

1-1-2005

## **Diagnóstico técnico-económico para la rehabilitación de la planta Perico 1 en el Parque Nacional Natural Puracé**

Alexander Sierra Vargas  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Oscar Ricardo Boada Cuevas  
*Universidad de La Salle, Bogotá*

Follow this and additional works at: [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_electrica](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electrica)

---

### **Citación recomendada**

Sierra Vargas, A., & Boada Cuevas, O. R. (2005). Diagnóstico técnico-económico para la rehabilitación de la planta Perico 1 en el Parque Nacional Natural Puracé. Retrieved from [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_electrica/503](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_electrica/503)

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Eléctrica by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact [ciencia@lasalle.edu.co](mailto:ciencia@lasalle.edu.co).

DIAGNÓSTICO TÉCNICO-ECONÓMICO PARA LA REHABILITACIÓN  
DE LA PLANTA PERICO 1 EN EL PARQUE NACIONAL NATURAL PURACÉ

ALEXANDER SIERRA VARGAS  
OSCAR RICARDO BOADA CUEVAS

UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
PROYECTO DE GRADO  
BOGOTÁ  
2005

DIAGNÓSTICO TÉCNICO-ECONÓMICO PARA LA REHABILITACIÓN  
DE LA PLANTA PERICO 1 EN EL PARQUE NACIONAL NATURAL PURACÉ

ALEXANDER SIERRA VARGAS  
OSCAR RICARDO BOADA CUEVAS

Monografía del proyecto de  
grado para optar al título  
de Ingenieros Electricistas

Director:

ING. JULIO CESAR GARCÍA  
Ingeniero Electricista

UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
PROYECTO DE GRADO  
BOGOTA  
2005

**NI LA UNIVERSIDAD, NI EL ASESOR, NI EL JURADO CALIFICADOR SON  
RESPONSABLES DE LAS IDEAS EXPUESTAS POR EL GRADUADO**

Nota de aceptación

---

---

---

---

Director de proyecto

Ing. JULIO CESAR GARCIA

---

Jurado

Ing. FABIO ALBERTO ALDANA

---

Jurado

Ing. Luis HERNANDO CORREA

Bogota, 25 01 2006  
Día Mes Año

---

**ALEXÁNDER SIERRA VARGAS**  
**OSCAR RICARDO BOADA CUEVAS**

*Primero tengo que reconocer en este agradecimiento a quienes más me apoyan y siempre están a mi lado: mi madre, Maria Victoria, por su tierno afecto y constante dedicación; mi padre, Fernando, por sus consejos y ayuda oportuna y mi hermano, Fernando, por su constante compañía.*

*A todos mis amigos que me dan fuerzas para seguir, en especial a Ángela por su incondicional afecto y sinceridad.*

**ALEXANDER SIERRA VARGAS**



*Lograr resultados positivos llevando a cabo los objetivos trazados es una tarea ardua, no solo para aquel que lucha por la causa también para aquellos que con inmensa paciencia y dedicación brindan apoyo, es por esto que quiero dedicar este logro a las personas que jamás me abandonaron.*

*A mi madre por su sacrificio, amor y valentía para hacer de mi un hombre de bien, por darme el mejor ejemplo no solo con palabras, también con hechos.*

*A mi padre por estar siempre conmigo, por su comprensión, perseverancia, gran afecto y enseñarme a no darme por vencido.*

*A Mauricio, Paola, Carolina, Luisa, Juan y Sebastián, mis hermanos.*

*A Sandra por no dejarme desfallecer en los momentos difíciles, por comprenderme y amarme como soy.*

*A mis amigos por sacarme de la monotonía.*

*A todos aquellos que aportaron en mi proceso de aprendizaje transmitiéndome un poco de su sabiduría.*

OSCAR RICARDO BOADA CUEVAS



## AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Ingeniero Jorge Villate Castillo, decano de la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de La Salle, por su comprensión y apoyo para el desarrollo del proyecto desde el comienzo.

Ingeniero Julio César García, docente Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de La Salle, director de proyecto, por su orientación y acertada colaboración.

Doctor Luis Eduardo Machado, Consultor en ingeniería de recursos Hídricos y Energéticos por sus valiosos aportes técnicos.

Lic Edgar Antulio González, funcionario de la subdirección técnica de la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Naturales Nacionales de Colombia, por su inmensa colaboración.

Ingeniero Mauricio Boada por sus valiosas apreciaciones sobre conceptos ambientales.

Gerardo López, administrador del Parque Nacional Natural Puracé por su amable hospitalidad.

Igualmente agradecemos a las siguientes instituciones:

A la Universidad de La Salle, la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, el Instituto de Promoción de Soluciones Energéticas para la Zonas no Interconectadas de Colombia, la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios y Seringel Ltda.



## CONTENIDO

	<b>Pag.</b>
LISTA DE TABLAS	11
LISTA DE FIGURAS	13
RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	17
JUSTIFICACIÓN	18
1. GENERALIDADES ACERCA DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDRO ELECTRICAS	19
1.1 ANTECEDENTES	19
1.1.1 Energización de ZONAS NO INTERCONECTADAS (ZNI) de Colombia mediante energías limpias.	19
1.1.2 Sobre la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales (U.A.E.S.P.N.N.).	20
1.1.3 Áreas protegidas.	22
1.2 PARQUE NACIONAL NATURAL PURACÉ	23
1.2.1 Reseña histórica.	24
1.2.2 Características generales.	25
1.3 RECONOCIMIENTO	27
1.3.1 Presa y bocatoma.	27
1.3.2 Tubería.	27
1.3.3 Casa de máquinas.	29
1.3.4 Línea de subtransmisión.	32



1.3.5 Carga.	34
1.4 CLASIFICACIÓN DE LAS PCH's	34
1.5 INFORMACION RELEVANTE PARA EL DISEÑO DE PCH's	35
1.5.1 El caudal y la altura aprovechables.	35
1.5.2 Estudios e información.	35
1.6 EVALUACION ECONOMICA Y MEDIO AMBIENTE	36
2. ESTUDIO DE DEMANDA Y POTENCIA	37
2.1 DEMANDA ACTUAL	38
2.1.1 Demanda residencial.	38
2.1.2 Demanda comercial.	38
2.1.3 Servicios públicos.	39
2.2 DEMANDA POTENCIAL	39
2.3 DEMANDA FUTURA	42
3. CARTOGRAFÍA Y TOPOGRAFÍA	45
3.1 INTRODUCCIÓN	45
3.2 MEDICIÓN DE LA CAIDA	45
3.2.1 Método de Manguera de Nivelación.	46
3.3 CARTOGRAFIA Y TOPOGRAFÍA	46
3.3.1 Fuentes de información utilizadas.	47
3.3.2 Información recopilada	48
3.3.3 Reconocimiento de campo	48
4. GEOLOGÍA	49
4.1. PROSPECCIONES GEOLOGICAS	49
4.2. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	50
4.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES	50



4.3.1. Clasificación de los materiales utilizados para la construcción	50
4.3.2. Construcción	50
4.4 GEOLOGÍA APLICADA AL PROYECTO	52
5. HIDROLOGÍA	53
5.1 SUPERFICIE DE LA CUENCA DE DRENAJE	55
5.2 CONDICIONES FÍSICAS GENERALES	55
6. EQUIPO HIDROGENERADOR	57
6.1 LA TURBINA	57
6.1.1 Clasificación	57
6.1.2. Turbinas de acción	58
6.1.3. Turbinas de reacción	58
6.2. SELECCIÓN DE LA TURBINA Y CARACTERÍSTICAS DEL GENERADOR	59
6.2.1. Altura del salto (H)	59
6.2.2. Caudal (Q)	60
6.2.3. Potencia de la turbina hidráulica	61
6.2.4. Velocidad específica de la turbina.	62
6.2.5. Velocidad sincrónica de la turbina	63
6.2.6. Velocidad de rotación	64
6.2.7. Velocidad de embalamiento	64
6.2.8. Parámetros para elección de la turbina.	64
6.2.9. Turbina Michell-Banki	65
6.2.10 Ventajas de la turbina Michell-Banki	66
6.2.11. Cotización de grupo turbina-generator y especificaciones técnicas	67
6.2.12. Rendimiento de la turbina	70
7. EVALUACIÓN DE COSTOS Y PRESUPUESTO	72



7.1 COSTOS DE INVERSIÓN	72
7.1.1 Obras civiles	75
7.1.2 Maquinaria y equipo electromecánico	77
7.1.3 Total de la inversión inicial	80
7.2 COSTO DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN	81
8. ANÁLISIS ECONÓMICO	83
8.1 ANÁLISIS BENEFICIO/COSTO	83
8.2 INFORMACIÓN BÁSICA	83
8.2.1 Definición de los ingresos	83
8.2.2 Definición de egresos	84
8.3 CRITERIOS DE TOMA DE DECISIONES	85
8.3.1 El valor presente neto	85
8.3.2 Tasa interna de retorno	87
9. ANÁLISIS AMBIENTAL	90
9.1 NORMATIVIDAD	90
9.2 ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL	91
9.2.1 Emisiones Atmosféricas	92
9.2.2 Generación de residuos	92
9.2.3 Suelo	93
9.2.4 Fuente de agua	93
9.2.5 Fauna	93
9.2.6 Paisaje	93
9.2.7 Socioeconómico	94
10. RECOMENDACIONES	95
11. CONCLUSIONES	96



BIBLIOGRAFIA	98
ANEXOS	100



## LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Categorías de áreas protegidas en Colombia	22
Tabla 2 Clasificación de las PCH's	34
Tabla 3. Demanda residencial actual del centro San Juan	38
Tabla 4. Demanda comercial actual del centro San Juan	39
Tabla 5. Demanda servicios públicos actual del centro San Juan	39
Tabla 6. Periodos de actividad	40
Tabla 7. Evaluación de la demanda residencial, comercial y por servicios públicos para el centro San Juan	41
Tabla 8. Demanda total	42
Tabla 9. Crecimiento de la demanda a 25 años	43
Tabla 10. Crecimiento de la demanda	44
Tabla 11. Clasificación de los materiales	51
Tabla 12. Valores admisibles de presión sobre diferentes tipos de terreno.	51
Tabla 13. Datos para determinar caudal de Patico.	54
Tabla 14. Clasificación de turbinas de acción por altura, caudal y potencia.	59
Tabla 15. Clasificación de turbinas de reacción por altura, caudal y potencia.	59
Tabla 16. Velocidades específicas para distintas turbinas	63
Tabla 17. Activos involucrados en el proyecto	73
Tabla 18. Costo de obras civiles. En pesos Col. presentes.	77
Tabla 19. Cotización para el mantenimiento de los transformadores del sistema.	78



Tabla 20. Costos de maquinaria y equipos electromecánicos en \$Col/MC.	79
Tabla 21. Costos totales para ambos escenarios en \$Col/MC y en US.	81
Tabla 22. Costo anual operador en pesos.	82
Tabla 23. Costo del mantenimiento anual.	82
Tabla 24. Ingresos anuales en pesos actuales en \$Col/Mc.	84
Tabla 25. Valor presente neto para los dos escenarios en millones de pesos Col/Mc.	86
Tabla 26. Valor presente neto para los dos escenarios en millones de pesos Col/Mc.	87
Tabla 27. Tasa Interna de Retorno (TIR)	88
Tabla 28. Cuadro comparativo de emisiones de CO2 por GWh de diferentes fuentes de energía.	92



## LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Mapa geográfico Parque Nacional Natural Puracé	25
Figura 2. Vista volcán Puracé	26
Figura 3. Quebrada Patico, fuente del potencial energético.	27
Figura 4. Presa, válvula y compuerta, vista lateral.	28
Figura 5. Segmento tubería de asbesto. Bocatoma y aliviadero. Vista frontal	28
Figura 6. Vista frontal de la tubería de carga.	29
Figura 7. Vista frontal de la casa de máquinas.	30
Figura 8. Instalaciones internas de la casa de máquinas	31
Figura 9. Válvula y final de la tubería en casa de máquinas	31
Figura 10 Vista general del transformador elevador	32
Figura 11. Transformador reductor en el centro San Juan. Vista posterior.	33
Figura 12. Gráfica de la demanda de potencia en un día para el centro San Juan	41
Figura 13. Ubicación de elementos de la PCH en mapa de un sector de Puracé	47
Figura 14. Vector velocidad por cada área	54
Figura 15. Relación entre profundidad y largo de la sección de muestreo.	55
Figura 16. Cascada Bedón, que da idea de la riqueza hídrica del parque.	56
Figura 17. Relación caudal-salto y potencia para distintas turbinas.	60
Figura 18. Construcción de una turbina Ossberger de dos compartimientos.	66



Figura 19. Línea característica del rendimiento de una turbina OSSBERGER obtenida a partir de las 3 curvas de rendimiento de una división de 1:2, en comparación con una turbina francis.	71
Figura 20. Corte de la presa sobre la quebrada Patico.	76
Figura 21. Flujo de fondos para el escenario 1 en millones de pesos Col/Mc.	86
Figura 22. Flujo de fondos para el escenario 2 en millones de pesos Col/Mc.	87
Figura 23. Metodología resultante, en diagrama de bloques.	97



## RESUMEN

En el Diagnóstico Técnico-Económico para la Rehabilitación de la Microcentral Perico 1 en el Parque Nacional Natural Puracé se presenta el desarrollo de una metodología para recuperar esta planta y hacer viable económicamente dicha rehabilitación. En el primer capítulo se habla de generalidades acerca de pequeñas centrales hidroeléctricas, además se hace una reseña sobre la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales (U.A.E.S.P.N.N.) entidad estatal a la cual pertenece la planta Perico 1 y del Parque Nacional Natural (PNN) Puracé (reserva natural donde se ubica la zona del proyecto); un informe sobre el estado de la planta además de información relevante acerca de PCH's.

En el interés por llevar una metodología adecuada, en el segundo capítulo se realiza el estudio de demanda y potencia el cual es imprescindible para lograr óptimos resultados, en él se utiliza la información recolectada en la visita técnica de reconocimiento, datos que corresponden a la carga que la microcentral debe alimentar los cuales fueron hallados mediante el levantamiento realizado en campo. Allí se analizan los tipos de demanda actual, potencial y futura sobre los cuales se trabaja el diseño y se realiza la proyección de demanda futura para dejar abierta la posibilidad de re - potenciar la microcentral.

En el capítulo tercero se presentan aspectos de cartografía y topografía, que son de vital importancia para el desarrollo de este tipo de proyectos, de otro lado, en el capítulo se presenta en parte de una forma ilustrativa ya que para la rehabilitación puede prescindir de algunos estudios de este tipo, sin embargo se presenta información referente al proyecto y se describen métodos para determinar el salto. En el cuarto capítulo se describe la geología de la zona y se incluye geología aplicada a proyectos de este tipo.

Antes de escoger los equipos a utilizar y obras a construir; se analiza el aspecto hídrico para comprobar si se cumplen las características necesarias para la generación. El caudal juega un papel fundamental para este tipo de proyectos, para este caso se utilizó información proporcionada por funcionarios del mismo parque.

La sexta parte de este trabajo de grado es el objeto principal en cuanto a la parte técnica se refiere. El corazón del sistema de potencia está contenido en este capítulo, El equipo hidro - generador es la parte más importante en el diseño de una microcentral hidroeléctrica o de cualquier tipo; aquí se muestra claramente el procedimiento utilizado para elegir el tipo de turbina para la planta, el cálculo de los datos característicos apropiados que puedan ajustarse a las condiciones del terreno y de la carga. Luego de encontrar los parámetros principales del grupo turbina-generador se consulta a un fabricante, lo ideal es que los datos suministrados concuerden con los calculados previamente y que estén dentro de los parámetros del mercado internacional.

Una vez se tiene la anterior información, se procede a calcular el costo de la rehabilitación. Como no se tiene información confiable y técnica sobre el estado físico de



las obras civiles, se ha cotizado la reconstrucción de todas las estructuras. Luego de tener a la mano todos estos costos se hace un análisis financiero para tener una visión a largo plazo, incluyendo el valor de la administración, operación y mantenimiento de la planta durante los años que perdure el proyecto. Se debe hacer también un estimativo del periodo de recuperación de la inversión, teniendo en cuenta las características especiales que posee Perico I.

El último capítulo hace referencia a un aspecto fundamental en la metodología de cualquier proyecto y en especial aquellos que tienen como característica principal que el sitio de desarrollo esté dentro un área protegida; este capítulo retoma el tema de medio ambiente y el impacto que pueda ocasionar la rehabilitación de la PCH.

La metodología anteriormente resumida puede ser utilizada para la planeación de una PCH con características similares.



## INTRODUCCIÓN

En el proyecto de grado titulado DIAGNOSTICO TÉCNICO - ECONÓMICO PARA LA REHABILITACIÓN DE LA MICRO CENTRAL PERICO I EN EL PARQUE NACIONAL NATURAL PURACÉ, se realiza un estudio que aporta una guía para reactivar la zona de demanda del proyecto, mediante la puesta en servicio de esta pequeña central hidroeléctrica.

Para realizar un correcto análisis es necesario seguir una metodología que permita hallar una solución al problema planteado, dicha metodología contiene aspectos fundamentales, como la recolección de información y la aplicación de parámetros técnicos.

La información generalmente se basa en manuales, datos de campo, información sobre experiencias de desarrollo de proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas -PCH's- en Colombia y documentos sobre el tema, que contengan procedimientos y técnicas que se puedan aplicar al diseño de centrales hidroeléctricas de pequeña escala.

Estas pequeñas centrales a través de los años se han proyectado como una solución al problema de energización de zonas no interconectadas, pero en el caso de Perico I, se debe tener especial cuidado en el diseño y factibilidad ya que la región del proyecto es un área de reserva natural.

Por otra parte el análisis económico permite estimar los costos y recursos necesarios para desarrollar el proyecto de una forma viable para el Estado.



## JUSTIFICACIÓN

El suministro de energía eléctrica a un territorio determinado lleva desarrollo al mismo, específicamente en este proyecto se pretende reactivar un centro turístico, centro San Juan, un lugar con un aspecto particular, tiene la característica de estar dentro de un Parque Nacional que es considerado como reserva natural, el Parque Nacional Natural – PNN- Puracé. La motivación de llevar electricidad por medio de fuentes alternativas es lograr el funcionamiento normal del mismo y a la vez que sirva de herramienta para que los visitantes tomen conciencia de la importancia ecológica y ambiental de este parque, puesto que las instalaciones se prestan para tener un contacto directo con la flora, fauna, paisaje, geología y otros aspectos de la región que vale la pena sean conocidos y admirados por su inigualable belleza y biodiversidad, esto permite una sensibilización ante los recursos naturales que cada vez son mas escasos en el país.

En el desarrollo del diagnóstico se aplican áreas de estudio de Ingeniería Eléctrica, que permiten realizar una evaluación de los conceptos adquiridos durante el curso de la carrera y que se aplican e integran para alcanzar los objetivos planteados previamente.

Las microcentrales hidroeléctricas son una alternativa para el suministro de energía eléctrica de Zonas no Interconectadas (ZNI), puesto que en gran parte del territorio Colombiano se presentan las condiciones adecuadas para aprovechar este recurso renovable y que si se plantea correctamente puede llegar a tener unos niveles de impacto ambiental relativamente bajos.



# 1. GENERALIDADES ACERCA DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDRO ELÉCTRICAS

En el desarrollo de un proyecto de cualquier índole se hace relevante realizar un resumen general de la información que indique: aspectos destacados del sitio en el cual se llevarán a cabo las obras, las instituciones involucradas y datos característicos sobre temas relacionados con la finalidad del proyecto; todo esto con el fin de analizar la viabilidad del mismo y su incidencia social, económica y ambiental, tanto en la región como en la población directamente afectada, teniendo en cuenta cualquier cambio importante en las condiciones de vida de seres humanos, fauna, flora y la economía del sector.

## 1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 Energización de ZONAS NO INTERCONECTADAS (ZNI) de Colombia mediante energías limpias. Las ZNI de Colombia han sido generalmente las más olvidadas y apartadas en todo el territorio nacional, junto con algunos santuarios naturales, que por sus condiciones de flora y fauna cuentan con la protección de las instituciones competentes para tal fin, estas instituciones por reglamentación no permiten ningún tipo de contaminación y promueven la conservación de la flora y fauna. En algunos casos habitan comunidades cuyas necesidades básicas no son atendidas, en las que los servicios públicos son prestados en forma discontinua, deficiente o en el peor de los casos existe una carencia total de los mismos, por tanto se presentan innumerables problemas de todo tipo; allí donde no hay presencia del estado por la gran distancia existente con respecto a los centros de desarrollo, por problemas de orden público o por desviación de recursos, se hace evidente una problemática general, las condiciones de insalubridad por falta de acueducto o un servicio de limpieza y recolección de basuras adecuado, la pobreza que abunda en estas comunidades, la incomunicación con el resto de regiones por falta de carreteras o un servicio de energía eléctrica, sumado a las condiciones de violencia que ahondan aún más las dificultades de estas personas para subsistir, son razones más que suficientes para encontrar y plantear soluciones eficaces que ofrezcan condiciones de vida favorables para estas poblaciones, mejorando sus perspectivas de desarrollo sostenible e integral.

En el fortalecimiento de las regiones apartadas habitadas por colonos, comunidades indígenas, afro - colombianas y campesinos, donde podemos contar con ecosistemas vulnerables, de gran biodiversidad y en áreas de régimen jurídico especial como parques municipales y nacionales, reservas de flora y fauna, zonas de amortiguamiento, resguardos y reservas; las soluciones deben estar orientadas al mejoramiento económico de la región mediante generación de empleo, la prestación y mejora de los servicios públicos, es por eso que la generación de electricidad en el sitio mediante el uso de energías limpias conlleva al sector eléctrico a involucrarse en los problemas sociales del país.



Irónicamente, aún con la disponibilidad existente de recursos hídricos para la generación de energía eléctrica, más del 90% de las plantas en las ZNI donde se presta el servicio son térmicas, haciendo que los costos de operación y mantenimiento por usuario, se eleven y además contribuyendo a la contaminación del medio ambiente.

1.1.2 Sobre la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales (U.A.E.S.P.N.N.). La protección del medio ambiente y la biodiversidad en Colombia, es una tarea que conlleva grandes responsabilidades con el ecosistema de las regiones y el desarrollo sostenible de nuestro país, dentro de las innumerables riquezas naturales en el territorio nacional existen zonas de protección especial, estas poseen invaluable tesoro que exhortan a prestarles atención detallada; la entidad encargada de este fin es la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales (U.A.E.S.P.N.N.).

*Según este organismo gubernamental; “La Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales (UAESPNN) hace parte del Ministerio del Medio Ambiente, y por lo tanto es una dependencia pública. Está encargada de administrar y manejar el Sistema de Parques Nacionales Naturales, compuesto por 49 áreas de protección estricta, a lo largo y ancho del territorio nacional. También tiene dentro de sus funciones la coordinación del Sistema Nacional de Áreas Protegidas - SINAP-, que busca integrar todas las áreas protegidas naturales del país, incluso aquellas que hacen parte de la Red de Reservas de la Sociedad Civil.*

*La Unidad está integrada, a nivel nacional por la Dirección General, tres subdirecciones (administrativa, técnica, y de gestión), y por seis direcciones territoriales (Costa Atlántica, Noroccidental, Suroccidental, Norandina, Surandina y Amazonía - Orinoquia), y agrupa de modo directo a más de setecientos funcionarios especializados en el tema de la conservación. En la actualidad coordina acciones con muchos grupos sociales e institucionales que concurren de modo directo o indirecto a la conservación natural en el país.*

*Dentro de las funciones definidas para la Unidad de Parques están las siguientes:*

- *Proponer e implementar las políticas, planes y programas, normas y procedimientos relacionados con las áreas del Sistema de Parques Nacionales y del Sistema Nacional de Áreas Protegidas SINAP.*



- *Dirigir y coordinar la creación, puesta en marcha y gestión interinstitucional sectorial y social del Sistema Nacional de Áreas Protegidas SINAP.*
- *Coordinar el proceso para reservar y alinderar las áreas del Sistema de Parques Nacionales Naturales y elaborar los estudios técnicos y científicos necesarios.*
- *Otorgar permisos, concesiones y demás autorizaciones para el uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables asociados a las áreas del Sistema de Parques Nacionales Naturales y emitir concepto para el Ministerio del Medio Ambiente en materia de otorgamiento de licencias ambientales que afecten o puedan afectar las áreas del Sistema de Parques Nacionales Naturales.*
- *Liquidar, cobrar y recaudar conforme a la Ley, los derechos, tasas, multas, contribuciones y tarifas por el uso y aprovechamiento de los recursos naturales asociados a las áreas del Sistema de Parques Nacionales Naturales y demás bienes y servicios ambientales ofrecidos por dichas áreas.*
- *Adquirir para las áreas del Sistema de Parques Nacionales Naturales, por negociación directa o expropiación, los bienes de propiedad privada, los patrimoniales de las entidades de derecho público y demás derechos constituidos e imponer las servidumbres a que haya lugar.*
- *Coordinar con las autoridades ambientales, las entidades territoriales, los grupos sociales y étnicos y otras instituciones regionales y locales, públicas o privadas, la puesta en marcha de sistemas regulatorios de uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables en las zonas amortiguadoras de las áreas del Sistema de Parques Nacionales, de acuerdo a los criterios de sustentabilidad y mitigación que se definan para cada caso.*
- *Desarrollar y promover investigaciones básicas y aplicadas, estudios y monitoreo ambiental en las áreas del Sistema de Parques Nacionales Naturales.*



- *Otorgar incentivos de conservación en las áreas del Sistema de Parques Nacionales Naturales, en los términos previstos por la normatividad vigente.*
- *Velar por la elaboración y mantenimiento del registro de las reservas naturales de la sociedad civil.*
- *Las contenidas en el Decreto Ley 2811 de 1974, decreto 622 de 1977 y en la Ley 99 de 1993 en cuanto a las áreas del Sistema de Parques Nacionales Naturales, salvo las referentes a licencias ambientales, reservación, alinderación y declaratoria de ellas mismas y las demás actividades que le sean establecidas por ley en un futuro y que comprometan la participación y la protección de las áreas del Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia”<sup>1</sup>.*

1.1.3 Áreas protegidas. Las áreas protegidas son extensiones que deben ser conservadas y administradas eficientemente para asegurar un desarrollo sostenible encaminado al bienestar de las generaciones futuras. La finalidad principal de un área protegida es preventiva, específicamente, conservar el hábitat de tal manera que no presenten en ningún momento daños irreparables o cuya recuperación sea costosa y a largo plazo.

**Tabla 1. Categorías de áreas protegidas en Colombia**

<b>CATEGORÍAS</b>	<b>CATEGORÍAS DEL SISTEMA DE PARQUES NACIONALES DE COLOMBIA</b>	<b>CATEGORÍAS DIFERENTES AL SISTEMA DE PARQUES NACIONALES DE COLOMBIA</b>
I Reserva natural estricta o área natural silvestre	Reserva natural	
II Parque nacional	Parque Nacional	
III Monumento Natural	Santuario de Fauna Santuario de Flora Área Natural Única Vía parque	Parque Natural Regional
IV Área de manejo de hábitat o especies		Territorio Fáunico Reserva de Caza Coto de caza

<sup>1</sup> Disponible en internet, <<http://www.parquesnaturales.gov.co>>



V Paisaje terrestre o marino protegido		
VI Área Protegida con recursos manejados		Distrito de manejo Integrado Distrito de Conservación de suelos Áreas de Reserva Forestal Protectora Áreas de Reserva Forestal Productora Áreas de Reserva Forestal Protectora-Productora Área de reserva (recursos pesqueros) Área de manejo integrado para recursos hidrobiológicos Reserva natural de la sociedad civil

Fuente Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales

## 1.2 PARQUE NACIONAL NATURAL PURACÉ

El Parque Nacional Natural Puracé se encuentra en la jurisdicción de los departamentos del Cauca (municipios de Almaguer, Puracé, San Sebastián y Sotará) y del Huila (municipios de La Argentina, La Plata, San José de Isnos, Salado Blanco y San Agustín). Este parque de 83,000 hectáreas comprende el área más sobresaliente del relieve patrio, formado por el Macizo de Almaguer o Macizo Colombiano y la Sierra de los Coconucos. Comprende alturas entre los 2,600 y 5,000 m, más de cincuenta lagunas, así como el nacimiento y curso superior de los ríos Magdalena, Caquetá, Cauca y Patía, características que le dan la denominación de Estrella Hidrográfica Colombiana.

En esta región se observan diferentes tipos de vegetación como lo son la selva húmeda de piso térmico frío, el páramo, el superpáramo entre otros. La selva húmeda de piso igualmente húmedo se encuentra desde las primeras alturas del parque hasta 3,600 m, es llamada también bosque andino y da lugar a bosques achaparrados pequeños. La vegetación de los bosques andinos del parque es muy variada en la cual figuran diferentes tipos de árboles como el manzano, nazua, candelos, higuierón, laurel de cera, cucharos, arrayán, mortiños, guamos, etc.

Para elevaciones de 3,000 m o más, la vegetación presenta cambios debido a las condiciones climáticas del terreno, se observa que los bosques son mucho más reducidos. Varias de las especies ya mencionadas se pueden observar a estas alturas donde predominan la epífitas y las orquídeas terrestres de las cuales se encuentran 200 diferentes especies. Aparecen también diversos musgos principalmente *sphagnun spp*, *azorelia peduncuiata* y *plantago linearis*.



Entre los 4,000 y 4,200 m se inicia el superpáramo, a estas alturas la vegetación es bastante escasa aunque no ausente. Se caracteriza por algunas hierbas y arbustos.

El parque cuenta con más de 150 especies de aves; como patos, pato de los torrentes, el cóndor, el águila de copete, el curuquina y la pava andina. También habitan colibríes, soledades reales, yátaros, alondras, carpinteros, entre muchos otros.

Por ser éste un hábitat bastante amplio y diverso también se encuentran varias especies de anfibios anuros (ranas o sapos), como *osornophrynre bufoniformis*, *hylopsis buckleyi*, *atelopus ebenoides*, etc.

En la figura 1 se ilustra un mapa que ubica a Puracé entre los departamentos del Cauca y del Hulia y señala dentro del parque los principales ríos y elevaciones. Además se resalta con un cuadro azul el área del proyecto.

1.2.1 Reseña histórica. “Los tenientes de Sebastián de Belalcázar, Pedro de Añasco y Juan de Ampudia en viaje de conquista de exploración, llegaron desde Pasto a la región de Popayán. En el mismo año partió de esta ciudad Francisco García de Tocar teniente de Belalcázar, pasó por el Valle de Coconuco a Isnos y descubrió el alto valle del Magdalena. Belalcázar tuvo noticias de la existencia de las tribus de estas cuencas e intentó penetrar a través de la región ocupada por los Paeces, quienes lo obligaron a regresar

La usurpación gradual de las tierras cultivables a los indígenas condujo al repliegue de estos hacia los sectores de bosques y páramos. Así, durante la época de la conquista y la colonia, se fueron despoblando bastos sectores en un proceso que configuraba la cercanía del colapso de las tribus.

La muerte, la huída de los indígenas hacia parajes recónditos durante la conquista y la consecuente escasez de mano de obra, así como el acoso por parte de tribus hostiles, obligaron al traslado de las poblaciones, hacia encomiendas cercanas a Timaná y San Agustín.

En la actualidad indígenas paeces están localizados en los alrededores del parque, especialmente en el extremo norte, en las faldas del volcán. Pertenecen a un resguardo que desde la población de Puracé, ubicada a 2.600 m, cobija estas faldas hasta la cabecera del río Cocuy. ”

1.2.2 Características generales. Extensión: 83.000 hectáreas. Año de creación: 1961.

Figura 1. Mapa geográfico Parque Nacional Natural Puracé



Fuente: UAESPNN de Colombia. Reserva Nacional Natural Puracé [online]. ADMO Software LTDA. [citado Jul. 2005]. Disponible en internet: <URL: <http://www.parquesnacionales.gov.co/areas/lasareas/purace/puraintro.htm>>.

Localización. En los Municipios de Almaguer, Puracé, San Sebastián y Sotará, en el departamento del Cauca, y los municipios de la Argentina, la Plata, Isnos, Soladoblanco y San Agustín en el Huila.

Temperatura. 2°C a 15 °C en promedio. Altura: entre 2.500 y 5.000 metros sobre el nivel del mar.

Vías de acceso. Para visitar el PNN Puracé se pueden tomar los siguientes caminos: Popayán - 44 Km hasta el punto denominado El Crucero, desde allí la carretera tiene un desvío que conduce a la mina de azufre de Puracé a 1 Km. A partir de este ramal hay otro desvío hacia el área recreacional de Pilimbalá.

En la figura 2 tenemos una panorámica del cráter del volcán Puracé, el cual es una referencia para la ubicación del proyecto.

**Figura 2. Vista volcán Puracé**



Fuente: UAESPNN de Colombia. Reserva Nacional Natural Puracé [online]. ADMO Software LTDA. [citado Jul. 2005]. Disponible en internet:  
<URL: <http://www.parquesnacionales.gov.co/areas/lasareas/purace/puraintro.htm>>.

Otras rutas. Vía Popayán – La Plata, donde se encuentra la laguna de San Rafael, a 8 km. de El Crucero, donde se encuentra la entrada al parque; por el costado oriental siguiendo la vía a 5 km. está la cascada del Río Bedón y 2 Km. más adelante están los termales de San Juan. Prosiguiendo la vía a 3 Km. está la cabaña de vigilancia y control de San Nicolás y 2 Km. adelante la Cueva de los Guácharos.



Comunidades presentes en el área. Las comunidades que se encuentran presentes en el Parque Puracé son indígenas y campesinos. De estos grupos podemos nombrar entre otros a: Guambianos, Paéces, Puraceños, Papallatas, Yanaconas, Totoroes, etc.

### 1.3 RECONOCIMIENTO

A partir de la visita técnica realizada durante los días 15, 16 y 17 del mes de octubre de 2004, se presentan las siguientes observaciones:

1.3.1 Presa y bocatoma. La presa no presenta fisuras, la compuerta a simple vista se encuentra alineada con la presa y el mecanismo de apertura está en avanzado estado de oxidación. No se ve alguna rejilla que filtre el agua que alimenta la central. En la figura 3 se muestra la Quebrada Patico, la cual alimenta el sistema.

**Figura 3. Quebrada Patico, fuente del potencial energético.**



Fuente: Fotografía tomada por los autores durante la visita técnica de reconocimiento.

La bocatoma no presenta filtraciones, el flujo de agua a través de ésta es constante y no hay obstrucción aparente. La figura 4 muestra una vista frontal de la presa, donde se distinguen la compuerta y la válvula de apertura.

1.3.2 Tubería. El primer tramo es de asbesto-cemento con una longitud en cada sección de 4 m aproximadamente, sumando 9 secciones que no presentan una pendiente significativa. Luego hace empalme con 5 segmentos de tubería en acero de 18" cuya pendiente es más pronunciada a la del tramo anterior. Cada una de la 5 secciones tiene aproximadamente una longitud de 1.8 m, y entre las tuberías un empalme que mide 30 cm desde el borde del mismo.

**Figura 4. Presa, válvula y compuerta, vista lateral.**



Fuente U.A.E.S.P.N.N.

En la figura 5 se tiene una vista del estado actual del tramo de la tubería en hormigó. En la figura 6 se observan los tramos de la tubería en acero.

**Figura 5. Segmento tubería de asbesto. Bocatoma y aliviadero. Vista frontal**



Fuente: Fotografía tomada por los autores durante la visita técnica de reconocimiento.

**Figura 6. Vista frontal de la tubería de carga.**



Fuente U.A.E.S.P.N.N.

La tubería se encuentra expuesta a las inclemencias del medio ambiente y la vegetación la cubre casi por completo; externamente, su estado es aceptable. Se recomienda examinarla detalladamente mediante un proceso adecuado, ya que si se tiene en cuenta la composición alcalina del agua, no es seguro que en su interior se encuentre en buen estado y tal vez su grosor no sea el adecuado.

Las diferentes alturas de la tubería se encuentran acotadas en el plano de perfil contenido en el Anexo C.

1.3.3 Casa de máquinas. Como se observa en la figura 7, el estado actual de la casa de máquinas es de completo abandono y aunque se mantiene en pie, presenta agrietamientos. Se encuentra inundada, razón por la cual los cimientos podrían estar en malas condiciones, en cuyo caso se debe demoler la construcción. Entre tanto las instalaciones eléctricas básicas de la planta referidas a la casa de máquinas, deben ser desechadas. Según inspección visual realizada en la visita técnica el estado de deterioro en que se encontraron imposibilita su recuperación y los dispositivos más importantes están extraviados, los elementos a los que se hace referencia son:

**Figura 7. Vista frontal de la casa de máquinas.**



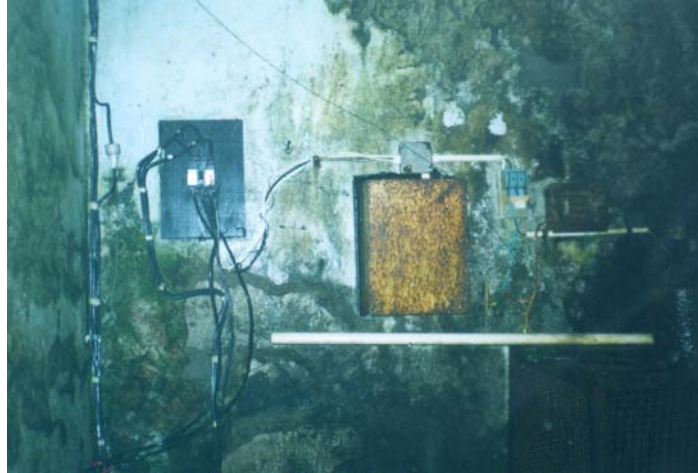
Fuente U.A.E.S.P.N.N

**Tablero de control:** Se encuentra totalmente desmantelado, sus instrumentos de medición no están completos, solo existe un medidor de potencia y de factor de potencia, carece de amperímetro, voltímetro; los elementos de protección no fueron hallados, hay algunos contactores, no hay relevadores por lo tanto sus respectivos transformadores de corriente y potencial no existen, tampoco descargadores de sobretensión en el transformador elevador, ver figura 8 (instalaciones internas de la casa de máquinas).

**Generador:** no fue encontrado en la casa de máquinas. De encontrarse debe ser sometido a pruebas de laboratorio para diagnosticar su estado actual. La acometida del generador al transformador elevador es inservible.

**Turbina:** La turbina se encuentra extraviada o destruida, por lo tanto debe hacerse un estudio de las condiciones de la zona y la carga para escoger y diseñar una nueva turbina, por la disposición de las instalaciones en la casa de máquinas y la caída calculada se supuso que la turbina existente era de tipo axial. Las demás especificaciones sobre el dispositivo mecánico son desconocidas.

**Figura 8. Instalaciones internas de la casa de máquinas**



Fuente U.A.E.S.P.N.N

Cámara de descarga y fin de tubería: La cámara de descarga es apta para un desagüe efectivo si el flujo es controlado y dirigido correctamente. Al no existir ningún tipo de válvula en la tubería, no se ejerce control sobre el chorro lo cual causa inundación en la casa de máquinas tal como se ve en la figura 9.

**Figura 9. Válvula y final de la tubería en casa de máquinas**



Fuente U.A.E.S.P.N.N

1.3.4 Línea de subtransmisión. La línea de subtransmisión tiene en su primer y último poste dos transformadores elevador y reductor respectivamente, según inspección visual. la potencia nominal de estos es de 30 KVA y su grupo de conexión es Y - $\Delta$  y  $\Delta$ -Y, no se encontraron las protecciones correspondientes (descargador de sobretensión, fusible) para comprobar si aún es funcional, se deben realizar pruebas para diagnosticar el estado de sus devanado y aislamientos. Ver figura 10.

**Figura 10 Vista general del transformador elevador**



Fuente U.A.E.S.P.N.N

Con respecto a la línea se observó lo siguiente (se enumeran los postes de acuerdo al orden en que se hallan desde la casa de máquinas hasta la carga):

- La línea está compuesta por nueve postes y ocho tramos.
- Es una línea aérea de 1.5 Km aproximadamente.
- Poste 1: Torre de retención, tipo T, sobre este se encuentra montado el transformador elevador.

- Tramo entre postes 1 y 2: No tiene cable de guarda, el conductor de la fase 2 no está.
- Poste 2: Torre de suspensión tipo T.
- Tramo entre postes 2 y 3: No hay cable de guarda, carencia de una fase.
- Poste 3: Torre de suspensión tipo T.
- Tramo entre postes 3 y 4: No hay cable de guarda, carencia de una fase.
- Poste 4: En realidad son 2 postes a corta distancia, torres de retención tipo T.

**Figura 11. Transformador reductor en el centro San Juan. Vista posterior.**



Fuente U.A.E.S.P.N.N

- Tramo entre postes 4 y 5: No se encontró cable de guarda, carencia de una fase.
- Poste 5: Torre de retención tipo T.



- Tramo entre postes 5 y 6: No se encontró cable de guarda, fases completas.
- Poste 6: Torre de suspensión tipo T.
- Tramo entre postes 6 y 7: No hay cable de guarda, fases completas.
- Poste 7: Torre de suspensión tipo T.
- Tramo entre postes 7 y 8: No hay cable de guarda, carece de una fase.
- Poste 8: Torre de suspensión tipo T.
- Tramo entre postes 8 y 9: No se encuentra el cable de guarda, carencia de una fase.
- Poste 9: Fin de la línea, torre de retención tipo T, sobre este se encuentra montado el transformador reductor, tal como se observa en la figura 11.

1.3.5 Carga. Las instalaciones a las cuales se suministrará energía eléctrica generada en la Microcentral Hidroeléctrica Perico I se hallan en el sector de San Juan. Las dependencias allí ubicadas están compuestas por un restaurante, auditorio, museo y sede administrativa; se encuentran en completo estado de abandono, se realizaron mediciones espaciales de las dimensiones de cada dependencia, bocetos de su arquitectura y planos de las instalaciones eléctricas<sup>2</sup>. Tales recintos no poseen flujo de energía hacia sus circuitos, deben hacerse algunas reformas a sus instalaciones por no cumplir las normas y anexar algunos circuitos necesarios. Más adelante se hará el respectivo análisis de carga y demanda.

#### 1.4 CLASIFICACIÓN DE LAS PCH'S

Según la OLADE, las pequeñas centrales hidroeléctricas se clasifican de acuerdo con las condiciones del caudal, la altura y la carga que se va a alimentar, de la siguiente manera:

Tabla 2 Clasificación de las PCH's

CLASIFICACIÓN	GENERACIÓN	SALTO (M)	CAUDAL (M <sup>3</sup> /SEG)
Micro centrales	Hasta 50 kW	50	1 - 30
Mini centrales	Hasta 500 kW	100	30 - 40
Pequeñas Centrales	Hasta 5000 kW	150	40 - 60

Fuente: OLADE, MANUAL DE DISEÑO DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS. VOLUMEN II

<sup>2</sup> Ver los respectivos planos en el Anexo C.



Para el caso específico de la planta Perico I, se tiene un salto de 4 m y un caudal<sup>3</sup> de 0.848 m<sup>3</sup>/s, que debe proporcionar energía eléctrica necesaria para satisfacer una demanda de 32.33 KW, lo cual, indica que esta planta se clasifica como una microcentral. Más adelante se expondrán las metodologías para determinar estos datos.

## 1.5 INFORMACION RELEVANTE PARA EL DISEÑO DE PCH'S

1.5.1 El caudal y la altura aprovechables. Lo ideal es que estos datos sean tomados en campo con una metodología que asegure la exactitud de los mismos. En caso de no contar con los recursos para realizar los estudios en sitio ni con la disponibilidad de dichos datos, se hace necesario aplicar otros procedimientos existentes que son válidos pero no ofrecen un alto grado de precisión. Lo anterior está sujeto a factores tales como: la información existente sobre el área del proyecto, la situación de orden público de la región, vías de acceso, etcétera.

1.5.2 Estudios e información. Existen varios estudios que se deben aplicar para el diseño o diagnóstico técnico-económico, algunos más necesarios que otros como los topográficos y los referentes al caudal, si se tiene la posibilidad de obtenerlos deben ser aprovechados, de lo contrario se debe analizar si son imprescindibles para la ejecución de las obras y diseño.

Algunos estudios que se deben realizar son:

- Estudios de topografía, necesarios para el levantamiento de perfil en las líneas de subtransmisión y para determinar la altura del salto.
- Estudios de geología y geotecnia, son fundamentales para las obras civiles.
- Estudios hidrológicos, los cuales son importantes para conocer el potencial hídrico de la zona, se pueden realizar en campo o con datos estadísticos de la región.
- Cartografía y/o fotografía aérea, permite establecer la ubicación de las obras civiles y determinar el área de la cuenca de drenaje.
- Análisis químico del agua, que proporcione información necesaria para elegir los materiales adecuados en turbinas, tuberías y en general elementos que tengan contacto directo con el fluido.

---

<sup>3</sup> Según datos remitidos por la U.A.E.S.P.N.N. Ver Anexo sobre comunicaciones emitidas por esta entidad.



La información requerida es variada y no siempre está disponible, por ejemplo, se puede mencionar aquella que es propia de la zona como densidad demográfica, clima, flora y fauna, altura sobre el nivel del mar, entre otras.

## **1.6 EVALUACION ECONOMICA Y MEDIO AMBIENTE**

En la construcción o rehabilitación de una PCH además de la parte técnica se deben observar otros factores que inciden directamente en el buen desarrollo del proyecto en todas sus etapas como son: el proceso de licitación, el diseño, la construcción, el montaje de los equipos y puesta en servicio de la planta; tales factores hacen que la inversión se pueda determinar y permiten estimar el impacto social sobre la población.

Al evaluar costos e ingresos en cualquier proceso productivo u obras de gran impacto socioeconómico, se debe hacer tomando en cuenta todas las variables, desde las más simples hasta las más complejas, lo cual da sustento a la toma de decisiones con respecto a la financiación, si es conveniente realizarlo o no, que aspectos se deben omitir y cuales son imprescindibles. Para realizar el análisis económico y financiero en proyectos de inversión para el abastecimiento de energía en PCH's, se deben tener referencias sobre conceptos básicos como tasa de descuento, tasa general de inflación, vida útil de la planta, gastos de inversión, costos (activo fijo, activo intangible y capital de trabajo), costos de personal, costos de mantenimiento y reparación, materiales auxiliares, administración y otros.

Por ser un área de reserva natural se debe tener especial cuidado con los proyectos de energización; el impacto que pueda sufrir el ecosistema del parque debido a las obras y funcionamiento de la planta pueden llegar a definir la realización de un proyecto de este tipo.



## 2. ESTUDIO DE DEMANDA Y POTENCIA

El estudio de demanda y potencia permite estimar la potencia que debe atender la central, por tanto muchos detalles del diseño dependen de los valores que se hallarán a continuación. Primero que todo, es fundamental describir las características de la población que se va a atender.

A manera de una descripción preliminar se puede establecer que en el caso de Perico 1, la población se reduce a los funcionarios o guarda parques que habiten en la cabaña de control y vigilancia ubicada en el centro San Juan, los cuales no superan un número de 6. El resto de la población es flotante, es decir, una población constituida mayoritariamente por turistas o visitantes que frecuenten el centro. Por tal razón la demanda tiene características especiales que inciden en el estudio.

Por ser un área protegida, el crecimiento poblacional está limitado ya que el establecimiento de viviendas de personas particulares no está permitido dentro de la planeación municipal, tal vez sólo en las zonas de amortiguamiento. Por tanto la población no flotante del centro San Juan será ante todo representada por funcionarios que vivan en el centro San Juan, en la cabaña de funcionarios<sup>4</sup>. Por el número de habitaciones y su área, la cantidad máxima de personas que pueden habitar cómodamente en tal cabaña es de 5, pero de estos cinco posibles habitantes se prevé que máximo 2 vivan constantemente en ella y 3 sean visitantes regulares. Esto define que la tasa de crecimiento vegetativa no se toma en cuenta puesto que no sería mayor a cero y no habría nuevos usuarios, a no ser que se aumentara el tamaño del centro turístico, pero dentro de los planes de la administración del parque sólo se encuentra la rehabilitación y puesta en funcionamiento del centro turístico San Juan.

Los tipos de demanda para analizar son los siguientes:

**Demanda actual.** Es la potencia instalada del centro turístico San Juan. En esta demanda se identifican los instrumentos eléctricos y su potencia.

**Demanda potencial.** Tomando como referencia un día representativo, se supone el uso de todos los aparatos eléctricos, indicando el horario de uso y el consumo propio de dicho día.

---

<sup>4</sup> Ver bosquejo del plano arquitectónico de la Cabaña de Funcionarios del centro San Juan en el Anexo.



Demanda futura. Es una proyección de la demanda potencial, proyección que se hace tomado un periodo de tiempo determinado, en este caso, 25 años. Para encontrar esta demanda, se deben tener en cuenta factores intrínsecos a la zona del proyecto que varían con el tiempo, como la natalidad, mortalidad, migración, emigración, perspectivas de desarrollo de la comunidad, etcétera.

## 2.1 DEMANDA ACTUAL

Como esta zona ya ha contado antes con el servicio de energía eléctrica, se realizó un reconocimiento de la demanda actual, suponiendo existentes algunos elementos de la carga, que aunque no se hayan visto en la visita técnica realizada, se deben incluir dentro de la demanda actual.

La demanda actual cubre lo consumido por los equipos ya adquiridos por el parque Puracé, los que se instalaron cuando la PCH aún estaba en funcionamiento junto con el centro turístico.

2.1.1 Demanda residencial. Incluye electrodomésticos actuales y posibles a adquirir. La demanda residencial se limita a la cabaña del funcionario o funcionarios. Según lo visto en la visita se presenta la tabla 3 con los valores de los aparatos considerados dentro de la demanda residencial.

**Tabla 3. Demanda residencial actual del centro San Juan**

APARATO	POTENCIA (W)	NUMERO	TOTAL (W)
Bombillas (Incandescentes)	100	9	900
Tomacorrientes	110	12	1320
Salidas 3 fases	250	1	250
Nevera	250	1	250
Licuada	200	1	200
Televisor	100	1	100
Grabadora	40	1	40
Estufa	3000	1	3000
<b>TOTAL</b>			<b>6060</b>

Fuente: Elaboración propia, según datos tomados por los autores durante la visita técnica de reconocimiento.

2.1.2 Demanda comercial. No se deben olvidar los equipos que han quedado en desuso por la ausencia de energía y por supuesto, el equipo potencial. Si algún equipo se ha averiado, se ha de calcular la demanda con el posible reemplazo de dicho equipo. De acuerdo a la actividad comercial, turismo en este caso, las necesidades básicas son:



Refrigeración, calefacción, iluminación (museo) y otros. Según lo observado en la visita técnica, la tabla 4, la demanda actual es la siguiente:

**Tabla 4. Demanda comercial actual del centro San Juan**

APARATO	POTENCIA (W)	NUMERO	TOTAL (W)
Bombillas incandescentes tipo reflector (R)	150	102	15300
Tomacorrientes	110	40	4400
Salidas 3 fases	250	9	2250
Nevera	200	1	200
Licuada	200	1	200
Televisor	100	2	200
<b>TOTAL</b>			<b>22550</b>

Fuente: Elaboración propia, según datos tomados por los autores durante la visita técnica de reconocimiento.

2.1.3 Servicios públicos. Igualmente, se incluyen en la tabla 5 los elementos existentes y posibles por suministrar. La energía producida por la microcentral Perico 1, aportará soluciones en materia de alumbrado público y comunicaciones. De la siguiente manera:

**Tabla 5. Demanda servicios públicos actual del centro San Juan**

APARATO	POTENCIA (W)	NUMERO	TOTAL (W)
Bombillas (Mercurio )	125	5	625
Equipo de comunicaciones	100	1	100
<b>TOTAL</b>			<b>725</b>

Fuente: Elaboración propia.

Sumando los valores totales de las tablas 3, 4 y 5, se tiene una demanda actual total de **32.33 KW**.

## 2.2 DEMANDA POTENCIAL

Con la demanda actual, se encuentra la demanda total de un periodo estimado, proyectado desde un día dado. Se puede tomar en cuenta el comportamiento del consumo de energía observado en el centro Pilimbalá; es decir, asumir un comportamiento similar para hallar las horas de mayor consumo, ya que el centro Pilimbalá cumple casi con las mismas horas de consumo que se podrían presentar en San Juan, además el flujo de turistas y visitantes tendría una similitud considerable.



En las tablas 6 y 7 se calcula la demanda potencial, diferenciando entre consumo residencial, comercial y de servicios públicos. El factor de simultaneidad – CS -, representa la probabilidad de que un número de usuarios utilicen el mismo aparato eléctrico en el mismo momento. Este factor es proporcional al número de usuarios, al tipo de actividad y al horario. El CS no aumenta linealmente, por tanto su valor se puede estimar por medio de las observaciones realizadas en el sitio del proyecto.

El horario está dividido por periodos, que separan las posibles actividades que se pueden realizar en el lugar, en este caso, las horas de los periodos corresponden a las siguientes actividades:

**Tabla 6. Periodos de actividad**

PERIODO	ACTIVIDAD
0 - 5	Descanso
5 - 7	Desayuno
7 – 11	Actividad turística
11 – 13	Almuerzo
13 – 17	Actividad turística
17 – 19	Comida
19 – 21	Recreación, movilización
21 –24	Descanso

Fuente: Elaboración propia, según datos tomados por los autores durante la visita técnica de reconocimiento.

Según estos periodos y los coeficientes, hallamos la demanda potencial de la tabla 7, calculada con el producto de la potencia del equipo eléctrico usado en un periodo estimado, por el coeficiente de simultaneidad y por el número de equipos. El valor de la demanda potencial en total para un periodo dado, es la suma de las anteriores demandas potenciales, luego se suman estos totales para tener la demanda potencial en un periodo de 24 horas / día.

Los resultados de demanda potencial indican un valor igual a 279.97 kWh para un día de consumo alto, este resultado se ajusta a la capacidad de generación. Cabe anotar que esta demanda fue hallada con respecto a las características actuales del centro, tomando como modelo un día en que se presenta mayor demanda, o sea, un fin de semana, para el resto de días de la semana se espera que el consumo sea menor.



Luego se proyecta la demanda de potencia diaria para el resto de los días del año (365), se obtiene un consumo de 102.192 MWh, lo cual se observa en la tabla 8, donde se encuentran estos valores discriminados por el tipo de demanda.

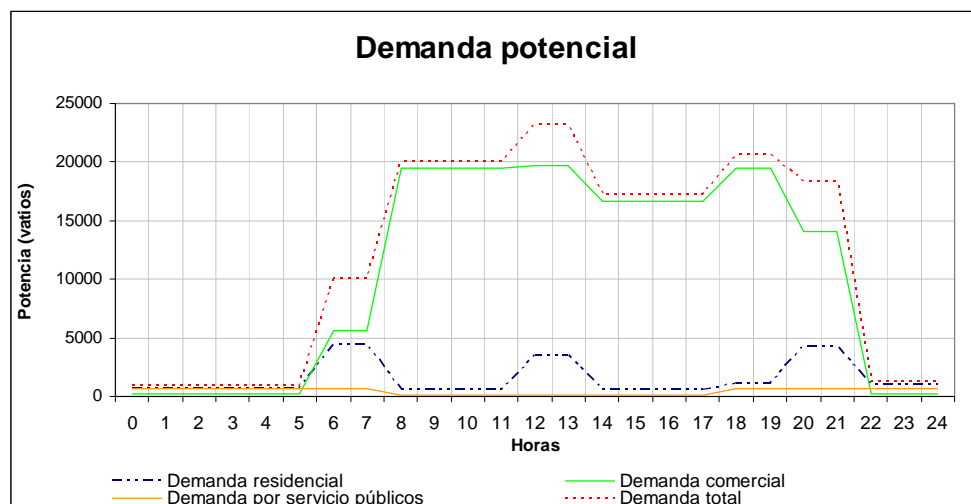
**Tabla 7. Evaluación de la demanda residencial, comercial y por servicios públicos para el centro San Juan**

APARATO Unidades	POTENCIA (w)	CS %	N°	HORARIO DE USO (horas)								Energía		
				0-5	5-7	7-11	11-13	13-17	17-19	19-21	21-24	Día (kWh)	Año (MWh)	
<b>RESIDENCIAL</b>														
Bombillas (Incandescentes)	100	0.7	9		630					630	630	630		
Tomacorrientes	110	0.1	12	132	132	132	132	132	132	132	132	132		
Salidas 3 fases	250	0.1	1	25	25	25		25				0.5		
Nevera	250	1	1	250	250	250	250	250	250	250	250	250		
Licuadaora	200	1	1	200	200						200			
Televisor	100	1	1		100	100	100	100	100	100	100			
Grabadora	40	1	1	40	40	40						40		
Estufa	3000	1	1		3000		3000				3000			
<b>Total residencial (W)</b>	<b>4050</b>			<b>647</b>	<b>4377</b>	<b>547</b>	<b>3482</b>	<b>507</b>	<b>1112</b>	<b>4312.5</b>	<b>1052</b>	<b>37.174</b>	<b>13.5685</b>	
<b>COMERCIAL</b>														
Bombillas incandescentes tipo reflector (R)*	150	0.9	102			13770	13770	13770	13770	13770				
Tomacorrientes	110	0.5	40		2200	2200	2200	2200	2200					
Salidas 3 fases	250	0.1	9			225	225	225	225					
Nevera	200	1	1	200	200	200	200	200	200	200	200			
Licuadaora	200	1	1		200		200	200						
Televisor	100	0.5	2			100	100	100	100	100				
Estufa	3000	1	1		3000	3000	3000		3000					
<b>Total comercial</b>	<b>4010</b>			<b>200</b>	<b>5600</b>	<b>19495</b>	<b>19695</b>	<b>16695</b>	<b>19495</b>	<b>14070</b>	<b>200</b>	<b>264.08</b>	<b>96.3892</b>	
<b>SERVICIOS PUBLICOS</b>														
Bombillas (Mercurio)	125	0.9	5	562.5	562.5					562.5	562.5	562.5		
Equipo de comunicaciones	100	1	1	100	100	100	100	100	100	100	100			
<b>Total servicios públicos</b>	<b>225</b>			<b>662.5</b>	<b>662.5</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>662.5</b>	<b>662.5</b>	<b>662.5</b>	<b>10.275</b>	<b>3.75038</b>	

\* Estas bombillas corresponden a las instaladas en el museo, lo que explica su uso exclusivamente durante el día.

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 12. Gráfica de la demanda de potencia en un día para el centro San Juan**



Fuente: Elaboración propia.



Tabla 8. Demanda total

UTILIDAD	POTENCIA (w)	CS %	HORARIO DE USO (horas)								Energía	
			0-5	5-7	7-11	11-13	13-17	17-19	19-21	21-24	Día (kWh)	Año (MWh)
RESIDENCIAL	4050		647	4377	547	3482	507	1112	4312.5	1052		
COMERCIAL	4010		200	5600	19495	19695	16695	19495	14070	200		
SERVICIOS PUBLICOS	225		662.5	662.5	100	100	100	662.5	662.5	662.5		
TOTAL	8285		1509.5	10640	20142	23277	17302	21270	19045	1914.5	311.53	113.708

Fuente: Elaboración propia.

Los datos consignados en las anteriores tablas se pueden visualizar en la figura 12, en donde se nota que la demanda total está conformada en gran parte por la demanda comercial, dejando a las demás utilidades en segundo plano. Eso se debe a que la actividad correspondiente a la carga a alimentar es ante todo de turismo, y los residentes en dicha área son pocos, además muestra el comportamiento de la demanda a lo largo del día.

## 2.3 DEMANDA FUTURA

La demanda futura depende estrechamente de factores propios de la zona, ya mencionados anteriormente, para este caso tenemos lo siguiente:

Natalidad. Debido a que en la zona no existe una densidad de población estacionaria considerable y además no es permitido; el porcentaje de natalidad se considera despreciable.

Mortalidad. Por los mismos motivos del indicador anterior, la tasa de mortalidad es nula.

Migración. Por causas como la violencia y el conflicto armado del país, existe la posibilidad de migración hacia el área de estudio. Sin embargo las normas ambientales no permiten asentamientos no autorizados en zonas de conservación ambiental como el PNN Puracé.

Emigración. Más que estimar un porcentaje de emigración en un periodo dado, se debe considerar la posibilidad de disminución de la afluencia de turistas o abandono de las instalaciones por diversas causas.

Perspectivas de desarrollo. Con respecto a este ítem, no se puede descartar una ampliación de las instalaciones del centro turístico San Juan lo que ocasionaría un aumento en el consumo residencial. Además si la situación de violencia del país llega a mejorar, la afluencia de turistas aumentaría considerablemente y junto a ello, se generaría



un aumento en el número de funcionarios que llegasen a vivir en el centro San Juan, o sea que también aumentaría la carga residencial.

**Tabla 9. Crecimiento de la demanda a 25 años**

Año	Demanda residencial				Demanda comercial			Demanda servicios públicos		Demanda total	
	%	Potencia K-vatios	Energía kWh - año	%	Potencia K-vatios	Energía kWh - año	%	Potencia K-vatios	Energía kWh año	Potencia K-vatios	Energía kWh - año
0	0	4.377.00	13.568.51	0	19.695.00	96.389.20	0	662.50	3.750.38	23.190.00	113.708.09
1	0	4.377.00	13.568.51	0	19.695.00	96.389.20	0	662.50	3.750.38	24.734.50	113.708.09
2	0	4.377.00	13.568.51	0	19.695.00	96.389.20	0	662.50	3.750.38	24.734.50	113.708.09
3	0	4.377.00	13.568.51	0	19.695.00	96.389.20	0	662.50	3.750.38	24.734.50	113.708.09
4	0	4.377.00	13.568.51	0	19.695.00	96.389.20	0	662.50	3.750.38	24.734.50	113.708.09
5	0	4.377.00	13.568.51	0.1	19.714.70	96.485.59	0	662.50	3.750.38	24.754.20	113.804.47
6	0	4.377.00	13.568.51	0.1	19.734.41	96.582.07	0.1	663.16	3.754.13	24.774.57	113.904.71
7	0	4.377.00	13.568.51	0.1	19.754.14	96.678.66	0.1	663.83	3.757.88	24.794.97	114.005.05
8	0	4.377.00	13.568.51	0.1	19.813.41	96.775.34	0.1	664.49	3.761.64	24.854.90	114.105.48
9	0.1	4.381.38	13.582.08	0.2	19.892.66	96.968.89	0.1	665.15	3.765.40	24.939.19	114.316.36
10	0.1	4.385.76	13.595.66	0.3	19.992.12	97.259.79	0.1	665.82	3.769.16	25.043.70	114.624.62
11	0.2	4.394.53	13.622.85	0.4	20.112.08	97.648.83	0.1	666.48	3.772.93	25.173.09	115.044.62
12	0.5	4.416.50	13.690.97	0.5	20.252.86	98.137.08	0.2	667.82	3.780.48	25.337.18	115.608.52
13	0.6	4.443.00	13.773.11	0.6	20.435.14	98.725.90	0.2	669.15	3.788.04	25.547.29	116.287.05
14	0.7	4.474.10	13.869.52	0.7	20.639.49	99.416.98	0.2	670.49	3.795.62	25.784.08	117.082.12
15	0.8	4.509.90	13.980.48	0.9	20.845.88	100.311.73	0.2	671.83	3.803.21	26.027.61	118.095.42
16	0.9	4.550.48	14.106.30	1	21.075.19	101.314.85	0.2	673.18	3.810.81	26.298.85	119.231.97
17	1	4.595.99	14.247.37	1	21.328.09	102.328.00	0.2	674.52	3.818.44	26.598.60	120.393.80
18	1.1	4.646.55	14.404.09	1.1	21.605.35	103.453.61	0.2	675.87	3.826.07	26.927.77	121.683.77
19	1.1	4.697.66	14.562.53	1.2	21.907.83	104.695.05	0.2	677.22	3.833.72	27.282.71	123.091.31
20	1.1	4.749.33	14.722.72	1.3	22.236.45	106.056.09	0.3	679.26	3.845.23	27.665.03	124.624.03
21	1.2	4.806.32	14.899.39	1.4	22.592.23	107.540.87	0.3	681.29	3.856.76	28.079.85	126.297.03
22	1.2	4.864.00	15.078.19	1.5	22.953.71	109.153.98	0.3	683.34	3.868.33	28.501.04	128.100.50
23	1.3	4.927.23	15.274.20	1.6	23.343.92	110.900.45	0.3	685.39	3.879.94	28.956.54	130.054.59
24	1.4	4.996.21	15.488.04	1.6	27.405.76	112.674.85	0.3	687.44	3.891.58	33.089.42	132.054.47
25	1.5	5.071.16	15.720.36	1.7	27.405.76	114.590.33	0.5	690.88	3.911.03	33.167.80	134.221.72

Fuente: Elaboración propia.

En el diseño de una PCH lo anterior es determinante para considerar el crecimiento de la demanda de energía evitando que en poco tiempo se vuelva obsoleta o se necesite instalar una planta diesel alterna para suplir la demanda. Existen otros factores que ocasionan de forma indirecta un crecimiento en la demanda a futuro, tales como la disminución del rendimiento del equipo con el correr del tiempo o la tala de bosques en el área de la cuenca. Pero precisamente entidades como la U.A.E.S.P.N.N. controlan este tipo de fenómenos en sitios como Puracé.

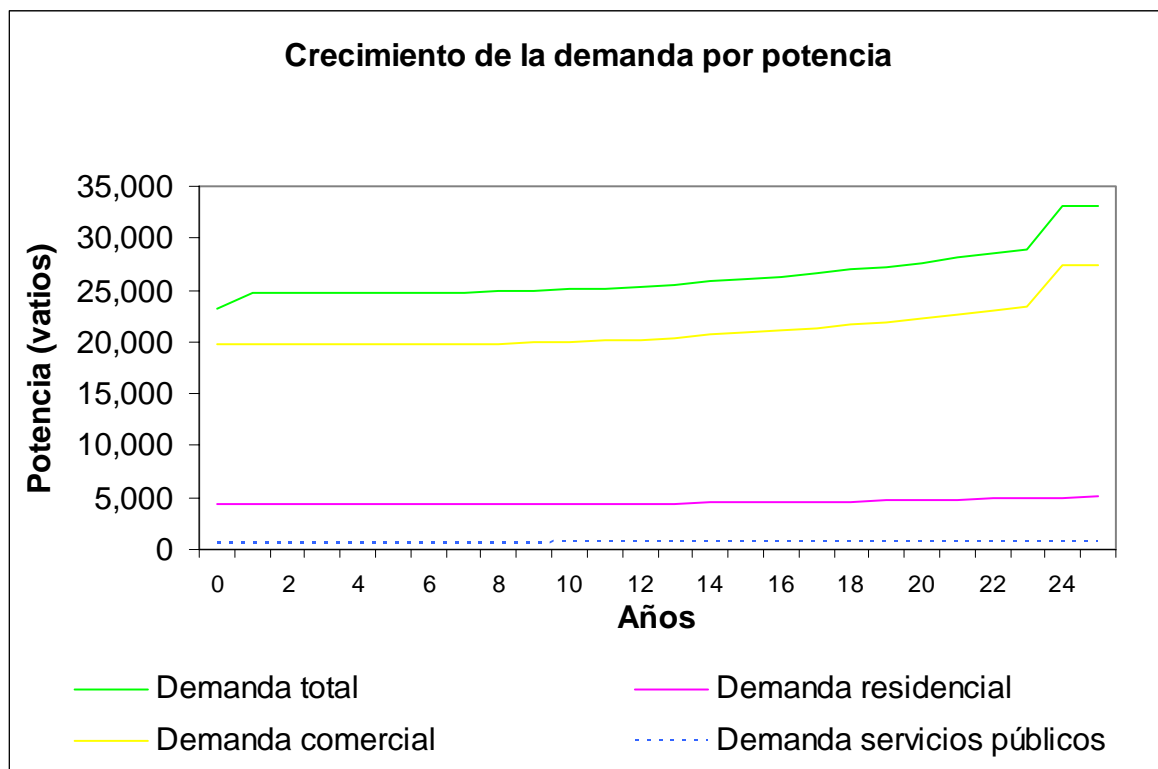
En la tabla 9, la potencia en vatios tomada inicialmente -año 0- corresponde a la demanda pico, que es el valor máximo de la demanda potencial entre los periodos agrupados de las tablas de demanda potencial estudiadas anteriormente. De este año en adelante se toman índices porcentuales que reflejan aspectos que se han descrito, por ejemplo, si la natalidad es nula, entonces el porcentaje de aumento es cero o muy bajo por tal motivo; pero si se reactiva el turismo en la zona (ecoturismo), se haría necesario contratar a más personas, las cuales vivirían en la cabaña de funcionarios ya existente o en una nueva construcción, esto equivale a aumentar la demanda residencial.



Como se puede ver en la gráfica 10, predomina en el aumento de la demanda total la demanda comercial, esto se debe a que la idea de rehabilitar el centro San Juan, es reactivar el turismo, si esto llegase a suceder, la demanda comercial aumentaría al valor que se consigna en la tabla 9.

En veinticinco años, probablemente, la demanda total en potencia será igual a 33,167.80 KW, un 43.03% más que el año inicial. Este valor se debe a las perspectivas de desarrollo y por la condición de PNN, condición que se espera que perdure durante los 25 años de proyección, de otra forma, permitir el asentamiento de comunidades haría el sistema obsoleto. Además si mantiene el estatus de área protegida, se puede garantizar que no habrá tala de bosques en el área de la cuenca, haciendo casi constantes las condiciones físicas del proyecto. El único cambio esperado que sea significativo, es el aumento del turismo, por medio del programa “ecoturismo” de la U.A.E.S.P.N.N. aún más si se piensa rehabilitar el centro San Juan

Tabla 10. Crecimiento de la demanda



Fuente: Elaboración propia.



## 3. CARTOGRAFÍA Y TOPOGRAFÍA

### 3.1 INTRODUCCIÓN

La cartografía es la representación gráfica de las características geográficas de una región determinada, en la cual se vinculan elementos tales como curvas de nivel e hidrografía, asentamientos humanos, etc.

La importancia de estos elementos radica en que a la hora de diseñar una PCH, se necesita tener acceso a información que en muchos casos es obtenida mediante estudios topográficos y de cartografía, por ejemplo el área de la cuenca de drenaje, la altura aprovechable y la topografía del terreno importante para determinar la servidumbre de la línea de subtransmisión y el lugar conveniente para realizar la construcción de las obras civiles.

### 3.2 MEDICIÓN DE LA CAIDA

Existen diversos métodos para realizar esta medición, fundamental en el diseño, entre ellos el método de manguera de nivelación, de manguera y manómetro, del nivel de carpintero y tablas, altímetro, entre otros.

En la visita técnica se realizó una medición aproximada utilizando un GPS (Global Positioning System) para contar con una medida estimativa de la caída, este instrumento funciona utilizando triangulación espacial por medio de satélites para dar la ubicación en coordenadas geográficas y altura sobre el nivel del mar. Tomando esta medida en varios puntos, bocatoma y casa de máquinas al nivel de la tubería de carga; sin embargo por medio de una comunicación electrónica<sup>5</sup> la U.A.E.S.P.N.N. informó sobre la medida de ambos puntos<sup>6</sup>, la diferencia entre ellos resulta ser de 4 m.

Como se ha mencionado anteriormente existen varios métodos para medir la caída, los cuales ofrecen una precisión en un rango del 3%, en este caso para una primera aproximación se pudo haber utilizado el método de Manguera de nivelación ya que se acopla perfectamente a las características del sitio y a la disponibilidad de recursos.

---

<sup>5</sup> GONZALES, Edgar. envío información pendiente. Message to: Oscar BOADA. 18. August 2005. Personal communication. [Ver anexo]

<sup>6</sup> Ver perfil de tubería en los Anexos.



3.2.1 Método de Manguera de Nivelación. El método al cual se hace mención cumple con las características necesarias para ser aplicado en este caso, en primer lugar se debe tener en cuenta que es recomendable para pequeños saltos, es económico, bastante preciso y con baja probabilidad de errores. Se hace necesario realizar mínimo tres muestreos para garantizar la exactitud en las medidas y tener punto de comparación entre todas las pruebas, en caso de que no concuerden los datos entre los muestreos se debe recurrir a otros métodos.

- Este método se realiza entre dos personas, desde la posición donde se ubica la cámara de carga una de las dos personas sostendrá la manguera de un extremo, entre tanto un segundo individuo camina cuesta abajo hasta que sus ojos estén el nivel de los pies de la otra persona. La manguera debe estar llena de agua, la manguera es nivelada con lo que sería lo en este caso es el nivel del agua en la cámara de carga. La persona que está abajo coloca un listón graduado en posición vertical y registra el nivel de agua en su extremo (este sería el punto 1).
- Posteriormente se escoge un segundo punto, a continuación la persona que se encuentra arriba se ubica en el segundo punto, simultáneamente se toman los datos y se van sumando las diferentes alturas con el fin de obtener la altura bruta.
- Se puede reemplazar el listón tomando como referencia una persona midiéndole la altura entre los pies y los ojos.

Para desarrollar esta metodología se requieren los siguientes equipos:

- Una manguera de nylon de 4 a 10 m de diámetro transparente o con extremos transparentes. Llenar con agua antes de ascender.
- Dos listones graduados a centímetro o milímetro según se prefiera.
- Implementos para tomar nota de los datos y resultados.

### **3.3 CARTOGRAFIA Y TOPOGRAFÍA**

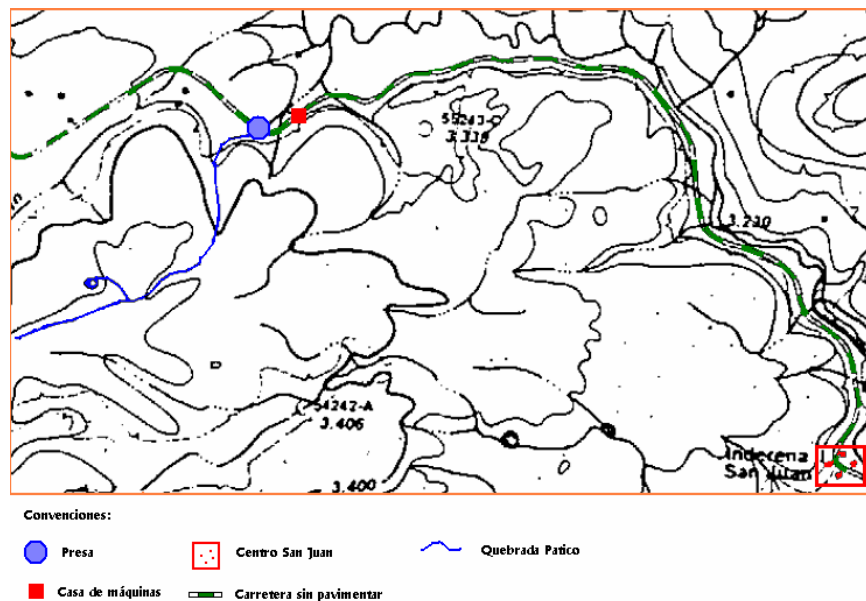
Para realizar los estudios correspondientes y analizar las características del terreno donde se ubica el proyecto, se debe comenzar por recopilar la mayor información posible, esto recurriendo a diferentes fuentes de información como entidades oficiales, particulares y complementarla mediante una visita de campo para efectuar un levantamiento topográfico. Debido a la falta de recursos económicos no se realizó el levantamiento

topográfico, pero se encontró información sobre la zona y se obtuvieron otros datos en la visita de campo.

3.3.1 Fuentes de información utilizadas. Normalmente se dispone de información proporcionada por mapas a escala de la región o fotografías aéreas o satelitales, en este caso se utilizaron planchas donde se encuentra la información básica de la zona. Mediante curvas de nivel se puede establecer lo escarpado del terreno y la altura aproximada de puntos específicos, en estos planos también se encuentran los diferentes afluentes hídricos que hay en el sector y también información general como las vías de acceso y asentamientos humanos. Los mapas con curvas de nivel sirven para realizar un análisis inicial de las características del terreno, mediante el estudio de tales planos se puede estimar la caída, pero para este proyecto no aplica ya que la caída es pequeña. Otro punto de información es la visita técnica y la información recopilada durante la misma.

Los planos cartográficos fueron obtenidos en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) ya que a través de la compañía constructora de la antigua PCH no fue posible obtener información alguna sobre la construcción de la central, esto dificultó el estudio en su parte técnica y se recurrió a información más general. Se cuenta con dos planos: plancha 356 a escala 1:10.0000 y plancha 365-I-B a escala 1:25.000, donde se aprecia claramente la zona de interés<sup>7</sup>.

Figura 13. Ubicación de elementos de la PCH en mapa de un sector de Puracé



Fuente IGAC

<sup>7</sup> Planos adquiridos en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi –IGAC-. Ver estos planos en el anexo.



En la figura 13 se puede ver la ubicación de la presa, de la casa de máquinas y de la carga, en un plano de la zona, a escala 1:25.000. Además se resalta la carretera que es la vía de acceso principal a estos sitios.

3.3.2 Información recopilada. Al consultar diversas fuentes que aportan conocimiento sobre las características de la zona, es importante realizar una evaluación de la información que se encuentra en cada una de ellas.

La región donde se encuentra la planta Perico I se encuentra ubicada en los departamentos de Cauca y del Huila; la planta está próxima a las veredas Pululo y Campamento, se encuentran ríos como el río Bedón, quebrada El Estanquillo, río Guarguero, río San Nicolas, Río Cocuy, Río San Francisco, quebrada Honda, quebrada Los Termales los cuales son afluentes de la laguna San Rafael, una de las mas grandes en el área, cuenta con vías de acceso sin pavimentar que pasan por la población de Puracé y el Municipio de Coconuco, se encuentra además próxima al volcán Puracé y al nevado Pan de Azúcar.

La región presenta un terreno bastante escarpado, en el cual existen grandes elevaciones entre las cuales sobresalen el gran Volcán Puracé con una altura de 4780 m y Sierra Pan de Azúcar con 5000 m de altura. En la región abundan las formaciones volcánicas y el piso térmico tiene características propias del páramo andino, además se encuentran en la cuenca de drenaje los cerros Chiquito y Negro.

3.3.3 Reconocimiento de campo. El reconocimiento de campo permite conocer más a fondo las características del sitio de trabajo, en la visita se logró establecer la altura neta de la caída (6 m) y realizar una inspección visual del terreno, con esto se corroboró la información obtenida de las diferentes fuentes.



## 4. GEOLOGÍA

La realización de estudios de suelos en proyectos de microcentrales y pequeñas hidroeléctricas es básico para la elección de terrenos adecuados donde se puedan realizar las obras, también se debe analizar la fundación y los materiales a utilizar; todos estos estudios tienen una mayor importancia según la magnitud del proyecto. Para el caso específico de la planta Perico I si después de un estudio minucioso realizado con equipos y por expertos se llegase a la conclusión que las instalaciones pueden continuar en uso, no aplica ya que la rehabilitación se haría con las instalaciones existentes y obviamente sobre el sitio en que ya se encuentran ubicadas, sin embargo se hace referencia al tema en este documento debido a que existe la posibilidad que las estructuras y sus cimientos no puedan volver a ser utilizados, por tanto, sería necesario hacer un estudio más detallado para lo referente a materiales de construcción, lo cual tendría incidencia directa en los análisis y resultados.

### 4.1. PROSPECCIONES GEOLOGICAS

Existen infinidad de suelos, sus características varían demasiado lo cual dificulta la ejecución de las obras civiles, por ejemplo hay muchas localidades cuyas características las hacen propensas a deslizamientos o que sean inestables, esto debe ser un parámetro a tener en cuenta para encontrar el mejor lugar para construir.

El tipo de presa se debe construir según las condiciones o fenómenos del sitio, así mismo los materiales adecuados dependiendo de la disponibilidad de los mismos; la presa es la parte mas importante de las obras civiles, ya que es la base de toda la planta y es la estructura que mas soporta esfuerzo, contando además con los fenómenos naturales debido al comportamiento de terrenos que son considerados como *lecho* de ríos.

Para escoger adecuadamente el terreno de construcción se deben tener en cuenta varios puntos.

- Se debe escoger un suelo firme.
- Si es posible construir sobre zonas donde no existan bancos de arena o conglomerados ya que estos son muy permeables y pueden ocasionar fugas excesivas de agua.
- No se debe construir la presa sobre rocas que muestren intenso fracturamiento en sentido perpendicular al río, pueden presentar fugas.



- Conocer los materiales que son adecuados para la obra.

## 4.2. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

En cuanto a economía y disponibilidad, la obra deberá en lo posible ser construida con materiales que se encuentren cerca de la misma.

Debido a que la presa es parte fundamental de la planta se tiene que efectuar un estudio o investigación para su construcción. Es necesario definir exacta, cualitativa y cuantitativamente los materiales que se utilizarán. Cuantitativamente se refiere al cálculo de volúmenes en cuanto a profundidades y arenas se refiere.

Como en todo diseño se tiene un porcentaje de error; sin embargo es menester del diseñador tener certeza de la disponibilidad cuantitativa y cualitativa del material, así como los medios de explotación. Las mismas excavaciones de las obras pueden proporcionar el material necesario para la construcción, pero en ocasiones el material resulta estéril y poco económico. Para conocer la calidad del material que se extrae se hace un examen del material pétreo para conocer cantidad y calidad. Las principales características son:

- La roca debe ser de gran calidad, no debe ser quebradiza ni fácilmente disgregada.
- Cobertura estéril, que esta no se presente muy alterada.
- Frente de trabajo amplio, para dejar la maquinaria y con ella hacer las excavaciones pertinentes.

## 4.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

4.3.1. Clasificación de los materiales utilizados para la construcción. Los materiales para la construcción pueden ser identificados y clasificados según se muestra en la tabla 11.

4.3.2. Construcción. En la tabla 12 se observan las presiones admisibles de los tipos más comunes de terrenos. Si llegase a presentarse el caso, sería necesario dentro de un estudio determinar el tipo de suelo en el sitio de proyecto, dependiendo del resultado del análisis que se realice sobre el estado de las obras civiles.



Tabla 11. Clasificación de los materiales

CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES	IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN GENERAL	GRANULOMETRÍA (mm) (ABNT)	USOS
Arcillas	Partículas finas	Menor de 0.005	Diques y barreras de tierra
Limos	Partículas mas visibles	0.005-0.05	Diques y barreras de tierra
Arenas	Granos redondeados visibles	0.05-4.8	Filtros y agragados
Conglomerados y brechas	Materiales gruesos	4.8-76	Transiciones entr filtros de arena y enfocados
Enrocamientos	Materiales de pedrerías de grandes dimensiones constituidas por bloques	Menos de 100	Obras de protección para material terroso y concreto

Fuente: INSTITUTO DE CIENCIAS NUCLEARES Y ENERGÍAS ALTERNATIVAS. Diseño para pequeñas centrales hidroeléctricas. Santafé de Bogotá, D.,C.: INEA,1997.

Tabla 12. Valores admisibles de presión sobre diferentes tipos de terreno.

CLASE	TIPO DE MATERIAL	VALORES BASICOS (Kg/cm2)
1	Rocosa maciza	50
2	Rocas estratificadas y laminares	35
3	Concreciones	15
4	Pedregosas, compactas y mal gradadas	8
5	Pedregosas, fofas	5
6	Arenas gruesas y mal gradadas, compactas	8
7	Arenas gruesas y mal graduadas, fofas	4
8	Arenas finas a medias	2-6
9	Arcillas	1-4
10	Limos	1-4

Fuente: INSTITUTO DE CIENCIAS NUCLEARES Y ENERGÍAS ALTERNATIVAS. Diseño para pequeñas centrales hidroeléctricas. Santafé de Bogotá, D.,C.: INEA,1997.



#### 4.4 GEOLOGÍA APLICADA AL PROYECTO

Como se ha recalcado en este capítulo el estudio de suelos es importante para asegurar la estabilidad de las obras civiles, la firmeza del terreno sobre el cual se encuentra determinada construcción es primordial. Para asegurar la sismo resistencia es imprescindible que la estructura se encuentre en óptimas condiciones.

Por simple inspección visual realizada sobre las instalaciones y estructuras de la microcentral durante la etapa de reconocimiento<sup>8</sup>, no se puede dar un diagnóstico del estado de las obras, por tanto se recomienda hacer un análisis profundo soportado por el código de sismo resistencia, con la asesoría de un Ingeniero Civil y un estudio de suelos para determinar la capacidad portante del suelo; se hace énfasis en la casa de máquinas, ya que es la estructura donde se encontrarán los equipos mas importantes del sistema, pero se considera conveniente la demolición y construcción de una nueva estructura, por el estado en que se encuentra.

---

<sup>8</sup> Ver Cap. 1, GENERALIDADES ACERCA DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS, sub. Capítulo 1.3, Reconocimiento.



## 5. HIDROLOGÍA

El estudio hidrológico en la zona del proyecto es relevante ya que de acuerdo con la información obtenida se puede hacer un cálculo que permita el máximo aprovechamiento del recurso. Por lo general esta información no está disponible, aunque lo ideal sería contar con información tal como las velocidades de las corrientes, los caudales, la relación nivel-caudal y características relacionadas con los sedimentos.

Si se tiene en cuenta que en la mayoría de situaciones no se encuentra disponible tal información, se hace la siguiente clasificación de acuerdo con lo que se dispone, según el manual del II curso latino americano de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas de la OLADE,

- Caso 1: Si hay registros en estación cercana
- Caso 2: Existencia de registros de caudales en una estación ubicada dentro de la misma cuenca de drenaje.
- Caso3: Existencia de registros de caudales en una cuenca vecina a la estudiada.
- Caso 4: Existencia de registros metereológicos.
- Caso 5: Ausencia de registros metereológicos

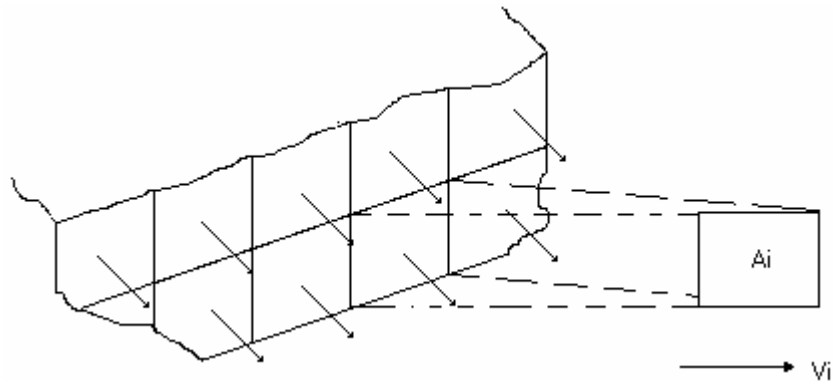
De acuerdo al caso presentado, se pueden aplicar diversos métodos para determinar el caudal tal como, el método de la solución salina, del recipiente, del área y velocidad, de la sección y la regla graduada, entre otros.

En este caso los registros históricos de la cuenca de drenaje son nulos por lo cual se aplicó por parte de los funcionarios del PNN Puracé<sup>9</sup>, una medición del caudal con **correntómetro**, método que consiste en la determinación de la velocidad del agua en varios puntos con la ayuda de un equipo especial consistente en una hélice que se sumerge en el fluido enfrentada con el vector velocidad del caudal, esto hace que la velocidad, en revoluciones por minuto, sea proporcional a la del líquido. Es de resaltar que el método requiere medición en varios puntos ubicados cada uno en el centro de un área determinada, al hacer el producto de los vectores área y velocidad, se suman todos los anteriores y se obtiene finalmente el caudal total, igual a **0,848 m<sup>3</sup>/s**.

---

<sup>9</sup> GONZALES, Edgar. ENVIO DE INFORMACION AFORO PURACE. Message to: Oscar BOADA. 17. August 2005. Personal communication. [Ver anexo]

Figura 14. Vector velocidad por cada área



Fuente: Elaboración propia.

$$Q = \sum A_i \times V_i$$

Donde:  $A_i$  es el área de cada sección.

$V_i$  es la velocidad en el área  $A_i$ .

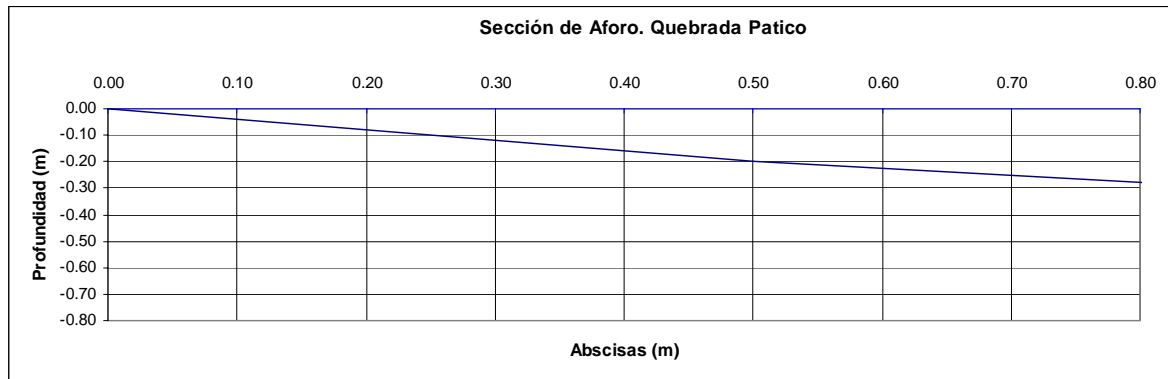
Lo anterior se ilustra en la figura 15 donde se muestra la relación entre la profundidad y diferentes puntos donde se tomaron las medidas.

Tabla 13. Datos para determinar caudal de Patico.

Punto	Distancia	Profund.	Revoluc.	Prof. Molinete	Prof. Media	Ancho	Area	Perimetro	Velocidad	Velocidad	Caudal
	(m)	(m)	n	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	Puntual (m/s)	Media (m/s)	(m <sup>3</sup> /s)
1	0.500	0.200	305.000	0.080	0.200	0.500	0.050	1.039	0.606	0.404	0.020
2	1.000	0.330	218.000	0.132	0.265	0.500	0.133	1.017	0.446	0.526	0.070
3	1.500	0.290	292.000	0.116	0.310	0.500	0.155	1.002	0.585	0.516	0.080
4	2.000	0.430	340.000	0.172	0.360	0.500	0.180	1.019	0.669	0.627	0.113
5	2.500	0.360	245.000	0.144	0.395	0.500	0.198	1.005	0.497	0.583	0.115
6	3.000	0.570	353.000	0.228	0.465	0.500	0.233	1.042	0.693	0.595	0.138
7	3.500	0.670	395.000	0.268	0.620	0.500	0.310	1.010	0.768	0.730	0.226
8	4.000	0.000	0.000	0.000		0.500	0.168	1.336		0.512	0.086
										Q (m <sup>3</sup> /s)	0.848
										Q (lps)	848.4

Fuente UAESPNN

**Figura 15. Relación entre profundidad y largo de la sección de muestreo.**



Fuente UAESPNN

En la tabla 13 se puede ver el resumen de los datos tomados por los funcionarios del parque Allí se pueden relacionar los datos tomados con la gráfica 14, y en la figura 15 la gráfica de dicha tabla, donde se puede ver la profundidad y las abscisas que determinan la sección del aforo.

Como en el río se presenta una pendiente, es necesario tener en cuenta los valores de abscisas y ordenadas en el flujo para el cálculo del caudal, esta relación se puede ver en la figura 15.

También es necesario conocer la superficie de la cuenca de drenaje, estimar sus condiciones físicas más generales, el tipo y origen de las precipitaciones que en ella ocurren, y sus características acerca de la cobertura vegetal.

## 5.1 SUPERFICIE DE LA CUENCA DE DRENAJE

Lo primero que se hace, es ubicar la quebrada Patíco que alimenta la PCH en la plancha de escala 1:25.000, de aquí se mide por medio del método de la cuadrícula el área de la cuenca de drenaje, para Perico 1 el área hallada, aproximadamente, es de 1000000 m<sup>2</sup> o sea 1 km<sup>2</sup>.

## 5.2 CONDICIONES FÍSICAS GENERALES

Ya es sabido que Colombia es un país con recursos hidrográficos relevantes que permiten la realización de proyectos de generación hidráulica; se demuestra observando el tipo de fuentes utilizadas en la generación del SIN para abastecer la demanda. Específicamente el PNN Puracé es una estrella hidrográfica, con recursos hídricos importantes y abundantes, como ya se vió en el capítulo primero. El área de estudio del proyecto no



sale de esta categoría, la fuente hídrica del proyecto es una quebrada con buen caudal que es también afluente del río Bedón que es uno de los más grandes de la zona de estudio. En la figura 16 se tiene la cascada que lleva el mismo nombre de este río.

**Figura 16. Cascada Bedón, que da idea de la riqueza hídrica del parque.**



Fuente U.A.E.S.P.N.N.



## 6. EQUIPO HIDROGENERADOR

En la generación de electricidad encontramos varias etapas para la transformación de energía, el paso más importante es convertir energía cinética en energía eléctrica; para lograr hacerlo se utiliza el conjunto turbina-generador, que son los componentes más importantes de cualquier sistema de potencia. En este capítulo se hará mención a ambos.

### 6.1 LA TURBINA

La función de la turbina es transformar la energía potencial y cinética del agua en energía mecánica. Las turbinas se clasifican de varias formas y existen diversos tipos. En el mercado se puede encontrar variedad de modelos y fabricantes lo cual brinda una gran gama de posibilidades para escoger el equipo, el hecho de utilizar uno u otro modelo dependerá de las necesidades y características del proyecto, tales como el salto, caudal y la potencia exigida por la carga.

6.1.1 Clasificación. En la clasificación de las turbinas hidráulicas se tienen en cuenta varios aspectos y se hace de la siguiente forma:

Por el número de revoluciones específicas.

- Turbinas lentas.
- Turbinas normales.
- Turbinas rápidas.
- Turbinas extrarrápidas.

Según la posición del eje.

- Turbinas horizontales.
- Turbinas verticales.

Por el modo de admisión del agua.



- Turbinas de admisión parcial (Pelton) .
- Turbinas de admisión total (Francis y Kaplan).

Por la forma de actuar los chorros sobre los álabes.

- Turbinas de acción.
- Turbinas de reacción.

Por la dirección del agua con respecto al eje de rotación.

- Turbinas axiales.
- Turbinas radiales.
- Turbinas axiales-radiales.
- Turbinas tangenciales.

Según las características de las cámaras.

- Turbinas de cámara cerrada.
- Turbinas de cámara abierta.

6.1.2. Turbinas de acción. Se entiende por turbina de acción aquella en la que el agua fluye en el mismo sentido en el cual gira el rodete; otra característica es que la velocidad de entrada del fluido es prácticamente la misma que la de salida lo cual indica bajas pérdidas de carga, esto quiere decir que la energía cinética que adquiere en la caída es cedida completamente al rodete.

6.1.3. Turbinas de reacción. A este grupo de turbinas lo caracteriza la existencia de palas o álabes directrices que redireccionan el flujo de agua, en el momento en que los álabes móviles reciben la energía cinética no se hace de forma frontal, el agua se desliza sobre las palas, por lo cual la dirección del flujo no coincide con el sentido de giro del rodete.



**Tabla 14. Clasificación de turbinas de acción por altura, caudal y potencia.**

TURBINA	Caudal (Q) m <sup>3</sup> /s	Alturas en metros	Potencia en kW
Pelton	0.05 a 50	30 - 1800	2 - 300000
Turgo	0.025 a 10	15 -300	5 - 80 000
Michel Banki	0.025 a 5	1 - 100	1 - 750

Fuente: Elaboración propia con datos de fuentes diversas.

En la tabla 14 y 15 se resumen las características físicas de las que depende la selección del tipo de turbina, estas características son: caudal, altura y potencia. La primera es para turbinas de acción y la segunda es para turbinas de reacción.

**Tabla 15. Clasificación de turbinas de reacción por altura, caudal y potencia.**

TURBINA DE REACCION	Caudal (Q)m <sup>3</sup> /s	Altura en metros	Potencia en kW
Bomba rotodinámica	0.025 a 0.25	10 - 250	5 - 500
Francis	1 a 500	10 -270	2 - 750 000
Deriaz	500	30 -130	100 000
Kaplan y de Hélice	Hasta 1000	1 - 80	2 - 200 000
Axiales (tubular, bulbo, generador periférico)	Hasta 600	5 - 30	100 000

Fuente: Elaboración propia con datos de fuentes diversas.

## 6.2. SELECCIÓN DE LA TURBINA Y CARACTERÍSTICAS DEL GENERADOR

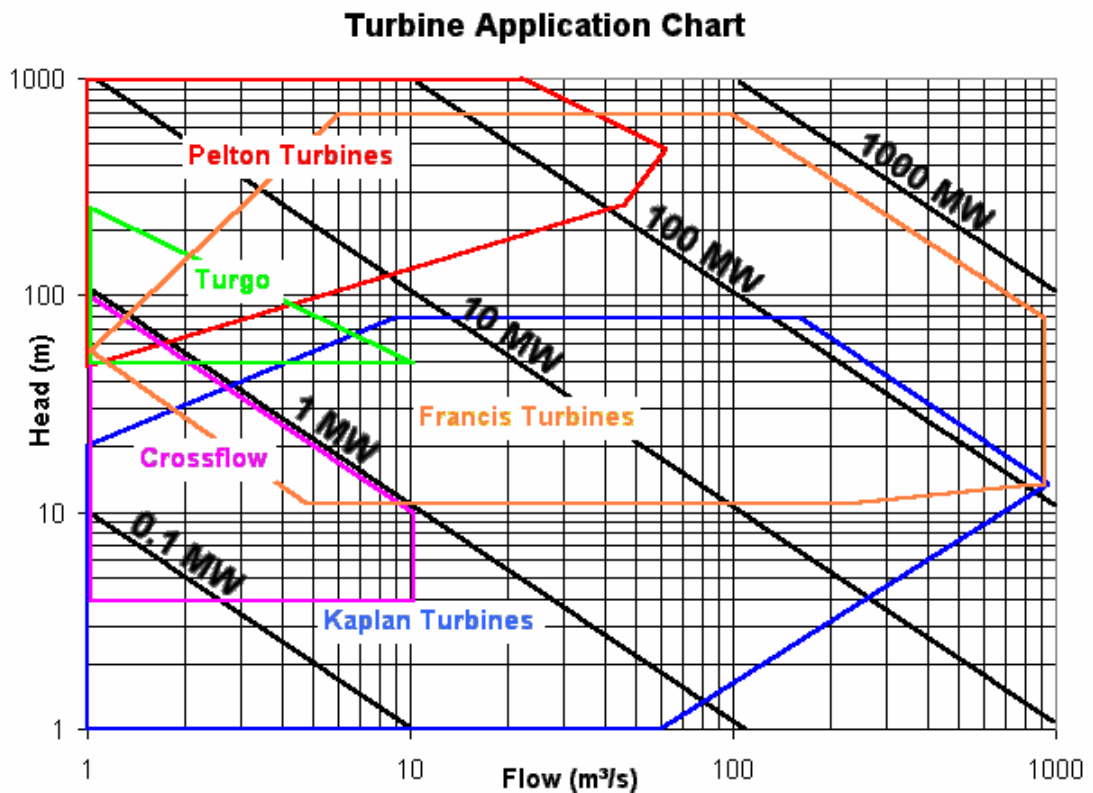
La selección de la turbina es un proceso que se debe realizar cuidadosamente; es un procedimiento en el cual se van examinando una por una las condiciones técnicas y económicas, a medida que el análisis es ejecutado se van descartando opciones hasta encontrar el tipo de turbina más conveniente.

6.2.1. Altura del salto (H). Según condiciones del sitio del proyecto, se tiene una altura de 4 m, debido a que no se cuenta con este equipo se debe adquirir uno nuevo que se ajuste a las condiciones de la caída.

6.2.2. Caudal (Q). El caudal junto a la altura del salto son los factores esenciales en la selección de la turbina, el caudal en la quebrada Patico, como se explicó anteriormente, es de 0.848 m<sup>3</sup>/s, este es el caudal de diseño.

Tomando en cuenta las variables (Q,H) expertos y fabricantes han diseñado tablas de altura contra caudal, en la cuales también se tiene en cuenta la potencia en KW; se establecen curvas de trabajo para los diferentes tipos de turbina, tomando los valores de las dos variables se obtiene un punto el cual se ubica dentro de alguna o varias de estas curvas, estas son las opciones que se analizan para escoger el equipo. En la gráfica 17 se presenta una de las ilustraciones de límites de utilización de las turbinas.

Figura 17. Relación caudal-salto y potencia para distintas turbinas.



Fuente: Wikipedia: Water turbine [online]. A Wikipedia Project, free-content encyclopedia. Last modified 12:01, 29 November 2005 [citado Jul. 2005]. Disponible en internet: <URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/Water\\_turbine](http://en.wikipedia.org/wiki/Water_turbine).>

De acuerdo a la gráfica anterior, se selecciona la turbina y se discriminan los tipos de turbina que no se encuentran dentro del rango esperado como la Pelton, a pesar de satisfacer las condiciones de caudal de la quebrada Patico, no se ajusta a la caída, puesto que requiere saltos mayores a 30 m. La Kaplan es una turbina que trabaja con saltos desde 1 metro y requiere un caudal mayor que 2, sin embargo, requeriría una mayor



inversión por las excavaciones que se tendrían que hacer, por este motivo queda descartada (además se recomienda su uso para caudales mayores de  $15 \text{ m}^3/\text{s}$ ). La turbina Francis es un tipo de turbina que se utiliza para grandes proyectos hidroeléctricos, su rango de alturas es amplio (entre 10-270 metros) y caudales entre  $1\text{-}200 \text{ m}^3/\text{s}$  lo cual ofrece muchas posibilidades pero estas no trabajan en condiciones de altura y caudal pequeños como en este caso, por otra parte las turbinas Francis son de rendimiento óptimo solamente entre el 60% y 100% del caudal máximo, por lo cual se requerirían varias unidades trabajando al 60% de la carga total y esto no es viable técnica ni económicamente para el proyecto. La turbina Turgo es eficiente para caudales bajos pero requiere alturas superiores a 15 m lo cual no aplica para el salto de 4 m de la Planta Perico 1.

La elección final es el resultado de un análisis profundo, en el cual se tienen en cuenta las condiciones del sitio del proyecto, con una altura de 4 m y un caudal de diseño de  $0.848 \text{ m}^3/\text{s}$  la turbina Michell-Banki se ajusta perfectamente a las necesidades de la planta, además la confiabilidad del equipo, el costo de adquisición, los costos de mantenimiento y su eficiencia ofrecen una confiabilidad, viabilidad y demanda de carga suficientes para ser implementada; considerando las anteriores razones se ha decidido utilizar la turbina Michell-Banki.

6.2.3. Potencia de la turbina hidráulica. Por medio de la experiencia y pruebas hechas por los diseñadores se ha llegado al planteamiento de expresiones matemáticas que permiten hallar la potencia de una turbina hidráulica basándose en sus características.

Si :

$P_{\text{kw}}$  = Potencia en KW

P = Potencia en CV

$P_{\text{hp}}$  = Potencia en caballos de fuerza

Q = Caudal en  $\text{m}^3/\text{s}$

H = Altura del salto en m

$\Delta T$  = Diferencia entre el rendimiento de la turbina y el rendimiento del alternador

1000 = masa en kilogramos en  $1 \text{ m}^3$

1CV =75 kgm/s (unidades de potencia)

1KW = 1.36 CV

1hp (caballo de fuerza) = 746 W



Entonces

$$P_{KW} = \frac{1000QH \eta_T}{1.36 \times 75}$$

Aunque los valores de rendimiento para la turbina y el alternador dependen de las características de las máquinas (entre 0.8-0.95 y 0.92-0.98 respectivamente), el valor de rendimiento total está en un rango de 0.8 y 0.92, se estimó el menor valor para contar con una holgura en el diseño.

$$P_{KW} = \frac{1000 \times 0.848 \times 4}{1.36 \times 75} \times 0.81 = 26.9 \text{ KW} \cong 27 \text{ KW}$$

Ahora la potencia en CV y en Hp (utilizando los factores de conversión correspondientes) son:

$$P = 36.584 \text{ CV}$$

$$P_{hp} = 36.058 \text{ hp}$$

6.2.4. Velocidad específica de la turbina. La bibliografía especializada define este concepto como el número de revoluciones por minuto que haría una turbina semejante a la que se desea proyectar (de igual forma pero de dimensiones reducidas), que instalada en una cabeza de 1m de altura generaría una potencia de 1 CV, esta se asume como la velocidad de rotación de la turbina. La fórmula es la siguiente.

$$n_s = \frac{N \times \sqrt{P}}{H^{5/4}}$$

Entonces

$n_s$  = velocidad específica en rpm.

N = Velocidad de sincronismo en rpm.

P= Potencia de la turbina en CV

H= Altura del salto en metros

Reemplazando los valores:



$$n_s = \frac{1800 \times \sqrt{36.58}}{4^{5/4}} = 1924.61 \text{rpm} = 32.077 \text{rps}$$

La velocidad específica es de 1924.61 rpm o 32.077 rps, en la tabla 16, se relacionaron diferentes rangos de velocidades específicas para distintos tipos de turbinas, comparando el resultado obtenido con los intervalos mostrados en la tabla, se comprueba que la velocidad específica hallada se encuentra dentro del rango de la turbina Michel Banki.

**Tabla 16. Velocidades específicas para distintas turbinas**

TIPO DE TURBINA	INTERVALO DE VELOCIDAD ESPECIFICA - ns (rps)
Francis	70 - 500
Hélice	600 - 900
Kaplan	350 - 1000
Pelton 1 chorro	10 - 35
Pelton 2 chorro	10 - 45
Turgo	20 - 80
Flujo transversal (Michell Banki)	20 - 90

Fuente: ONSAGER: Apuntes. [online]. Apache/1.3.26 Server [citado Agosto 2005]. Disponible en internet: <URL:<http://onsager.unex.es/Apuntes/Renovables/Er5.pdf>> Apache/1.3.26 Server at Onsager.unex.es Port 80

6.2.5. Velocidad sincrónica del generador. Es llamada también velocidad nominal o velocidad de sincronismo del grupo, es función de la frecuencia del sistema (60 HZ) y del número de pares de polos del **generador**, además del salto, potencia etc, debido a que esta velocidad depende directamente del número de pares de polos y es el diseñador quien determina cuantos tendrá, tal valor es proporcionado por el fabricante<sup>10</sup>, en este caso es de 1800 rpm. Se tiene la siguiente expresión.

$$f = \frac{P_p}{2} \frac{N}{60}$$

donde

f = Frecuencia eléctrica en Hertz

<sup>10</sup> Leroy Somer, según cotización realizada. Ver anexo cotizaciones.



$P_p$  = Número de polos del alternador

$N$  = Velocidad del rotor en revoluciones por minuto (rpm)

Donde el número de pares de polos es de 4.

Para acoplar el eje de la turbina con el eje del generador, se hace necesario utilizar un elemento mecánico, este acoplamiento lo provee el fabricante del grupo turbina – generador.

6.2.6. Velocidad de rotación. La velocidad de rotación es un parámetro que depende directamente de la velocidad específica de la máquina, de la altura del salto y su potencia, es importante que la velocidad específica de la turbina sea acorde y se ajuste a la velocidad sincrónica del generador.

6.2.7. Velocidad de embalamiento. Cuando se está trabajando a plena carga y a potencia hidráulica plena el sistema se encuentra estable. Cuando se tienen en estas condiciones de trabajo y se presenta un repentino deslastre de carga, ya sea por la acción de algún interruptor o por la pérdida de excitación del alternador se tiene como resultado un fenómeno llamado empalamiento.

Esta velocidad para cada máquina depende del diseño, características como el tipo de turbina, el ángulo de apertura del distribuidor, la altura del salto etc. Para la turbina escogida (Michell Banki) esta velocidad se encuentra entre 1.8 y 2 veces la velocidad nominal de la turbina. Para este caso tomamos la velocidad específica calculada que es de 1924.61 rpm que multiplicada por 1.8 nos da una velocidad de embalamiento de 3464.3 rpm.

6.2.8. Parámetros para elección de la turbina. Para escoger la turbina hidráulica más apropiada, se tienen varios criterios de elección que a su vez analizan las siguientes características.

Facilidad constructiva. Posibilidad de construcción en lugar cercano al proyecto.

Robustez. Resistente a partículas u objetos que lleve el fluido, evita costos de filtros y elementos de protección.

Rendimiento estable. Mínima sensibilidad a los cambios de caudal.



Rango de operación. Flexibilidad ante las condiciones del sitio, que se ajuste a caudales y alturas propias de la zona.

Velocidad de embalamiento. Importante tener efectos mínimos ante deslastre de carga, esto garantiza baja probabilidad de avería de la máquina.

En base a los criterios mencionados anteriormente, se realizó la elección de la turbina, tras haber descartado posibilidades se tuvieron en cuenta aquellas que se ajustan a los valores de potencia, caudal y salto correspondientes al proyecto con esto se justifica la elección de la turbina MICHELL-BANKI, la cual es sugerida para implementar en la planta Perico I.

6.2.9. Turbina Michell-Banki. Turbina de impulsión radial y parcial, diseñada por el Ingeniero A.G.M. Michell, se adapta a caudales variables, es aplicable para pequeños y medianos caudales, equipo robusto y de fabricación económica.

Datos técnicos y característicos generales:

Caudales entre 20 a 9000 l/s y saltos entre 1 a 200 m. Según Ossberger Turbinenfabrik.

En la figura 18 se puede ver el despiece de una turbina de dos compartimientos de estos mismos fabricantes.

Caudales entre 10 a 5000 l/s y saltos entre 1 a 200 m<sup>11</sup>.

Potencias hasta 1 MW (ajustándose a los valores ya mencionados).

Régimen de r.p.m. Entre 50 y 2000 r.p.m.

Turbina de régimen lento.

Dimensiones reducidas en rodete.

Saltos inferiores a 30 m para microcentrales.

Entrada del agua horizontal o vertical.

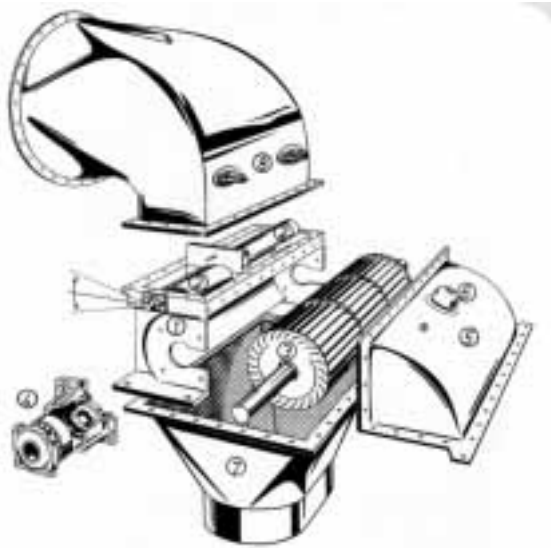
Rechazo de elementos extraños debido a la fuerza centrífuga.

Rendimiento medio. 80% unidades de potencia menores, entre 84 a 88 % para unidades mayores<sup>12</sup>.

---

<sup>11</sup> Energía Hidráulica y Eólica Práctica. Juan Ignacio y Sebastián Urquía Luis.

**Figura 18. Construcción de una turbina Ossberger de dos compartimientos.**



Fuente: Ossberger. Técnica Energética > Turbinas Ossberger [online]. [citado Agosto. 2005]. Disponible en internet: <URL:www.ossberger.de>

6.2.10 Ventajas de la turbina Michell-Banki. En este punto se presentan las ventajas de este tipo de turbina, según los criterios establecidos para escogencia de turbinas.

- **Facilidad constructiva:** Las características físicas del rodete y álabes de la turbina presentan una tipología sencilla, en la cual los materiales y procesos constructivos son de fácil acceso para su adquisición y realización respectivamente.
- **Rendimiento estable:** Esta turbina presenta un rendimiento estable por la forma de sus álabes que reducen notablemente los esfuerzos axiales sobre el eje del rodete aún en condiciones adversas; El rodete está compuesto por tres cuerpos. Esto se convierte en una ventaja ya que pueden existir también varios distribuidores, esto permite que exista compensación entre los cuerpos del rodete brindando la posibilidad de mantener la curva de rendimiento plana, inclusive cuando se presentan variaciones del caudal.
- **Rango de operación:** Rango de caudales y alturas amplio.

---

<sup>12</sup> Según fabricante Ossberger Turbinenfabrik.



- Robustez: Construido con material resistente, no es afectada por la entrada de partículas, lodo o hierba ya que la fuerza centrífuga expulsa todo cuerpo extraño; esto ofrece ventajas en cuanto a mantenimiento y condiciones de la región objeto de estudio, ya que por quedar en una zona apartada los costos de transporte son altos, además por encontrarse en una región con formaciones volcánicas, el agua tiene elementos químicos y partículas sólidas que pueden afectar seriamente el funcionamiento de la turbina y los componentes físicos de la misma.
- Velocidad de embalamiento: Es 1.8 veces la nominal, valor que es suficiente para las características de carga para el generador, ya que es una carga pequeña.

6.2.11. Cotización de grupo turbina-generador y especificaciones técnicas. Con la altura, el caudal, los cálculos realizados, las características de la planta y las condiciones del sitio, se realizó una petición de cotización dirigida a ALTERNATIVE ENERGY SYSTEMS LTDA en Cochabamba Bolivia En respuesta se recibió una oferta bien fundamentada en la cual se presentan todas las características del grupo hidro-generador y su respectivo costo<sup>13</sup>. Al observar las especificaciones y condiciones de funcionamiento del equipo se observa que tanto los cálculos efectuados como las características y tipo de turbina concuerdan con los datos reales mostrados en la oferta lo cuál avala el diseño previamente realizado. A continuación se muestran los datos característicos del equipo.

#### TURBINA HIDRÁULICA

Fabricante	<b>Talleres AES (Bolivia)</b>	
Altura de diseño	4	metros
Caudal de diseño	0.848	m <sup>3</sup> /seg.
Tipo de turbina	hélice de eje vertical	
Eficiencia hidráulica a plena carga	81.0	%
Potencia mecánica en eje con 848 lit/seg	30	kw.
Velocidad de rotación	1200	r.p.m.
Distribuidor de ingreso		
Construcción	soldada	
Material	acero inoxidable AISA 316L	
Dotación	volante regulador manual	
Pernos de nivelación.		
Brazos de izado.		
Conjunto de alabes guías		
Numero de alabes guías ajustables	10	
Construcción	soldada	
Material	acero inoxidable AISA 316L	
Material de palancas y brazos	acero inoxidable AISA 316L	
Bujes guías	auto lubricados	

<sup>13</sup> Ver cotización referenciada en el anexo.



Material de las cubiertas de la turbina	chapa de acero inoxidable laminado
Rodete:	
Diámetro	382 mm
Construcción	soldada
Construcción de alabes	presados sobre matriz en chapa
Material	acero inoxidable AISA 316L
Sujeción del rodete al eje	chaveta DIN 6885
Empaquetaduras:	
Material	ROTAFLON
Construcción	prensaestopas
Tubo de succión:	
Material	chapa de acero inoxidable AISA 316L
Construcción	soldada
Rodamientos:	
Tipo / cantidad	axial una pieza, radial dos piezas
Dimensionados para	100,000 horas de servicio
Enfriamiento	aceite
Eje:	
Diámetro	50 / 75 mm
Material	Acero inoxidable AISA 316L
Longitud aproximada	1500 mm
Peso total aproximado del conjunto de la turbina	480 Kg.
Cantidad ofertada	1 pieza

Como se puede observar todas las características y valores nominales de la turbina hidráulica son congruentes con los presentados en los cálculos y con el tipo de turbina elegido, los datos no son exactamente iguales ya que los valores de diseño se deben ajustar a los normalizados para poder ser adquiridos en el mercado, por facilidad en el mantenimiento y cumplimiento de normas técnicas internacionales.

#### SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA TURBINA-GENERADOR

El movimiento del eje de la será transmitido al alternador mediante un juego de poleas y una correa plana de transmisión, de alta potencia.



Fabricante	Talleres AES (Bolivia)
Diámetro de las poleas	a determinar
Relación multiplicadora	1:1.5
Peso estimado total	120 Kg.
Cantidad ofertada	1 juego

#### ALTERNADOR.

Fabricante	Leroy Somer (Francia)
Potencia aparente	39.3 kVA.
Potencia nominal activa	31.5 kW.
Factor de potencia	0.8
Potencia neta en bornes de generador con Turbina a plena carga	27.21 kW
Velocidad de giro <sup>14</sup>	1800 r.p.m.
Tensión de generación	254/440 V
Frecuencia eléctrica	60 Hz
Aislamiento térmico	H
Elevación de temperatura clase	F
Protección	IP 21
Peso aproximado	270 Kg.
Cantidad ofertada:	1 pieza

En la oferta recibida por parte del fabricante se incluye el panel de control para el grupo electro-mecánico.

#### GOBERNADOR Y PANEL DE CONTROL.

Fabricante	Dulas Ltd. Inglaterra
Potencia nominal	30 kW
Tensión	254/440 V
Frecuencia	60 Hz
Tipo	electrónico
Base	tiristores
Enfriamiento	ventilación forzada
Estabilidad de frecuencia	< 1% (< 0.5 Hz)
Estabilidad de tensión	+ / - 5 V
Tiempo medio de reacción	0.1 seg.
Dimensiones (aprox.). 850mm	320mm x 550mm x altura
Peso aproximado	55 Kg.
Cantidad ofertada	1 equipo

<sup>14</sup> Velocidad sincrónica, N.



Acerca del control, se recibió por medio de correo-e<sup>15</sup>, la siguiente aclaración sobre el control del generador:

*“El flujo a la turbina es regulable mediante el conjunto de álabes guías en el distribuidor de ingreso. El nivel mínimo de funcionamiento está aproximadamente a un 40% del caudal máximo.*

*Una vez ajustado el caudal manualmente al nivel deseado, el grupo funciona a nivel de potencia constante. NO necesita regulación. Con un grupo turbina – generador de 40 kW, es posible diseñar los niveles de servicio constante a 20, 30 y 40 kW’.*

La elección del tipo de turbina y los cálculos para determinar las características y valores nominales del equipo electromecánico es la etapa mas crítica en el proceso de diseño de una microcentral hidroeléctrica, estos equipos son la base de todo el sistema y el hecho de enviar información errónea al fabricante puede significar el fracaso del proyecto, generando grandes pérdidas económicas que se verían reflejadas a corto o a largo plazo, perjudicando a los gestores del proyecto y a los beneficiarios del mismo.

6.2.12. Rendimiento de la turbina. El rendimiento de la turbina es la relación entre la potencia mecánica y la potencia hidráulica dependiente del caudal y salto correspondientes, esta relación nos permite conocer las pérdidas y la energía mecánica aprovechada por el generador. En la gráfica 19 se observa el rendimiento de la turbina Banki de acuerdo al número cuerpos.

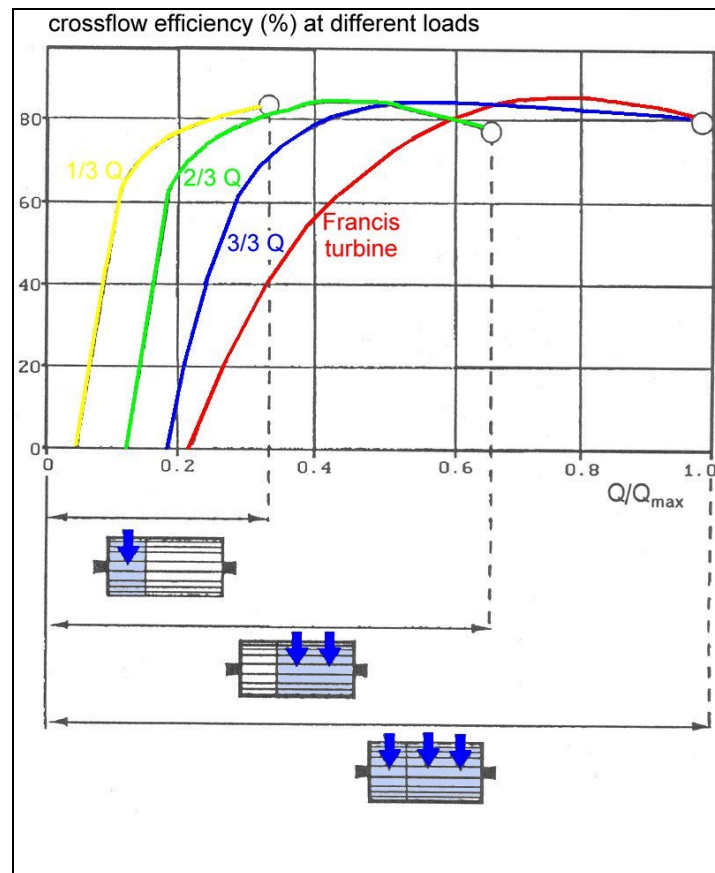
Se deduce que el aumento o disminución del caudal inciden en el rendimiento de la turbina el cual desciende cuando se presentan cambios en esta. Las turbinas se diseñan para que trabajen en el valor nominal para el caudal.

El cálculo del rendimiento se realiza con la potencia mecánica calculada dependiente del salto y caudal de diseño 26.9 kw y la potencia neta en los bornes del generador con la turbina operando a plena carga 27.21 kw (dato suministrado por el fabricante) el rendimiento de la turbina es de 98%, con lo cual se concluye que la turbina presentada en la oferta del fabricante opera en forma óptima y es una opción que se puede contemplar para aplicar al proyecto.

---

<sup>15</sup> ALANDIA, Miguel. URGENTE!!!. Message to: Oscar BOADA. 24 October 2005. Personal communication. [Ver anexo B]

Figura 19. Línea característica del rendimiento de una turbina OSSBERGER obtenida a partir de las 3 curvas de rendimiento de una división de 1:2, en comparación con una turbina francis.



Fuente: Ossberger. Técnica Energética > Turbinas Ossberger [online]. [citado Agosto. 2005]. Disponible en internet: <URL:www.ossberger.de>



## 7. EVALUACIÓN DE COSTOS Y PRESUPUESTO

Para evaluar el costo directo de la rehabilitación, se utilizarán datos ajustados de la revista Construdata<sup>16</sup> y de cotizaciones realizadas a distintos fabricantes y distribuidores. Se calcularán y analizarán los costos de acuerdo a dos escenarios, los cuales dependen de los resultados que se obtengan en el estudio que se deber realizar sobre las estructuras civiles para saber con certeza si éstas son capaces de perdurar durante el tiempo de vida del proyecto (25 años).

### 7.1 COSTOS DE INVERSIÓN

Los costos de inversión se componen de todos los precios de montaje, estudios, diseño, maquinaria, equipos, transporte y mano de obra que se requieren para la puesta en servicio de la planta. Como es sabido la microcentral cuenta con instalaciones que tal vez puedan recuperarse, si es así, la inversión se reduciría, y habría que enfocar las inversiones en trabajos de restauración, gastos concernientes a diseño, compra de materiales y construcción, incluyendo mano de obra, maquinaria y transporte de materiales; de lo contrario se requerirá demoler y desmantelar las construcciones que no sirvan y volver a realizar estudios y diseños necesarios para su posterior construcción lo cual aumentaría el costo de la rehabilitación y el impacto ambiental sería mayor por los escombros que se desecharían. Pero para mantener un criterio acertado, previamente se deben realizar los estudios que comprueben el estado real de las construcciones, por esta razón se analizarán los costos desde dos escenarios.

La mayoría de los equipos electromecánicos de la PCH son irrecuperables, incluso hay equipos que nunca fueron encontrados por tanto se hará la evaluación tomando todo equipo electromecánico como nuevo.

En la tabla 17 se hace referencia a los activos que se manejan en un proyecto de este tipo, allí se analiza las necesidades de cada uno de ellos con el fin de estimar los costos de inversión por activos fijos e intangibles.

El análisis de costos se hace tomando cada tramo de la planta, tras haber estimado los requerimientos de cada equipo e instalación; a continuación se presenta el presupuesto para cada uno.

---

<sup>16</sup> Se basó en los valores de la ciudad de Cali, más un 10% de incremento del valor por concepto del transporte al sitio del proyecto.



Tabla 17. Activos involucrados en el proyecto

ACTIVOS FIJOS			
TIPO	ACTIVO	ESTADO	EVALUACION
OBRAS CIVILES	Bocatoma	El caudal fluye sin restricciones ni taponamientos.	Se debe limpiar, podar alrededor, cambiar rejilla
	Presas		
	Cimientos	El hormigón se encuentra en buen estado según inspección visual, la estructura se observa firme	Se recomiendan estudios de suelos y de la estructura
	Compuerta	Se encuentra aparentemente alineada. Mecanismo oxidado.	Se debe realizar mantenimiento general a la parte mecánica o reemplazarla.
	Válvula	Está oxidada por completo, deterioro avanzado	Se debe cambiar o realizar mantenimiento general, lubricación, alineación y aplicar pintura anticorrosiva
	Casa de máquinas	Las instalaciones se encuentran en mal estado (abandono), presenta agrietamientos, inundación que puede haber debilitado los cimientos.	Se recomienda demoler y construir otra instalación.
	Canal de descarga	Buen estado	Mantenimiento general
MAQUINARIA Y EQUIPO ELECTROMECAÁNICO	Tubería de presión	Parte exterior en buen estado, no se conoce el estado de la pared interior ni del grosor.	En caso de encontrarse en buen estado su interior no requiere cambios, de lo contrario debe reemplazar.
	Turbina	No existe	Comprar el equipo
	Generador	No existe	Comprar el equipo con sus respectivas protecciones.
	Subestación elevadora	Hay un transformador fuera de servicio, con capacidad de 30kVA, y nivel de tensión 440V / 11400V.	Se requiere un transformador nuevo con sus respectivas protecciones.



	Línea de subtransmisión	Existe una línea aérea fuera de servicio, a un nivel de 11400V	Estimar costos de una tendido nuevo sobre postes existentes.
	Subestación de distribución	Hay un transformador fuera de servicio, con capacidad de 30kVA, y nivel de tensión 440V /11400V.	Se requiere un transformador nuevo con sus respectivas protecciones.
	Accesorios	Deterioro absoluto	Adquisición de equipos y materiales necesarios.
MONTAJE E INSTALACION	Instalación	No aplica	Instalación de toda la maquinaria y equipo electromecánico
	Mantenimiento y rehabilitación	No aplica	Mantenimiento y rehabilitación de todas las instalaciones y equipos que lo requieran, si se ha comprobado que pueden ser útiles a largo plazo.
	Instalación o rehabilitación de la línea de subtransmisión	No aplica	Instalación del nuevo tendido.
	Transporte de maquinaria, materiales y equipo	No aplica	Desde Cali y Buenaventura al sitio del proyecto.
<b>ACTIVOS INTANGIBLES</b>			
<b>TIPO</b>		<b>CONCEPTO</b>	
Estudio de costos		Después del análisis técnico-económico se debe realizar un estudio mas detallado de la inversión a realizar, luego de realizar los estudios que permitan conocer el estado real de las obras civiles.	
Estudio técnico		Es necesario un replanteamiento profundo y exacto en el diseño de la planta.	
Asesoría y consultoría		Se requiere la contratación de personal calificado para el desarrollo del proyecto.	
Otros		Gastos generales de administración, operación y mantenimiento (AOM)	

Fuente: Elaboración propia.



7.1.1 Obras civiles. Se analizan a continuación los requerimientos para cada parte de la instalación:

Presa y bocatoma. Si los estudios son satisfactorios, sólo se requeriría un mantenimiento general, de lo contrario habría que demoler y volver a construir la presa y la bocatoma según los estudios de suelo y diseño que se realicen.

Los requerimientos son los siguientes:

Presa.

1. Inspección visual que permita establecer agrietamientos, filtraciones y puntos que presenten algún grado de debilitamiento en la estructura; el estado de la bocatoma y la malla filtradora, el sistema mecánico de apertura el cual incluye la válvula de apertura y las compuertas.

2. Mantenimiento general a la estructura, corrigiendo todos los defectos y daños que se presenten.

3. Mantenimiento de la válvula de apertura y compuerta.

5. Cambio de malla filtro de la bocatoma.

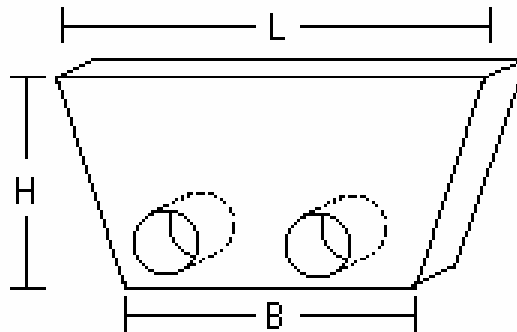
Para calcular la cantidad de  $m^3$  de concreto de la presa de gravedad, se utilizará la metodología de Aristides García y Víctor Arango<sup>17</sup>, en la figura 20 se puede ver el corte de la presa, además se denotan las siguientes dimensiones:

- Altura de la presa: H
- Ancho del fondo: B
- Ancho de la cima de la presa: L

---

<sup>17</sup> GARCÍA MORENO, Aristides y ARANGO VARGAS, Víctor Julio. Fundamentos de procedimientos para estimar cantidades de obra en centrales hidroeléctricas de capacidades entre 1 y 1000 MW. Bogotá: U.N., 1991.

Figura 20. Corte de la presa sobre la quebrada Patíco.



Fuente: Elaboración propia.

Canal de descarga. El estado exterior del canal de descarga es bueno, por lo tanto solo requiere un mantenimiento general que se estima como un porcentaje del costo de la construcción completa de las obras civiles. Pero igualmente se recomienda hacer un estudio especializado sobre el estado de toda la estructura.

Tubería de conducción. Se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

1. Se requiere realizar una inspección visual que permita establecer el estado exterior de la tubería, posteriormente un estudio detallado para conocer de forma precisa el estado de la superficie interna mediante pruebas. No se debe olvidar comprobar que no existan grietas o fugas que bajen la presión de la conducción, generen pérdidas y hagan el sistema ineficiente e insuficiente.
2. En caso de que el estudio arroje resultados positivos, se realizará un mantenimiento general en los diferentes tramos de la tubería.

Casa de máquinas. Como la construcción ha estado inundada hace más de 7 años, es posible que la calidad del suelo presente cambios, por tanto se recomienda realizar un estudio de suelos donde se determine la capacidad portante del suelo para asegurar la estabilidad del terreno con el fin de lograr una construcción firme que proteja los equipos más importantes del sistema.

Para estimar el costo del mantenimiento de las obras civiles, se toma el 30% del costo calculado para la reconstrucción de las mismas, las cuales se enuncian en la tabla 18, donde además se relacionan los costos de dichas obras en pesos actuales.



Tabla 18. Costo de obras civiles. En pesos Col. presentes.

CATEGORIA	UM	Cantidad	PRECIO UNITARIO (\$)	PRECIO TOTAL (\$)
REDISEÑO PARA OBRAS CIVILES	UN	1	36.750.000	36.750.000
PRELIMINARES	*	1	2.467.575	2.467.575
PRESA DE GRAVEDAD Y MURO DE CONTENCIÓN	m3	1.000	2.415	2.415.000
BOCATOMA	m2	100	2.415	241.500
TUBERIA DE CARGA	m	45	140.362	6.316.286
CASA DE MÁQUINAS	m2	25	249.804	6.245.111
CANAL DE RESTITUCION	m2	10	2.415	24.150
TOTAL				54.459.621
Imprevistos de obras civiles (15%)				8.168.943
AIU (20%)**				10.891.924
IVA (16%)**				8.713.539
Total obras civiles				82.234.028

\*\* Los porcentajes fueron tomados de: Ortiz Florez Ramiro, Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.

Fuente: Elaboración propia.

#### 7.1.2 Maquinaria y equipo electromecánico. Los requerimientos técnicos son lo siguientes:

Turbina. Se encuentra extraviada o destruida, por tal razón se requiere la adquisición de un equipo nuevo que se adapte a las características del agua, altura del salto, caudal y en general de las condiciones físicas de la microcentral –Capítulo 6-.

Unidad generadora. Este equipo tampoco se encontró durante la vista técnica y según la información suministrada por la U.A.E.S.P.N.N., no se encuentra en condiciones electromecánicas para su rehabilitación, está en muy malas condiciones. El análisis económico se hará sumando los costos de un generador nuevo.

Línea de subtransmisión. Considerando que las estructuras de madera que sostienen el tendido eléctrico pueden ser utilizadas nuevamente, se usaron datos modificados de las redes de media tensión de la revista construdata. Como no se obtuvieron planos a una escala adecuada ni fueron aprobados los recursos para el levantamiento topográfico necesarios para realizar el diseño de la línea de transmisión se optó por consultar el precio promedio para el tendido de redes de media tensión, datos que son reales en el mercado colombiano (precio en la ciudad de Cali mas un 10% por transporte), e igualmente válidos. Se tomará una distancia de 1.5 Km, distancia calculada con los puntos medidos con el GPS durante la visita realizada, además por medio de los planos adquiridos en el IGAC.



Subestación de distribución. La subestación de distribución está compuesta básicamente por un transformador montado en poste, un descargador de sobre tensión, transformadores de tensión y de corriente para los relés montados en la casa de máquinas.

Tabla 19. Cotización para el mantenimiento de los transformadores del sistema.

<b>TRANSFORMADORES DE 30 KVA</b>					
1	Limpieza general del transformador	Trafo	2	\$ 120,000	\$ 240,000
2	Medida de resistencia de aislamiento, índice de polarización al transformador de potencia.	Trafo	2	\$ 90,000	\$ 180,000
3	Medida relación de transformación del transformador de Potencia	Trafo	2	\$ 130,000	\$ 260,000
4	Medida de rigidez dielectrica del aceite	Trafo	2	\$ 45,000	\$ 90,000
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 770,000</b>
<b>DESPLAZAMIENTO A POPAYAN</b>					
1	Desplazamiento de personal y equipos a la ciudad de popayan	Trafo	2	\$ 916,391	\$ 916,391.18
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$ 916,391</b>
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 1,686,391</b>

Fuente: Seringel Ltda.

Transformador. Se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

Es un transformador de tipo distribución, está claro que se debe disponer de dos unidades similares para elevar y disminuir el nivel de tensión (440V-11.4kV), ya existen dos trafos de este tipo pero se desconoce su estado.

Si se desea rehabilitar los equipos ya existentes se deben realizar pruebas para conocer su estado. La tabla 19, es una cotización para mantenimiento de los transformadores, se trata de pruebas de aislamiento, medidas varias y una limpieza general. En el caso que las pruebas arrojen resultados poco satisfactorios se deberá aplicar mantenimiento correctivo y posible cambio de piezas del transformador, estos gastos serían altos, por tanto recomendamos comprar los dos transformadores nuevos, pero antes se deben hacer las pruebas para saber si se pueden o no recuperar los ya existentes lo cual representaría un ahorro de \$12.732.516, representado por el costo y el montaje de los dos transformadores.

Descargador de sobretensión. Este equipo no fue encontrado en la visita técnica por lo cual debe ser comprado e instalado, los valores de placa se deben ajustar a los del transformador.

PT y CT. Deben ser comprados e instalados, los valores de placa se deben ajustar a los del transformador. El valor Burden es de 10 VA. La relación de transformación para el CT es de 50A-5A, y para el PT es de 440 VAC a 125 VDC.



Accesorios. Comprende todo lo referente a las instalaciones eléctricas, cableado y relés de protección, estos equipamientos existen en la planta actualmente pero se encuentran en un estado de deterioro que no permite su recuperación.

En la tabla 20 están relacionados todos los costos de maquinaria, equipos electromecánicos, montaje y mano de obra para poner en funcionamiento la parte eléctrica de la microcentral. Las especificaciones técnicas son las siguientes:

- La caja de distribución de cuatro circuitos para la casa de máquinas, incluye: Caja monofásica de 4 circuitos, mano de obra, interruptor termomagnético unipolar HQP 30 A.
- La tierra para el descargador de sobre tensión incluye alambre de cobre desnudo 8 AWG, cinta band - it 1/2", hebilla 1/2", la instalación, tubo conduit gris 1/2", varilla CW 5/8"\*2.40, una tierra para cada descargador

Tabla 20. Costos de maquinaria y equipos electromecánicos en \$Col/MC.

<b>CATEGORIA</b>	<b>UM</b>	<b>Cantidad</b>	<b>PRECIO UNITARIO (\$)</b>	<b>PRECIO TOTAL(\$)</b>
Grupo turbina - generador Sin transporte	UN	1	57.034.535	57.034.535
Transporte del grupo turbina - generador hasta sitio de proyecto*	UN	1	7.219.519	7.219.519
Relé numerico, portección generador multifuncional. SEL-300G	UN	1	14.756.169	14.053.494
PT y CT	UN	1	105.000	105.000
Tablero de control con módulo de protección, control y medición.	UN	1	2.625.000	6.780.000
Transformador elevador 30kVA, 120V/440V/11.4 kV. Aislamiento en Aceite. ON/AN. Tipo poste	UN	2	6.306.504	12.613.007
Costo montaje transformador	UN	2	378.067	756.134
Tierra transformador	UN	2	763.289	1.526.578
Descargador de sobretensión 15 kV	UN	2	535.920	1.071.840
Tierra descargador	UN	2	113.565	227.130
Montaje del descargador	UN	2	105.000	210.000
Interruptor 50A	UN	2	22.050	44.100
Fusibles línea 11.4 kV, juego para 3 fases	UN	2	15.750	31.500
Cortacircuito tripolar	UN	2	2.083.079	4.166.159



Montaje cortacircuitos y fusibles. Por tres fases.	UN	2	210.000	420.000
Seccionador monopolar	UN	3	14.490	43.470
Montaje cuchillas	UN	1	105.000	105.000
Red aérea 3*2/0 ACSR	m	1.500	59.559	89,338,500
Postes, madera inmunizada, 8m	UN	9	180.873	1.627.857
Acometidas aérea en casa de máquinas	UN	1	357.960	357.960
Caja de distribución para cuatro circuitos.	UN	1	104.496	104.496
Fusible de 250V/30A	UN	4	3.752	15.007
Interruptor doble	UN	1	7.057	7.057
Toma corriente doble trifásica Luminex	UN	1	5.461	5.461
Tierra caja de distribución	UN	1	124.574	124.574
Transformador de 1kVA	UN	1	294.707	294.707
Pruebas a transformadores de 30 kVA	UN	2	1.518.711	3.037.421
Subtotal	201.320.732			
			Imprevistos (15%)	30.198.110
			AIU (20%)	40.264.146
			IVA (16%)	32.211.317
			Total maquinaria y equipo electromecánico	303.994.305

\* Suma del valor CIF Buenaventura Colombia, más un 10% del mismo valor, ver anexo B.  
Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en diversas cotizaciones, ver anexo B.

- La tierra del transformador incluye: alambre de cobre desnudo AWG 2/0, cuadrilla de instalación, Varilla CW 5/8" \* 2.40, alambre de cobre desnudo AWG 1/0.
- La tierra del tablero general distribución viene con alambre de cobre desnudo AWF 1/0 A, montaje y varilla CW 3/4" x 2.4.
- Transformador de potencial: Relación de transformación 440V AC/125V DC. Con 2 núcleos en el secundario, uno para medida y otro para protección.
- Transformador de corriente: Relación de transformación 50/5 A. Con dos núcleos, el primero para medida y el segundo para protección.
- Red aérea 3x2/0 ACSR cable aluminio desnudo AF 2/0, con instalación y cuadrilla.

7.1.3 Total de la inversión inicial. Tomando en cuenta las recomendaciones señaladas anteriormente sobre los estudios que se han de realizar para asegurar la inversión de los equipos, se estiman los siguientes costos para cada uno de los dos escenarios:



- Escenario 1, se asume que todas las estructuras no sirven para el proyecto, por tanto se hace una demolición y se vuelve a construir.
- Escenario 2, se calcula con el 30% del costo de las obras civiles estimadas para el primer escenario y se asume como el costo de rehabilitación.

En la tabla 21 se ilustran los costos aproximados de inversión para cada escenario. Para calcular el precio en dólares se utilizó la tasa cambiaria correspondiente al día 30 de julio de 2005 equivalente \$2,311.25.<sup>18</sup>

Tabla 21. Costos totales para ambos escenarios en \$Col/MC y en US.

	OBRAS CIVILES		COSTOS EQUIPOS		TOTAL	
	PESOS	USD	PESOS	USD	PESOS	USD
<b>ESCENARIO 1</b>	82.234.028	35.580	303.994.305	131.528	386.228.333	167.108
<b>ESCENARIO 2</b>	24.670.208	10.674			328.664.513	142.202

Fuente: Elaboración propia.

Por lo anterior se puede deducir que el mayor costo en la rehabilitación se encuentra dentro del ítem correspondiente a los equipos electromecánicos. Se aclara que no se tienen en cuenta los costos relacionados con los estudios, pruebas y análisis previos, necesarios en la realización del proyecto.

## 7.2 COSTO DE MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN

Se sugiere contratar un operario que cumpla las funciones de control, operación y mantenimiento general. En la tabla 22 se estima el salario anual para este fin.

Los costos de mantenimiento y pruebas anuales son del 1.5% de la inversión total del equipo electromecánico al cual se le haría estas pruebas y mantenimiento, lo que vendría siendo igual a una suma de \$ 4.559.915. Además se calcula un valor por concepto de imprevistos igual al 15% del valor de mantenimiento anual calculado anteriormente, \$683.987. Sumando los dos valores anteriores, tenemos un costo total anual por concepto de mantenimiento, pruebas e imprevistos de \$ 5.243.902; USD 2.269. Lo anterior se resume en la tabla 23.

No se calculó administración puesto que esta puede ser la misma del P.N.N., por tanto ya está contemplada en los recursos asignados para tal fin por parte de la U.A.E.S.P.N.N.

<sup>18</sup> Tomado de [www.banrep.gov.co](http://www.banrep.gov.co), información económica, estadísticas.



Tabla 22. Costo anual operador en pesos.

<b>CATEGORIA</b>		<b>MES</b>	<b>AÑO</b>
Sueldo básico		381.500	4.578.000
Subsidio de transporte		44.500	534.000
Botas y overol		-	132.000
Subsidio de alimentación		44.500	534.000
Plan obligatorio salud		18.312	219.744
Plan obligatorio pensiones		22.890	274.680
Prestaciones	Cesantías	-	381.500
	Prima	-	381.500
	Vacaciones	-	190.750
Total		511.702	7.226.174

Fuente: Elaboración propia, basado en datos reales (algunos oficiales como el SMMLV) adquiridos de fuentes distintas, tales como [www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co) y [www.presidencia.gov.co](http://www.presidencia.gov.co).

Tabla 23. Costo del mantenimiento anual.

<b>CATEGORIA</b>	<b>AÑO</b>
Mantenimiento y pruebas	4.559.915
Imprevistos	683.987
Total	5.243.902

Fuente: Elaboración propia.

En total los costos AOM, sumando operación, mantenimiento, pruebas e imprevistos; son de \$ 12.470.076, USD 5.395,9 anuales.



## 8. ANÁLISIS ECONÓMICO

Dentro de los estudios de prefactibilidad en el desarrollo y formulación de proyectos el análisis económico ocupa un lugar determinante. Se debe lograr un alto grado de confiabilidad en las estimaciones que se realicen puesto que de ellas depende la determinación de la inversión y administración de los recursos. Para este análisis es necesario comprender términos financieros básicos tales como interés, tasa de oportunidad, flujo de fondos, valor presente, valor futuro, inflación, deflación, entre otros.

Por las características del parque analizadas en los capítulos anteriores, se debe tener en cuenta que la inversión sobre el proyecto no se justifica como un negocio financiero rentable, puesto que la energía producida no se va a vender, aunque la rehabilitación representaría ingresos en la medida que el centro turístico retome sus actividades. Sin embargo se harán algunas estimaciones, tomando como punto de partida las características del centro Pilimbalá, lugar cercano y con condiciones similares a San Juan.

El análisis económico va encaminado a conocer los costos, ingresos y pérdidas, para que de esta forma se de vía libre al proyecto o a la cancelación del mismo.

### 8.1 ANÁLISIS BENEFICIO/COSTO

Para el análisis se deben saber los egresos, como la inversión realizada y los gastos anuales de operación y mantenimiento, además los estimativos de ingresos por cuenta de la apertura del parque y del ahorro realizado por la producción de energía, todo lo anterior tomando los años de vida útil del proyecto. Con esto se realiza un flujo de caja y se obtienen además los indicadores de rentabilidad, como lo son el valor presente neto, la tasa interna de retorno, el periodo de amortización, entre otros.

### 8.2 INFORMACIÓN BÁSICA

8.2.1 Definición de los ingresos. Como no se va a realizar venta directa de energía, se considerarán primero los beneficios obtenidos al no comprar energía al Sistema Interconectado Nacional, que se halla tomando la tarifa aplicada por CEDELCA para el estrato 1 -143,79 \$kWh<sup>19</sup>- y la demanda potencial anual -113,7MWh-. Esto resulta dar un valor de \$ 16'.348.923 con cifras del año 2005. Es necesario aclarar que la demanda propia en esta área parece no ser suficiente para que CEDELCA realice una

---

<sup>19</sup> Según tarifas publicadas por CEDELCA (Centrales Eléctricas del Cauca S.A. E.S.P.) en el diario El Liberal, el 6 de julio de 2005.



interconexión, sin embargo el valor calculado da una idea de la ventaja que puede llegarse obtener con un autoabastecimiento de energía.<sup>20</sup>

Si se rehabilita el centro turístico, se recaudaría aproximadamente 22.5 millones anualmente, valor que ha sido estimado de acuerdo a lo observado en Pilimbalá y con algunos precios actuales<sup>21</sup>, sin embargo, el número de visitantes no fue tomado de cifras oficiales de la U.A.E.S.P.N.N., se estimó entonces un valor mínimo supuesto. Se supone que después de la rehabilitación de la central y de las estructuras civiles en San Juan, habrá una afluencia de visitantes y actividades propias del centro. En la tabla 24 se resumen los anteriores ingresos, y se muestra una cifra total anual en pesos Colombianos actuales.

Tabla 24. Ingresos anuales en pesos actuales en \$Col/Mc.

<b>AHORRO POR NO COMPRA DE ENERGIA</b>	<b>INGRESOS REACTIVACIÓN TURISMO</b>	<b>TOTAL DE LOS BENEFICIOS</b>
16.348.923	22.560.000	38.908.923

Fuente: Elaboración propia.

8.2.2 Definición de egresos. La inversión inicial se calculará desde los dos escenarios igual que los costos por operación y mantenimiento. Según lo previsto en el anterior capítulo. Como inversión tomamos para el escenario 1: \$ 386.228.333 y para el escenario2: \$328.664.513.

Para empezar, se hará una aproximación, por medio del periodo de recuperación de capital (**Payback Period**) utilizando la inversión estimada y el valor total de los beneficios. Las variables que tienen el subíndice 1 corresponden a los datos del escenario 1<sup>22</sup> y los que tienen el subíndice 2 a los del escenario 2<sup>23</sup>.

Si:

Inversión inicial:  $I_1 = \$386.228.333$ ;  $I_2 = \$328.664.513$

$R =$  Total beneficios netos  $= \$26.438.847$

$n =$  Periodo de recuperación de capital en años.

$$n_1 = \frac{I}{R} = \frac{386.228.333}{26.438.847} \cong 15$$

<sup>20</sup> Ver Resolución CREG-084 de 1996, definición de Autogenerador.

<sup>21</sup> Ver anexo B, información sobre ecoturismo.

<sup>22</sup> Con reconstrucción de las estructuras civiles. (sin incluir el puente paralelo a la presa).

<sup>23</sup> Con reparación de la obras civiles.



$$n_2 = \frac{I}{R} = \frac{328.664.513}{26.438.847} \cong 12$$

Como los ingresos son anuales, el periodo resulta ser de 15 y 12 años para los escenarios 1 y 2 respectivamente. Este criterio es sencillo, aún así ha sido utilizado ampliamente en el pasado por prestigiosas empresas y está basado en una política de liquidez acentuada.

### 8.3 CRITERIOS DE TOMA DE DECISIONES

Ahora se tomarán en cuenta los siguientes criterios que son necesarios para cualquier toma de decisiones, la cual se puede inclinar por cualquier tipo de alternativa de las diferentes tecnologías de generación existente.

8.3.1 El valor presente neto. Como es sabido, el valor presente neto se obtiene de traer a valor presente todos los flujos del proyecto, utilizando una tasa de descuento adecuada. El valor presente de los flujos periódicos (ingresos brutos menos costos de operación y mantenimiento anuales) se indexarán de acuerdo al promedio de los últimos 4 años del acumulado anual del Índice de precios del productor –IPP<sup>24</sup>-, valor igual a 6%. Los periodos para los distintos escenarios serán iguales a los calculados en el numeral 8.2, la Tasa de Interés de Oportunidad será a 10%.

Hallamos el valor presente neto (VPN) según la siguiente fórmula<sup>25</sup>:

$$VPN = -I + \frac{R_1}{(1+i)} + \frac{R_2}{(1+i)^2} + \frac{R_3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{R_n}{(1+i)^n}$$

Donde:

I = inversión inicial

n = número de periodos de liquidación.

i = tasa de descuento adecuada.

R = flujos periódico

<sup>24</sup> IPP mensuales de los años 2001 a 2004, obtenidos de la página Web [www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co)



Resolviendo la ecuación, con los periodos obtenidos en el numeral 8.2, encontramos los valores que se resumen la tabla 25, para ambos escenarios y en millones de pesos.

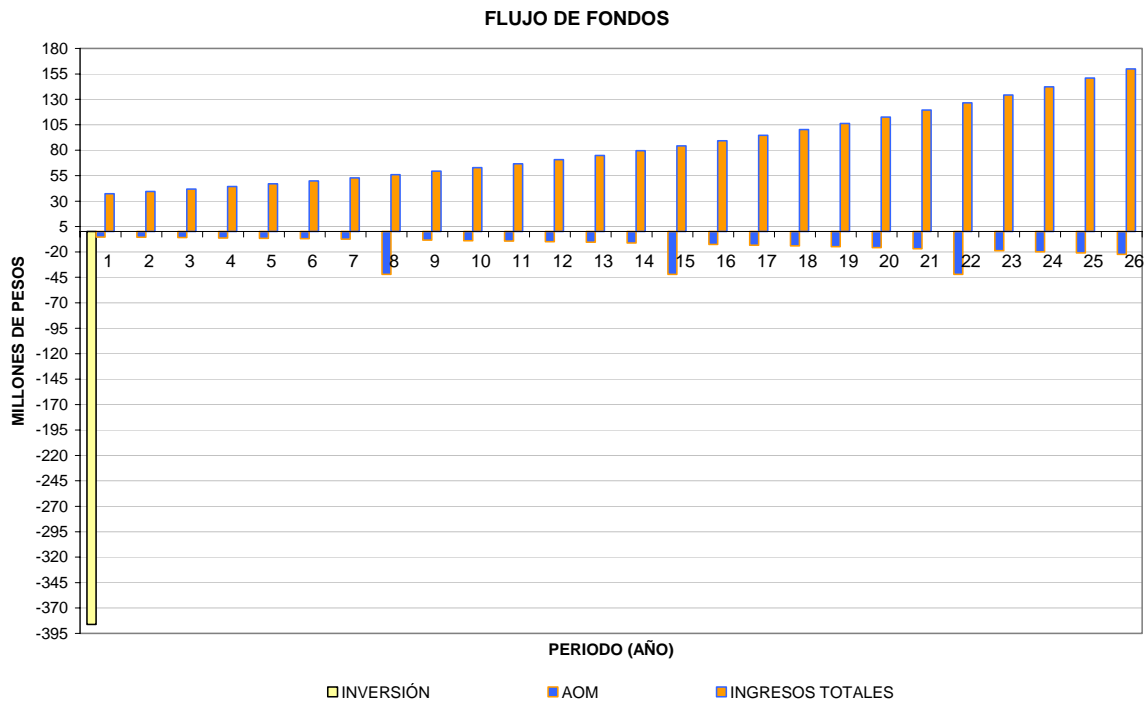
Tabla 25. Valor presente neto para los dos escenarios en millones de pesos Col/Mc.

	VALOR PRESENTE NETO
ESCENARIO 1	-53,07
ESCENARIO 2	-44,2

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede notar, el valor presente neto calculado es negativo, lo que indica que el proyecto no es conveniente desde el punto de vista económico en un periodo corto, por tanto se debe justificar el proyecto desde un punto de vista social y ambiental.

Figura 21. Flujo de fondos para el escenario 1 en millones de pesos Col/Mc.



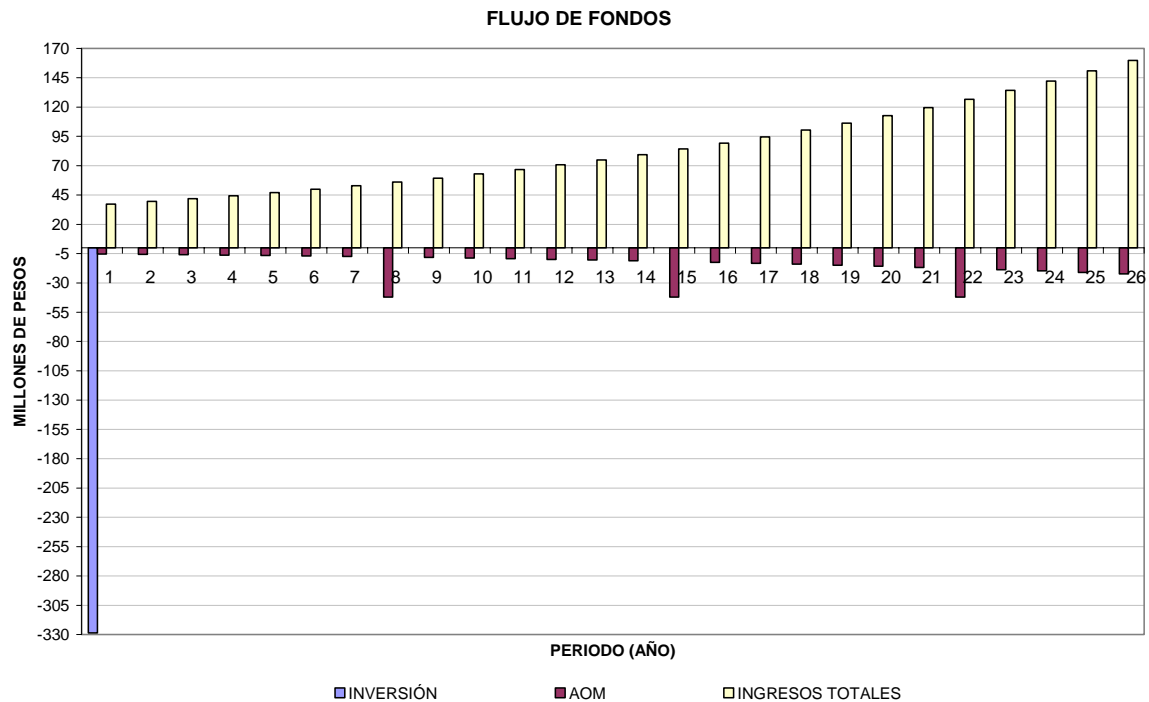
Fuente: Elaboración propia.

Las figuras 21 y 22 son los flujos de fondos para el escenario 1 y 2 respectivamente, haciendo el ejercicio para el periodo de vida del proyecto: 25 años. En él se reconoce claramente la inversión que se paga durante el primer periodo, y además se nota que los ingresos siempre son mayores a los egresos. Dentro de los egresos se sumó cada siete



años un 15% más por concepto de un mantenimiento mas especializado que los realizados habitualmente.

Figura 22. Flujo de fondos para el escenario 2 en millones de pesos Col/Mc.



Fuente: Elaboración propia.

La tabla 26 contiene los valores presentes netos para los dos escenarios, pero con un periodo de 25 años en ambos casos. El resultado es positivo, pero si se tiene en cuenta el periodo, no se llega a un resultado económicamente favorable.

Tabla 26. Valor presente neto para los dos escenarios en millones de pesos Col/Mc.

	VALOR PRESENTE NETO
ESCENARIO 1	105,28
ESCENARIO 2	162,85

Fuente: Elaboración propia.

8.3.2 Tasa interna de retorno. La tasa interna de retorno (TIR), es aquella tasa con la cual el valor presente neto se hace cero. O sea,



$$VPN = -I + \frac{R_1}{(1+i)} + \frac{R_2}{(1+i)^2} + \frac{R_3}{(1+i)^3} + \dots + \frac{R_n}{(1+i)^n} = 0$$

Para calcularlo se pueden utilizar diversos métodos. En este caso se desarrolló manualmente (prueba y error), lo cual di los resultados que se resumen en la tabla 28 a un periodo de 25 años.

Tabla 27. Tasa Interna de Retorno (TIR)

	TASA INTERNA DE RETORNO (%)
ESCENARIO 1	12,5
ESCENARIO 2	14.3

Fuente: Elaboración propia.

El hecho que estos valores sean mayores que el índice utilizado, es otra señal de la viabilidad del proyecto pero a un muy largo periodo (25 años).

Finalmente se llega a la conclusión que el proyecto es viable si se asegura ingresos suficientes por concepto de turismo en el centro San Juan, esto también depende de la rehabilitación sobre las estructuras civiles del centro, tales como el restaurante, el museo el auditorio y la cabaña de funcionarios.

### 8.3 COMPARACIÓN DE BENEFICIO/COSTO

Siempre es bueno tener los costos de varias tecnologías de generación antes de tomar una decisión en cuanto a la inversión en proyectos de energización. Una de ellas es nueva y hasta ahora está iniciando su entrada al mercado debido que se encuentra en proceso de investigación para mejorar la generación de energía y demás aspectos; tales como la vida útil de cada unidad. Esta tecnología es llamada celdas de combustible, y como se ha dicho anteriormente no es muy comercial por tanto no se tomará en cuenta para esta comparación.

Analizando las demás posibilidades sólo se llega a un grupo electrógeno, que fue cotizado<sup>26</sup> con la firma FG WILSON a un valor CIF sitio en el puerto de Buenaventura igual a \$USD 9,595.00, modelo P35E1S, 28 kw, 3275 msnm, 60 Hz, 1800 rpm y 240/120 volts. Se considera suficiente para la rehabilitación. El costo en pesos corrientes con la tasa representativa que se ha venido utilizando sumando un 10% por costos de transporte es igual a 24,39 millones de pesos corrientes. A primera vista se revela que la diferencia es considerable a comparación del costo que implica rehabilitar la PCH.

<sup>26</sup> GONZALEZ, Tony. Cotizacion Ref # TG110405C. Message to: Alexander SIERRA. 4 November 2005. Personal communication. [Ver anexo B]



Teniendo en cuenta que para la generación eléctrica en las ZNI a partir del primero de enero de 2003 el costo del electro combustible, sin incluir el transporte desde la planta abasto mayorista al usuario, es igual a 1.190,37<sup>27</sup> pesos por galón; y el consumo de combustible que indica el fabricante (15.8 litros/h), nos da un costo anual de operación aproximado de 82 millones de pesos colombianos corrientes, asumiendo un periodo de generación igual a 12 horas. Se puede constatar entonces que para Puracé es más económico el mantenimiento de una PCH que un grupo electrógeno ya que no se presenta gasto por combustible, además ambientalmente, por las emisiones que produce la planta, es mejor una PCH. (ver especificaciones del grupo electrógeno en el anexo B).

---

<sup>27</sup> Fuente: [www.ecopetrol.com.co](http://www.ecopetrol.com.co)



## 9. ANÁLISIS AMBIENTAL

### 9.1 NORMATIVIDAD

Sobre la normatividad existente, después de la Constitución Política de Colombia de 1991, en importancia, respecto a medio ambiente y temas relacionados, se encuentra la ley 99 de 1993 donde: “por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones”.

Se nombrará a continuación algunos de los principios generales ambientales que nombra esta ley y afecta directa o indirectamente el proyecto de este trabajo de grado:

El proceso de desarrollo económico y social del país se orientará según los principios universales y del desarrollo sostenible contenidos en la Declaración de Río de Janeiro de junio de 1992 sobre Medio Ambiente y Desarrollo.

La biodiversidad del país, por ser patrimonio nacional y de interés de la humanidad, deberá ser protegida prioritariamente y aprovechada en forma sostenible.

Las políticas de población tendrán en cuenta el derecho de los seres humanos a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza.

Las zonas de páramos, subpáramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos serán objeto de protección especial.

En la utilización de los recursos hídricos, el consumo humano tendrá prioridad sobre cualquier otro uso.

La formulación de las políticas ambientales tendrá en cuenta el resultado del proceso de investigación científica. No obstante, las autoridades ambientales y los particulares darán aplicación al principio de precaución conforme al cual, cuando exista peligro de daño grave e irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces para impedir la degradación del medio ambiente.



El Estado fomentará la incorporación de los costos ambientales y el uso de instrumentos económicos para la prevención, corrección y restauración del deterioro ambiental y para la conservación de los recursos naturales renovables.

El paisaje por ser patrimonio común deberá ser protegido.

Los estudios de impacto ambiental serán el instrumento básico para la toma de decisiones respecto a la construcción de obras y actividades que afecten significativamente el medio ambiente natural o artificial.

De los anteriores puntos, se justifica legalmente el desarrollo del proyecto y además trazar una línea legal la cual se puede seguir. Un término que encontramos con frecuencia es Desarrollo Sostenible, es entendible que las fuentes de energías alternativas se adaptan a este concepto, ya que en cuanto a uso y cuidado de recursos es ideal por bajo impacto ambiental y por su papel fundamental en el desarrollo de una región.

Según esta ley, Título V, artículo 16, sobre apoyo científico y técnico del ministerio, en el artículo 16 cita que "...el Ministerio de Medio Ambiente contará con el apoyo científico y técnico de las universidades privadas...", aspecto que hacemos referencia por ser el caso del proyecto de grado.

En cuanto a la licencia ambiental y los casos a los que se aplica la normatividad respectiva, encontramos que se entregará licencias de manera privativa en caso de construcción de presas, represas o embalses que superen los 200 millones metros cúbicos, y construcción de centrales generadoras de energía eléctrica que superen los 100.000 KW de capacidad instalada, también las líneas del sistema de transmisión nacional de interconexión eléctrica.

En el caso específico de la construcción de PCH's por debajo de 100 kW y 2m<sup>3</sup>/s, como es el caso de Perico I, las obras no se encuentran dentro de las condiciones referidas a licencias ambientales.

## **9.2 ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL**

Dentro del desarrollo de un proyecto, obra o actividad es importante realizar un estudio de impacto ambiental para analizar como las diferentes actividades antrópicas pueden llegar a alterar un sistema natural, teniendo en cuenta aspectos como:

- Emisiones atmosféricas causadas por la combustión de combustibles.
- Vertimientos a un cauce natural.



- Generación de residuos peligrosos o convencionales.
- Alteración al paisaje.
- Utilización desmedida de recursos naturales.

Al ser analizados los aspectos señalados anteriormente se deben establecer procedimientos preventivos y correctivos que aseguren un desarrollo sostenible y que garanticen la conservación del medio ambiente en beneficio de la calidad de vida del ser humano.

9.2.1 Emisiones Atmosféricas. Dentro del proceso de generación de energía en las microcentrales las emisiones de CO<sub>2</sub> por GWh presenta un factor de 8 como indica la tabla 28. Este factor es relativamente bajo, y sólo es superado por fuentes que tienen un costo muy superior como nuclear, viento y fotovoltaica.

**Tabla 28. Cuadro comparativo de emisiones de CO<sub>2</sub> por GWh de diferentes fuentes de energía.**

FUENTE	TONELADAS DE CO <sub>2</sub> /GWh
Carbón	964
Aceite	820
Gas	484
Geotérmica	57
Micro Hidrogeneración	8
Nuclear	7.8
Viento	7.4
Fotovoltaico	5.4
Grandes centrales hidráulicas	3.1

(Fuente: Diseño para pequeñas centrales hidroeléctricas  
Instituto de ciencias Nucleares y Energías Alternativas (INEA))

Es de anotar que por las bajas emisiones de gases las microcentrales hidroeléctricas presentan un menor impacto al ambiente que otros tipos de centrales, como las plantas diesel y las plantas a base de carbón, que contribuyen al calentamiento del planeta por sus elevadas emisiones de gases; también presentan desventajas económicas de operación y mantenimiento, además del agotamiento de las reservas de combustible.

9.2.2 Generación de residuos. En el proceso de rehabilitación de la microcentral se debe tener en cuenta que la maquinaria obsoleta como transformadores, turbinas entre otros se deben considerar como residuos peligrosos por sus características de toxicidad y corrosividad, por lo tanto su manejo y disposición debe ser supervisado por la autoridad ambiental competente de la zona.



En este proceso también se generan residuos convencionales como tuberías, escombros, vidrios entre otros los cuales se deberán clasificar, manejar, reutilizar o disponer adecuadamente para así mitigar el impacto causado por el proyecto.

9.2.3 Suelo. Dentro del desarrollo del proyecto el suelo a utilizar para la rehabilitación de la micro central es el mismo donde actualmente están las obras antiguas por lo cual la capa vegetal en la zona no sufrirá una modificación considerable que pudiera llegar a alterar significativamente el entorno natural que rodea las construcciones, además la abundante capa vegetal existente se comporta como un agente controlador de erosión y proporciona estabilidad a los suelos cercanos al río y a las obras.

La realización de proyectos con características similares al de la planta Perico I en el PNN Puracé implica la construcción de infraestructura que influye directamente en la zona del proyecto. En el caso de la microcentrales el impacto ambiental debido a la construcción de obras civiles es mínimo debido al tamaño de las mismas; en la planta Perico I tal vez no todas las obras tendrán que ser demolidas y reconstruidas por lo cual el impacto se reducirá aún mas en cuanto a la construcción se refiere.

9.2.4 Fuente de agua. Las desviaciones del cauce se hacen de manera temporal, en un tiempo corto. Cuando la planta entra a operación la toma del caudal ocurre entre la presa y la casa de máquinas, luego el caudal se vierte nuevamente al río donde este no sufre modificaciones o alteraciones fisicoquímicas en el proceso de generación de energía pero si se beneficia ya que el agua vertida presenta mayor oxigenación.

Es importante resaltar que las estructuras que se utilizan para captar el agua son antiguas por lo tanto se debe realizar un mantenimiento y limpieza a la construcción para evitar la proliferación de algas o microorganismos que puedan afectar la calidad de las mismas o el proceso de generación.

9.2.5 Fauna. Los impactos afectan tanto a fauna terrestre como acuática gracias al efecto barrera que suelen producir este tipo de proyectos. Sobre la fauna terrestre, lo que más puede afectarla son nuevas vías o senderos, lo cual no se cree necesario en el proyecto, además si se conserva la línea de sub-transmisión, se puede reducir el impacto. En cuanto a la fauna acuática, si hubo un impacto en la construcción por el obstáculo físico que constituye la presa, se pudo haber alivianado con la generación de zonas húmedas que producen este tipo de construcciones, lo cual favorece al ecosistema al convertirse en zona de asentamiento o de descanso en sus migraciones.

9.2.6 Paisaje. Las actividades a desarrollar en la rehabilitación de la microcentral no implican modificaciones considerables a las construcciones existentes que por ser antiguas se integraron al medio, actualmente no afecta el paisaje natural de la zona.



9.2.7 Socioeconómico. Como ya se había mencionado en el capítulo 2, al hablar de habitantes de la zona, se puede limitar un poco por la reglamentación; por tanto el empleo que genere deberá estar controlado y autorizado por la U.A.E.S.P.N.N. Pero aún así la actividad económica –turismo- de la zona se verá beneficiada, siendo casi la justificación final de la rehabilitación de la planta, además de los empleos que pueda generar el proyecto durante la rehabilitación de la planta y en menor medida, durante la operación de la planta, puesto que se requerirá de personal si se pretende mantener la planta en buen estado gracias al mantenimiento periódico que se le aplique al sistema de generación, transmisión y distribución. Un aspecto negativo es que al verse en actividad el centro turístico, se presente migración de pobladores hacia la zona, atraídos por la posibilidad de realizar ventas informales en San Juan, pero esto sólo se vería reflejado los días cuando se presente mayor demanda, que generalmente son los fines de semana, mas o menos unos tres días semanales, además de no ser económicamente justificable tal migración, las normas ambientales no lo permiten.

Para terminar, se aclara que la normatividad no impide la interconexión a la red de distribución local (RDL) más cercana, sin embargo, según declaraciones de la U.A.E.S.P.N.N., la filosofía de la entidad se ciñe a las posibilidades de desarrollar proyectos que impliquen el aprovechamiento de recursos renovables que eviten emisiones de CO<sub>2</sub>; además una línea provocaría asentamientos en zonas de protección especial y por tanto conexiones ilegales.



## 10. RECOMENDACIONES

Como primera recomendación, se debe realizar un profundo análisis mediante pruebas y estudios especializados en manos de expertos y con equipos adecuados por parte de la administración del Parque o de la U.A.E.S.P.N.N., con el fin de establecer el estado real de las obras civiles que allí se encuentran; el resultado arrojado permitirá hacer un análisis más acertado en cuanto a los costos se refiere, puesto que si es necesario hacer nuevas construcciones se incrementaría el costo; además se aseguraría la inversión en equipos ya que estos se pondrían en riesgo, junto a las personas involucradas, si las estructuras no garantizan estabilidad durante su uso. La valoración y los costos en obras civiles y mantenimiento deben estar sujetos a opiniones de expertos en obras civiles para centrales hidroeléctricas.

Se debe realizar un levantamiento topográfico, para contemplar la posibilidad de un nuevo diseño para la línea de subtransmisión ya que sin el perfil del terreno se hace imposible un diseño preciso y adecuado para los fines pertinentes.

En caso que el proyecto sea ejecutado es aconsejable corroborar datos tan importantes como lo son el caudal y el salto, ya que de estos depende la completa confiabilidad en el diseño.

No se debe dejar la PCH abandonada una vez puesta en funcionamiento, se le debe hacer mantenimiento periódicamente a todos sus equipos para garantizar la vida útil de los mismos.



## 11. CONCLUSIONES

Como conclusión a este proyecto de grado, además de los resultados obtenidos en cuanto a las especificaciones técnicas, costos y análisis económico; se llega al punto en que el diagnóstico es claro: si la U.A.E.S.P.N.N. pretende rehabilitar Perico 1 lo primero que debe hacer son los estudios que den como resultado el estado real de las construcciones civiles, la tubería y los transformadores; hacer una rehabilitación sin estos estudios podría poner en riesgo la inversión que se realice. Además como la energía producida no va a ser vendida, financieramente el proyecto no es rentable, sin embargo los beneficios que representa la rehabilitación para el sistema de parques nacionales es importante en especial para la infraestructura y las proyecciones que tiene la unidad en cuanto a ecoturismo.

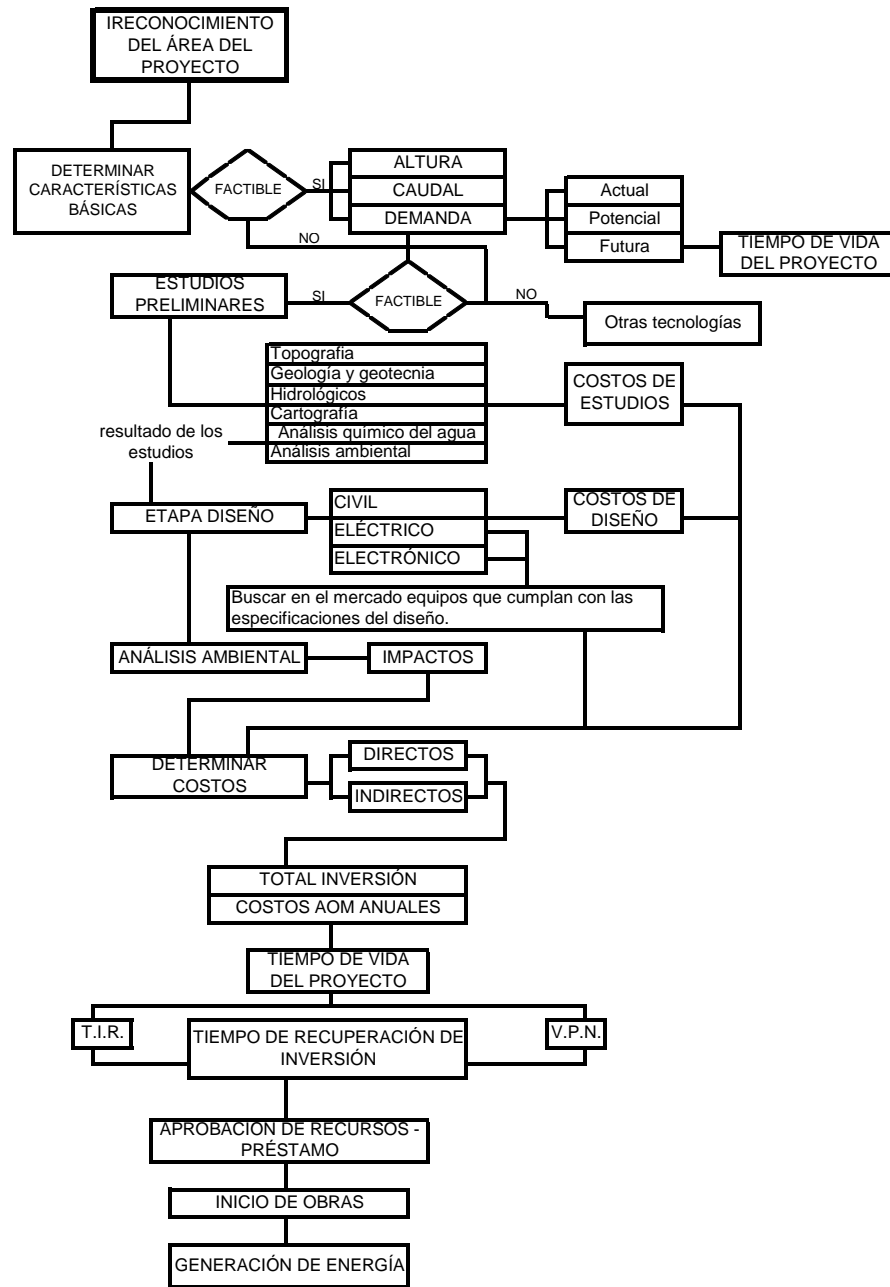
Un producto resultante de este proyecto es la metodología que se ha desarrollado la cual puede utilizarse para hacer diagnósticos en situaciones similares. En la figura 23 se representa dicha metodología por medio de un diagrama de bloques, esto constituye un aporte que puede ser utilizado en el futuro para estudios de prefactibilidad y factibilidad en el desarrollo de proyectos de PCH:

Sabiendo que técnicamente es factible la generación por medio del recurso hídrico, se debe iniciar la realización de estudios básicos y fundamentales con los cuales se podrá diseñar la PCH en todos sus niveles. Sin contar los primeros diseños básicos que no requieren grandes inversiones para su realización, son necesarios estos estudios para hacer diseños específicos, tales como el de la línea de transmisión, la red de distribución, el diseño de las obras civiles, entre otros.

Los diseños contienen todo lo necesario para llevar a cabo las obras, este punto es crítico para el proyecto, ya que de estos depende directamente el éxito o fracaso de la PCH, no solo durante su construcción si no también durante todo el tiempo de vida estimado para el mismo.

Figura 23. Metodología resultante, en diagrama de bloques.

DIAGRAMA DE BLOQUES PARA EL DESARROLLO DE  
UNA METODOLOGIA DE DISEÑO DE PCH'S



Fuente: Elaboración propia.



## BIBLIOGRAFIA

BRAND, Salvador Osvaldo. Diccionario de economía. Bogotá: Editorial Printer, 1984.

EMPRESA DE ENERGÍA DEL QUINDÍO S.A. Oficina de Planeación. Evaluación económica de la rehabilitación de la PCH "El bosque". Armenia, Agosto de 1990.

GARCÍA MORENO, Arístides y ARANGO VARGAS, Víctor Julio. Fundamentos de procedimientos para estimar cantidades de obra en centrales hidroeléctricas de capacidades entre 1 y 1000 MW. Bogotá: U.N., 1991.

GRAINGER John y STEVENSON, William. Análisis de sistemas de potencia. México D.F.: Mc Graw Hill, 2002.

GUALTEROS ZAPATA Jimmy y CACERES MENDEZ, Hoobert. Estudio técnico y económico para el diseño de una pequeña central hidráulica que le permita la autosuficiencia energética del centro de investigaciones Las Gaviotas. Bogotá: Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad de La Salle, 2002.

INSTITUTO COLOMBIANO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y SILVIA CARREÑO & ASOCIADOS. Pequeña central hidroeléctrica de Guapi, Informe ejecutivo y Etapa de diseño Bogotá D.C.: ICEL 1995. Silvia Carreño & asociados

INSITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas Colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Quinta actualización. Bogota D.C.: ICONTEC, 2002.

INSTITUTO DE CIENCIAS NUCLEARES Y ENERGÍAS ALTERNATIVAS. Diseño para pequeñas centrales hidroeléctricas. Santafe de Bogota, D.,C.: INEA,1997.

ORGANIZACIÓN LATINOAMERICANA DE ENERGÍA, Manual de diseño de pequeñas centrales hidroeléctricas volumen II, II Curso latinoamericano de diseño de pequeñas centrales hidroelectricas –PCH. Santafe de Bogota, D.,C.: OLADE,1994.

ORTIZ FLORES, Ramiro. Pequeñas Centrales Hidroeléctricas. Bogotá: Mc Graw Hill, 2001.



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. Facultad de Ingeniería Eléctrica. Seminario de ahorro de energía y el nuevo esquema comercial del manejo de la energía en Colombia, Capítulo 4, Evaluación financiera en proyectos de ahorro de energía. Santa Fé de Bogotá: UNIANDES, 1996.



## ANEXOS

### ANEXO A

Este anexo incluye las comunicaciones enviadas entre la Facultad de Ingeniería Eléctrica, la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales de Colombia y los autores de este documento. Se organizan ellos en orden cronológico.

### ANEXO B

Se presentan a continuación las cotizaciones realizadas y algunos datos seleccionados de la revista construdata que se utilizaron en este proyecto, en el capítulo que determina los costos de la PCH.

### ANEXO C

Este anexo corresponde a los planos relacionados en el proyecto, primero se encuentran los más específicos, como los arquitectónicos, luego pasando por el de perfil de la tubería, tenemos el plano mencionado en el capítulo sobre cartografía, adquirido en el (Instituto Geográfico Agustín Codazzi –IGAC-, los cuales vienen al respaldo de la tapa al final del presente documento.