m3/s	0,04
	l/s	44,45

## Resultados caudal máximo

Velocidad superficial Vs:

**Tabla 43 Velocidad superficial Vs**

REGISTRO	VELOCIDAD(m/s)
1	0,14
2	0,20
3	0,17
4	0,16
5	0,17
6	0,14
7	0,16
8	0,15
Promedio=	0,16

Área de la sección transversal:  $A_a = 1,69 \text{ m}^2$

el valor de:  $hm = \frac{1,69}{4,8} = 0,35$

Velocidad el agua durante la crecida:  $V_a = 0,16 \left( \frac{0,35}{0,51} \right)^2 = 0,12 \text{ m/s}$

Caudal máximo:  $Q_a = 0,12 \times 1,69 = 0,20 \text{ m}^3/\text{s} \implies 200 \text{ l/s}$

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La estimación del caudal mínimo, ecológico y diseño fue muy acertada de acuerdo a la información de los pobladores y concedores del comportamiento del río el saldo, debido a que se encontraba en una periodo de sequía comprendido desde los inicios de agosto hasta la fecha de la toma de datos
- Para la estimación del caudal máximo se encontró rastros y huellas dejadas por las crecientes del río muy fáciles de identificar
- El río presenta una características favorables de encauzamiento que conlleva a diseños económicos en la bocatoma
- Si desea encontrar más recursos hídricos, se aconseja bajar en la misma dirección del río, ya que las condiciones topográficas son muy favorables.
- Si el proyecto avanza a la fase de prefactibilidad realizar varios aforos durante el tiempo de estudio del proyecto, contemplando épocas de sequía y época de lluvias.
- Se sugiere realizar el aforo con el método del molinete que representa más confiabilidad. Si el proyecto avanza a la fase de factibilidad, se aconseja tener como mínimo un registro histórico de caudales durante uno o dos años.

## Anexo 4 Dimensionamiento de obras civiles

### Bocatoma de fondo

Las bocatomas son obras hidráulicas cuya función es regular y captar un caudal determinado de agua, en este caso, para la producción de energía hidroeléctrica.

Las bocatomas nos permiten tomar el agua de los ríos, garantizando que la captación de agua será una cantidad constante, a la vez impide el ingreso de materiales sólidos y flotantes. Además, debe proteger el resto del sistema hidráulico del ingreso de avenidas o embalses que pudieran producirse en las épocas lluviosas y/o de crecientes extraordinarias.

La ubicación más apropiada para una bocatoma se presume en los tramos rectos y estables del río, dependiendo de la topografía, la geología, la capacidad portante de los suelos y, principalmente, de las variaciones hidrológicas del lugar que nos servirá de emplazamiento<sup>22</sup>.

La bocatoma de fondo capta el agua motriz en el fondo del río, con una estructura que se extiende a lo ancho del cauce, la cual está acompañada de un colector, fijado en dirección del flujo, cubierto con una rejilla, en términos generales esta bocatoma capta el agua en un colector a través de una rejilla, formado por un determinado número de barras, direccionadas en sentido de la corriente que impide el ingreso de material sólido y los evacua aguas abajo. El caudal de esta forma captado en el colector se direcciona hasta una caja auxiliar, en donde se decanta el material sólido en suspensión que ha ingresado a través de la rejilla en el caudal. Una vez ha pasado por este decantador la bocatoma se empalma con la obra de conducción. Sin embargo inmediatamente aguas arriba de la bocatoma se empieza a llenar de sedimentos, por ello es necesario de una compuerta con un canal para hacer una limpieza periódica de la bocatoma.<sup>23</sup> (Ver Figura 7), para los cálculos y dimensionamiento ver **Obras civiles Tambo.xls**

### Obras de conducción

La conducción del caudal que será aprovechado para generar energía eléctrica es captado en la bocatoma y llevando a través de una tubería que puede estar a cielo abierto o cerrado manteniéndose el caudal a presión atmosférica, (ver Figura 8), para los cálculos y dimensionamiento ver **Obras civiles Tambo.xls**

### Desarenador

Al hacer cualquier captación de agua en el lecho de un río se estima que la toma permite la entrada de algunas cantidades de material sólido; el cual es perjudicial para la tubería ya que se van asentando estas partículas sólidas; por lo tanto hace que la tubería pierda su capacidad y su vida útil disminuya, al igual éste material sólido podría llegar a introducirse en las turbinas de generación lo cual hace que éstas se desgasten más rápido por lo que su vida útil también se vería disminuida. Para que esto no suceda se hace indispensable el diseño y construcción del

---

<sup>22</sup> (Quintero Betín, 2009)

<sup>23</sup> (FLOREZ, PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS, 2002)

desarenador, ya que hace que el material sólido que viene en la conducción se vaya depositando por medio de la reducción de su velocidad en el flujo, la cual asegura que no haya arrastre de sólidos por consiguiente tienen que asentarse en el fondo de éste.

El RAS - 2000 (Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico) Título E numeral E.4.4.4.4<sup>24</sup> recomienda usar dos desarenadores que cumplen las mismas funciones; las cuales son de depositar los sólidos y entregar el agua limpia al final del cauce, los dos desarenadores pueden funcionar simultáneamente haciendo que la evacuación de los sólidos sea efectiva, también mientras se hace mantenimiento a uno de los desarenadores el otro hace su función perfectamente por lo cual se asegura que no lleguen partículas a nuestra tubería.

Se debe de asegurar una velocidad al interior del desarenador de 0,17 m/s<sup>25</sup> según el RAS-2000 Título B numeral B.4.4.6 con lo cual obtengo que ya no se tiene arrastre de partículas a lo largo del desarenador.

Para evaluar las partículas que se han de evacuar en el desarenador, se determina el tipo de central hidroeléctrica, la cual en este caso es una central de media presión por lo cual su grano límite será de 0,2 mm<sup>26</sup>, el cual se ha de evacuar al interior del desarenador, con lo que debemos de garantizar que la partícula más crítica se sedimente a lo largo de éste, así asegurando que no haya arrastre de partículas al interior del canal conductor.

Ya determinado el diámetro de la partícula más crítica a evacuar en el desarenador se procede con el dimensionamiento respectivo del mismo, para esto el RAS – 2000 Título E numeral E.4.4.4.1 hace unas recomendaciones básicas para la geometría las cuales se encuentran en la Tabla 44

Por lo que según las dimensiones asumidas para el diseño del desarenador en base a los parámetros recomendados, se procedió al respectivo diseño de las dimensiones requeridas para éste las cuales son detalladas a continuación:

**Tabla 44 Geometría recomendada para desarenadores de diferente tipo**

Parámetro	Desarenador de flujo horizontal	Desarenador aireado	Desarenador tipo vórtice
Profundidad (m)	2 - 5	2 - 5	2.5 - 5
Longitud (m)	----	8 - 20	----
Ancho (m)	----	2.5 - 7	----
Relación Largo : Ancho	2.5 : 1 - 5 : 1	3 : 1 - 5 : 1	----
Relación Ancho : Profundidad	1 : 1 - 5 : 1	1 : 1 - 5 : 1	----
Diámetro (m)			
Cámara superior	----	----	1 - 7
Cámara inferior			1 - 2

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000)

Altura del desarenador asumida  $H = 4m$ .

<sup>24</sup> (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

<sup>25</sup> Ibid.

<sup>26</sup> (Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas, 1997).

Se obtuvo el volumen en el desarenador el cual es dado por la fórmula:

$$V = a * Q = 853,77 m^3$$

En donde  $a$  es el tiempo ideal de sedimentación y  $Q$  es el caudal de diseño.

Luego se asume una relación Largo: Ancho de 4:1, de donde se obtiene un ancho  $b = 7,3m$  y un largo de  $L = 29,22m$ .

Una consideración a tomar en cuenta es que se debe de instalar unas cortinas de retención de sólidos las cuales hacen que éstos se obliguen a detenerse en contra de éstas y se logre su debida sedimentación, se recomienda instalar dos cortinas una de entrada y una de salida para asegurar la suspensión, cada una tiene una profundidad de  $2m$ .

Para el almacenamiento de lodos tomamos una relación longitud: profundidad de lodos de 10:1, con lo que obtenemos que la profundidad máxima de lodos es de  $2,92m$ , de donde se asume una profundidad máxima de  $1,2m$  y una profundidad mínima de  $0,6m$  con las cuales hemos de calcular las pendientes respectivas para que la debida evacuación de los sólidos que se suspenden se efectúe. La pendiente transversal que debe de tener el canal de evacuación es del  $8,2\%$ , la pendiente longitudinal en el primer tercio de la longitud del desarenador debe de ser del  $6,2\%$  y en los dos tercios restantes la pendiente debe de ser del  $3,1\%$ .

Para la disminución de la velocidad de entrada al desarenador; se hace necesario el diseño de una cámara de aquietamiento, la cual hace el trabajo de una transición de entrada para que la velocidad con que el flujo viene del canal, se pueda reducir a la velocidad recomendada al interior de éste. Las debidas dimensiones de la cámara de carga son las siguientes: (ver Figura 9), para los cálculos y dimensionamiento ver **Obras civiles Tambo.xls**

Profundidad de la cámara=  $1,33m$ .

Ancho de la cámara=  $2,43m$

Largo de la cámara=  $5m$

### Tanque de carga

Esta estructura hidráulica busca crear un volumen de reserva de agua que permita satisfacer las necesidades de las turbinas y garantizar la sumergencia del sistema de conducción de alta presión, manteniendo una altura de agua suficiente que evite, a toda costa, la entrada de aire a estos equipos de generación.<sup>27</sup>

Las funciones que tiene la cámara de carga son: permitir la conexión entre el sistema de conducción y la tubería de presión, producir la sedimentación y eliminación de materiales sólidos que pudiera transportar el sistema de conducción, impidiendo de esta forma la entrada a la tubería de presión de materiales sólidos, de arrastre y flotantes. También debe desalojar el exceso

---

<sup>27</sup> (Quintero Betín, 2009)

de agua en las horas en que la cantidad consumida por las turbinas es inferior al caudal de diseño.<sup>28</sup>

Su dimensionamiento ha sido basado en que lo que se pretende es que los sólidos no entren a la cámara de carga, al igual que siempre se esté abasteciendo de agua la tubería de presión, ya que a los equipos generadores no le deben de ingresar ningún tipo de material ni vacíos de aire, por lo cual se hace indispensable tener presente éstas condiciones para que me garantice que la estructura de presión sea funcional y los equipos puedan mantener una vida útil mayor y así se garantice la efectividad de la obra.

Se calcula el volumen del tanque con la siguiente expresión

$$V_t = \frac{0,693 * Q^2}{A * i * g} = 238m^3$$

De donde A es el área del canal conductor, i es la pendiente del canal, Q es el caudal de diseño para la obra.

Ya teniendo el volumen del tanque se procede a hallar la altura del tanque, la cual depende del volumen del tanque y de una constante de capacidad (k), cuya altura es aquella que permite que los niveles de agua estén siempre por encima de la entrada a la tubería de presión y asegure que ésta mantenga la cantidad de agua disponible a ser captada para su correcto funcionamiento.

En la Tabla 45 se puede encontrar los valores para la constante de capacidad k.

La altura la hallamos con la siguiente expresión

$$H = \frac{V_t}{3} + k = 2,79m$$

**Tabla 45 Constante de capacidad (k)**

V (cientos de m3)	k
<3	2,0
4-6	1,8
7-9	1,5
10-13	1,3
14-16	1,0
>17	0,7

Fuente: (Quintero Betín, 2009)

Se usará una relación Largo: Ancho de 1:1 por lo cual seguimos la siguiente expresión para calcular la base y el largo del tanque de carga:

$$B = L = \sqrt{\frac{V_t}{H}} = 9,23m$$

<sup>28</sup> Ibid.

Con lo cual obtenemos las dimensiones requeridas para el tanque de carga, y se asegura su buen funcionamiento (ver Figura 10), para los cálculos y dimensionamiento ver **Obras civiles Tambo.xls**

### Tubería presión

La finalidad de la tubería de presión es transportar el agua que llega al tanque de carga hasta las turbinas generadoras, las cuales utilizan la energía de caída la cual se genera mediante la caída de altura desde la salida de la bocatoma hasta la entrada de las turbinas, pero también encontramos que se tienen pérdidas de energía en el transporte por medio de la tubería de presión generadas por:

- Pérdidas por fricción al interior de la tubería.
- Pérdidas por entrada desde el tanque de carga hacia la tubería, en la cual se utilizó una entrada con boca de campana para así obtener una menor pérdida ya que se suavizan los bordes de la entrada.
- Pérdidas por válvulas, en las cuales se usan válvulas tipo mariposa las cuales son adecuadas para detener el flujo adecuadamente.
- Pérdidas por bifurcación, ya que tenemos que hay tres turbinas generadoras las cuales tienen que alimentarse por aparte cada una; por lo que se hace indispensable una bifurcación de una tubería a tres tuberías de menor diámetro.
- Pérdidas por los codos, puesto que para su mejor instalación necesitamos usar codos los cuales puedan dar el perfil adecuado para llegar desde la salida del tanque de carga hasta la entrada a la casa de máquinas.

Para el diámetro de la tubería lo que se busca es que sea lo más económico posible, para lo cual utilizamos la siguiente expresión:

$$D = 0,0052 * Q_d^{3^{1/7}}$$

Con la anterior expresión y con el caudal de diseño obtuvimos un diámetro adecuado para nuestra PCH el cual es de 1,03 m con el cual hemos de trabajar para conducir el agua a presión hasta la casa de máquinas.

La caída disponible para la generación de energía la encontramos de restar la cota de salida del tanque de carga hasta la cota de entrada a la casa de máquinas, de donde la caída bruta disponible que tenemos es de 93 metros, de donde con las pérdidas obtenidas al interior de la tubería tenemos una caída neta de 81,34 metros con lo cual tenemos unas pérdidas de 11,27 metros, para los cálculos y dimensionamiento ver **Obras civiles Tambo.xls**

### Casa de máquinas

Esta es una estructura civil que contiene la mayor parte del equipo electromecánico, en los que se transforma la energía cinética del agua en energía mecánica y posteriormente en eléctrica. Por ello es muy importante para el buen funcionamiento de la central, la ubicación de ella; entre otros, los siguientes aspectos:

- En general la casa de máquinas se debe colocar cercana al afluente al cual se le entregara el agua turbinada. Teniendo en cuenta que en el canal de desagüe no se depositen sedimentos que disminuyan su sección.

- Es importante destacar que la casa de máquinas, se ubique en una zona con terrenos estables y que este fuera del alcance de riadas, ya que estas pueden depositar una cantidad de sedimentos en el desagüe o en caso extremo afectar la casa de máquinas.
- Tener facilidades internas como externas, tales como: proveer una posible ampliación, tener facilidad de acceso y facilidad de adquirir terrenos.
- Un factor importante en la ubicación de la casa de máquinas, es que la disposición de los equipos armonice con el paisaje exterior<sup>29</sup>.

La casa de máquinas en nuestro proyecto fue diseñada teniendo en cuenta la disposición de tres generadores y turbina, un puesto de control, un área de circulación, y una oficina para el operario. Todo el diseño fue basado en TITULO E Casa de uno y dos pisos del REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE (NSR-10)<sup>30</sup>. (Ver Figura 11 y Figura 12), para los cálculos y dimensionamiento ver **Obras civiles Tambo.xls**

### Obras de arte

#### Canal de Pantallas Deflectoras (CPD).

Es un canal de sección rectangular y fondo liso que incluye pantallas deflectoras alternas colocadas a 45° con el eje del canal, las cuales cumplen el papel de elementos disipadores de energía y pestañas longitudinales sobre los bordes de ambas paredes del canal que impiden que la estructura rebose.<sup>31</sup> (Ver Figura 13), para los cálculos y dimensionamiento ver **Obras civiles Tambo.xls**

#### Canal de rápidas con tapa y columpio CRTC.

Es un canal aplicable al caso de conducciones a lo largo de pendientes altas o muy altas (entre el 50% y el 173%) conformado por una serie de rápidas lisas de sección rectangular que se interrumpen en las terrazas de un talud tratado o en cada cierto tramo, de tal forma que en la transición de una rápida a otra se tiene un columpio que defleca el chorro y lo proyecta contra una tapa existente en el inicio de la siguiente rápida aguas abajo. El sistema columpio – tapa es complementado con un deflector que obliga al flujo a volver al canal.<sup>32</sup> (Ver Figura 14), para los cálculos y dimensionamiento ver **Obras civiles Tambo.xls**

### Resultados

#### Presupuesto

El presupuesto fue realizado teniendo en cuenta los gastos en construcción que representan el pago de la mano de obra que ejecuta los procesos constructivos y el pago de los equipos, herramientas y materiales necesarios para la construcción de la PCH cuyo costo se llama costo directo. Los gastos generales que comprenden los pagos de toda la estructura logística necesaria

<sup>29</sup> (FLOREZ, PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS, 2002)

<sup>30</sup> (MINISTERIO DE AMBIENTE, 2010)

<sup>31</sup> (Mejía Fernandez)

<sup>32</sup> Op cit.

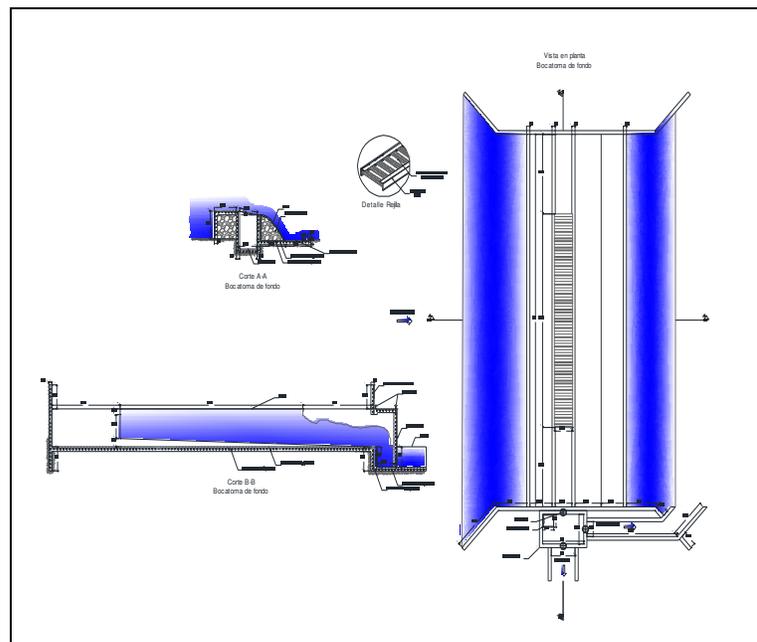
para la administración de la ejecución del proyecto, la evaluación de los imprevistos y la evaluación de las actividades<sup>33</sup>.

Los valores calculados fueron basados en datos comerciales y estimaciones legales dados por la alcaldía de Bogotá como Listado de precios de referencia de actividades de obra Efectuado a Junio de 2013 y tomado de la gobernación del Valle del Decreto N° 0328 del 16 de Abril de 2013 para la estimación del presupuesto. Ver **Presupuesto Tambo.xls**

### Conclusiones

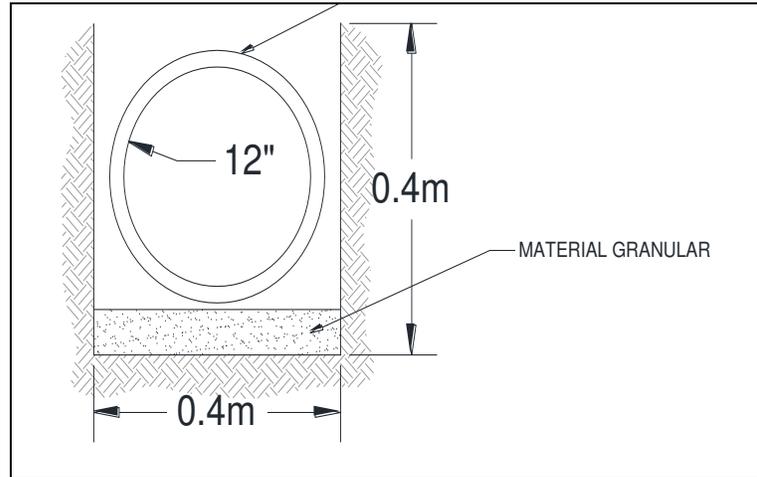
- Para el dimensionamiento de las obras se recomienda tomar datos de campo necesarios para desarrollar diseños de ingeniería al detalle.
- El desarrollo de los proyectos y diseños fueron realizados con información secundaria por lo cual se recomienda obtener información primaria adecuada.
- Debido a que el caudal a transportar es muy bajo se decidió emplear tubería para su conducción.
- Los valores calculados para el presupuesto están basados en datos comerciales y estimaciones legales, pero se recomienda consultarlos en el mercado cada que se requieran.

**Figura 7 Bocatoma de fondo**

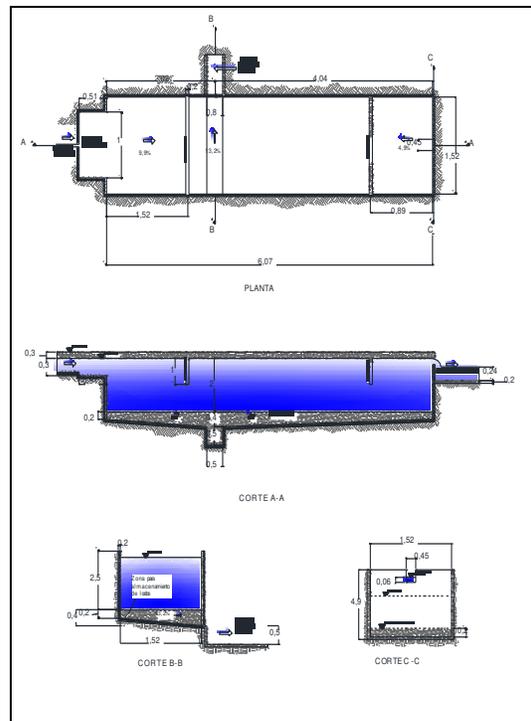


<sup>33</sup> (Antioquia, 2003)

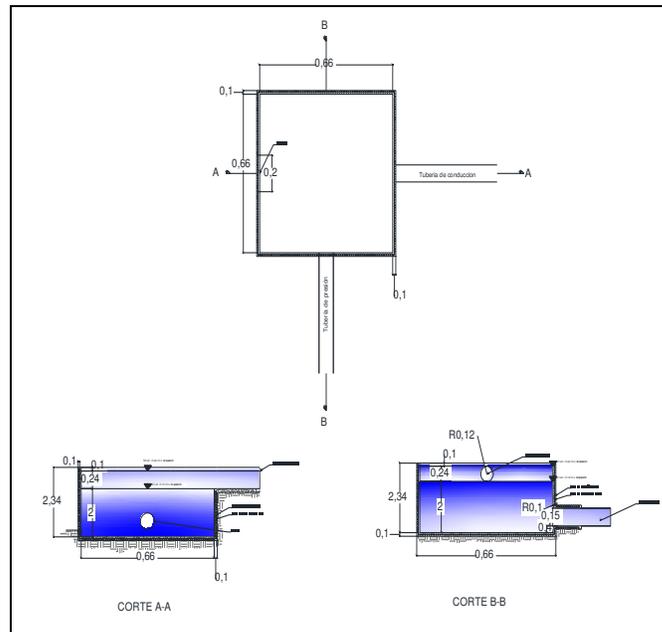
**Figura 8 Tubería conducción**



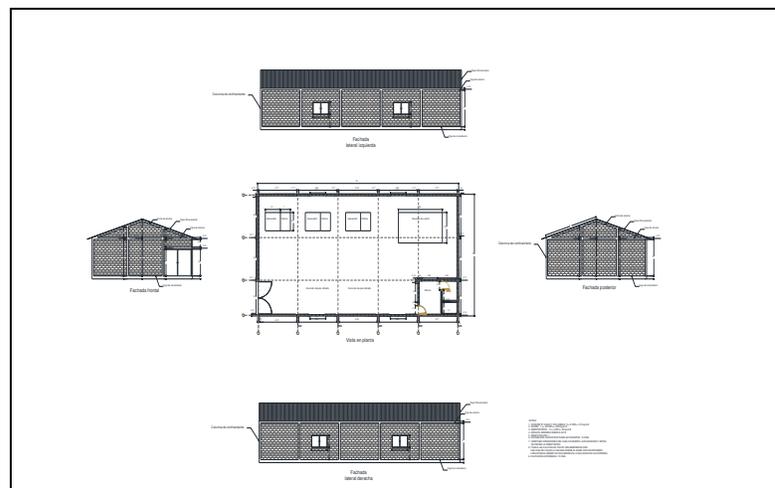
**Figura 9 Desarenador**



**Figura 10 Tanque de carga**



**Figura 11 Casa de máquinas – planta arquitectónica**



**Anexo 5. Casa de máquinas - Planta arquitectónica.**

Figura 12 Casa de máquinas – planta de cimentación

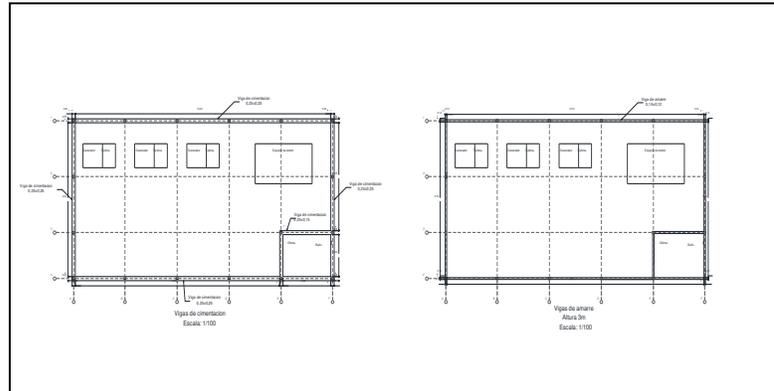


Figura 13 Canal de pantallas deflectoras

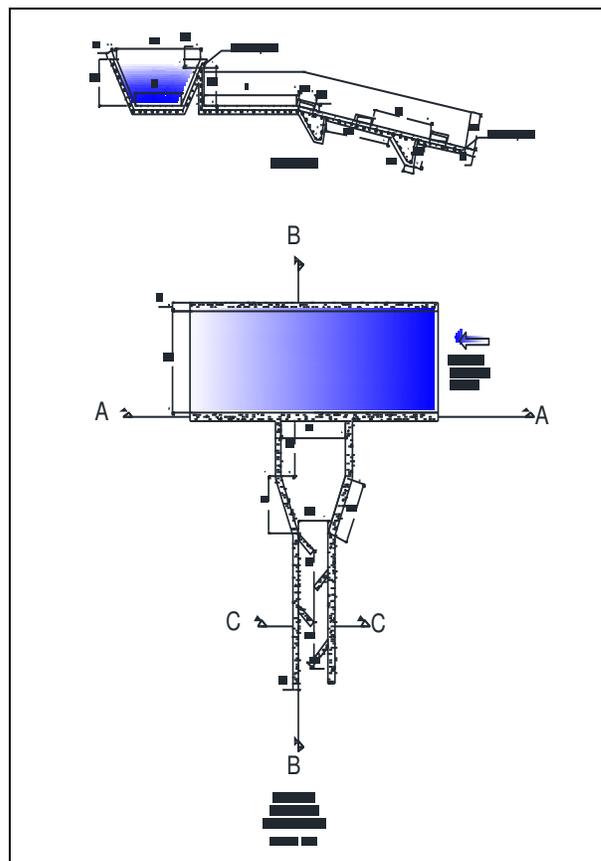
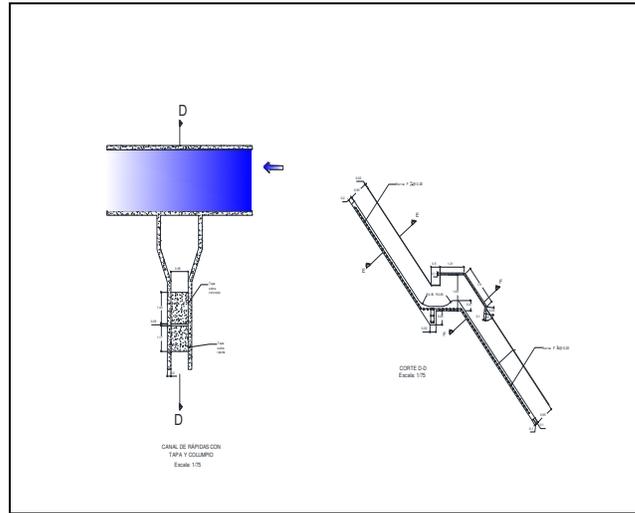


Figura 14 Canal de rápidas con tapa y columpio



**Plan de Energización Rural Sostenible para el  
Departamento de Nariño  
(PERS-NARIÑO)**

**Convenio Interinstitucional 110 de 2012**

**Universidad de Nariño**

José Edmundo Calvache  
RECTOR

Andrés Pantoja  
COORDINADOR TÉCNICO PERS

Darío Fajardo  
COORDINADOR ADMINISTRATIVO PERS

**Unidad de Planeación Minero Energética (UPME)**

Ángela Cadena  
DIRECTORA GENERAL

Olga Leandra Rey  
COORDINADORA TÉCNICA PERS

Brenda Roncancio  
COORDINADORA ADMINISTRATIVA PERS

**USAID, Programa de Energías Limpias para  
Colombia (CCEP)**

José Eddy Torres  
DIRECTOR GENERAL  
COORDINADOR TÉCNICO PERS

Catalina Álvarez  
SUBDIRECTORA  
COORDINADORA ADMINISTRATIVA PERS

**Instituto de Planificación y Promoción de  
Soluciones Energéticas para las Zonas no  
Interconectadas (IPSE)**

Carlos Neira  
DIRECTOR

Jairo Quintero  
COORDINADOR TÉCNICO PERS

