APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS DE LOS RIOS ANGAMARCA Y SINDE EN LA PROVINCIA DE BOLIVAR PARA EL DESARROLLO DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

Alexandra Lucero Tenorio[1], Christian Letamendi Espinoza[2], Marcelo León Tamayo[3], Juan Saavedra Mera[4]

[1]Ingeniero en Electricidad Especialización Potencia 2006
[2]Ingeniero en Electricidad Especialización Potencia 2006
[3]Ingeniero en Electricidad Especialización Potencia 2006
[4]Director de Tópico. Ingeniero en Electricidad especialización Potencia, Postgrado EE.UU., Universidad Missouri-Rolla 1971, Profesor de ESPOL desde 1971, email: jsaaved@goliat.espol.edu.ec.

RESUMEN

El Instituto Ecuatoriano de Electrificación – INECEL – dedicó gran parte de su esfuerzo en llevar a cabo estudios para la construcción de centrales hidroeléctricas, que hoy en día representan una inversión atractiva para el sector privado a más de ser una solución al problema del sector eléctrico cubriendo parte de la demanda en el país.

Como base para este proyecto fue necesario el reconocimiento del sitio donde se ejecutarán las obras; que se ubican entre las poblaciones de Moraspungo y de El Corazón en las provincias de Bolívar y Cotopaxi; además de la recolección de casi 30 años de datos de las cuencas motivo de este estudio, datos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

Determinar las condiciones hidrológicas, meteorológicas y proyectar la energía para el periodo de vida útil del proyecto fue fundamental para obtener un presupuesto referencial considerando la obra civil, hidráulica, eléctrica, mecánica, gastos financieros, administrativos para elaborar una evaluación económica en un periodo de 50 años estimando todos los costos anuales así como las ganancias producto de implementar esta central hidroeléctrica.

SUMMARY

The Ecuadorian Electrification Institute – INECEL – dedicated a great part of their efforts leading studies for the construction of hydroelectric power stations. Nowadays, these types of power stations represent an attractive inversion for the private sector besides of being the solution to the electrical problem of the country covering a great part of the electricity demand of the citizens.

As a main part of this project, it was necessary the recognition of the locations where the power plants will be constructed, locations between Moraspungo and El Corazón in the Bolívar and Cotopaxi provinces; also the recollection of almost 30

years of data from the rivers provided by the Meteorology and Hydrology National Institute (INAMHI)

Determining the hydrologic and meteorological conditions, and predict the energy required for the whole duration of the project was needed to obtain an initial budget considering: building sites, routes, hydraulics, electrics, mechanicals, and financial and administrative expenses; to elaborate an economic evaluation in a 50 year period project, considering yearly expenses and economical gains obtained by the implementation of this hydroelectric power station.

INTRODUCCION

Con miras a mejorar el sector eléctrico ecuatoriano, hemos planteado como solución la instalación de una pequeña central hidroeléctrica en la cuenca del río Guayas mediante el aprovechamiento de los ríos Angamarca y Sinde para suplir la demanda de energía con la implantación de una central hidroeléctrica de 50 MW.

Hemos tomado como referencia los estudios en factibilidad avanzada elaborados por el INECEL para luego de hacer una completa actualización de datos, entre los cuales constan: los análisis geológicos, hidrológicos y energéticos, fijando un presupuesto referencial, el cual nos permite hacer un análisis económico y financiero, que nos dirá si el proyecto es viable.

CONTENIDO

Las cuencas hidrográficas sobre las que se asientan los esquemas hidroeléctricos de Angamarca y Sinde, pertenecen al sistema hidrográfico Zapotal - Catarama - Babahoyo de la cuenca del río Guayas.

Estas cuencas hidrográficas se originan en la parte central de la sierra ecuatoriana, y pertenecen a la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes, dentro de los meridianos 78°43'11"O y 79°11'05"O, entre los paralelos 01°00'45"S y 01°43'11"S.

Figura 1.- Ubicación Geográfica del Proyecto Angamarca – Sinde

La zona de estudio comprende parcialmente áreas de los cantones de Pangua y Pujilí de la provincia de Cotopaxi y del cantón Guaranda de la provincia de Bolívar. En el interior de esta área se encuentran poblaciones como; El Corazón, Angamarca, Ramón Campaña, Pinllopata, Facundo Vela y Simiatug; el primero de ellos tiene la categoría de Cabecera Cantonal de Pangua; las restantes son cabeceras parroquiales. La superficie total aproximada de las sub-cuencas es de 87500 ha.

El acceso a la zona del proyecto se puede realizar por el litoral. El proyecto dispone de cuatro accesos que lo conectan con la red vial principal del país y con los puertos de Guayaquil y Manta. Los tres primeros parten de puntos ubicados en las carreteras Quevedo – Valencia y Quevedo – Babahoyo y enlazan las poblaciones de Moraspungo y El Corazón, en la provincia de Cotopaxi. El cuarto acceso es la carretera que parte de la población de San Luis de Pambil en la provincia de Los Ríos y que se conecta con la parroquia Facundo Vela en la provincia de Bolívar. Esta vía, desde San Luis de Pambil, se une a su vez con las parroquias Las Naves y Zapotal, que se conectan con la cabecera cantonal de Ventanas, con lo cual queda integrada a la red nacional, al empalmarse con la carretera asfaltada de primer orden Quevedo – Babahoyo.

En cuanto a la ecología, en el área de estudio se identifican cinco zonas de vida pura o asociaciones climáticas, siete transiciones entre zonas de vida y una asociación edáfica en la zona de vida páramo pluvial sub-andino. Estas siete transiciones van desde bosque muy húmedo pre-montano, a los 440 m.s.n.m., pasando por montano bajo hasta páramo pluvial subandino, a los 4510 m.s.n.m., como cota más alta.

Los bosques montanos ubicados en el área de estudio se encuentran poco representados, ya que la vegetación original ha sido reemplazada casi en su totalidad, para dar paso a la agricultura y ganadería.

El páramo se encuentra mejor representado pero también ha sufrido modificaciones, especialmente en las zonas de límite de bosque andino. El páramo soporta un incremento de presiones debido al aumento poblacional que pretende un requerimiento de tierras para pastoreo y cultivo.

Con respecto a la fauna, el área del proyecto presenta tres pisos zoogeográficos: subtropical, desde 800 a 2000 m.s.n.m.; temperado, desde 1800 a 3000 m.s.n.m.; y alto-andino, desde 2800 a 4510 m.s.n.m.

La diversidad en flora y fauna va disminuyendo a medida que se asciende en altitud sobre el nivel del mar. La mayor diversidad de fauna esta representada por las aves, pues existen entre 250 y 300 especies. Otros grupos de animales también están representados con cierta diversidad, como son los anfibios, con 32 especies, reptiles 31 especies y mamíferos 54 especies.

Por todas estas razones la diversidad de fauna podría considerarse de mediana a baja, por la influencia que ejerce la topografía con pendientes muy pronunciadas y por la alta intervención en los bosques, por parte del hombre.

Las sub-cuencas de los ríos Angamarca y Sinde presentan una diversidad íctica, pues cuenta con varias especies migratorias como son el bocachico, las dicas y la corvina de río. Las especies mencionadas desarrollan una migración vertical dos veces al año, de enero a marzo y de julio a agosto, que corresponden a los periodos de mayor pluviosidad.

En la zona la actividad pesquera es incipiente, ya que la densidad poblacional de las especies del lugar es baja. Las especies preferidas por los pescadores son el chame, el bocachico y las dicas. Merece citarse que en las cabeceras de los ríos Angamarca y Sinde existen pequeñas poblaciones de truchas.

En el área del Proyecto existen dos ríos principales: el río Angamarca y el río Piñanato. Estos ríos recorren de Este a Oeste y en la zona corren casi paralelos. La cercanía de sus cauces en la zona de Pihuapungo es la que se aprovechará para el trasvase de las aguas del río Angamarca al río Sinde.

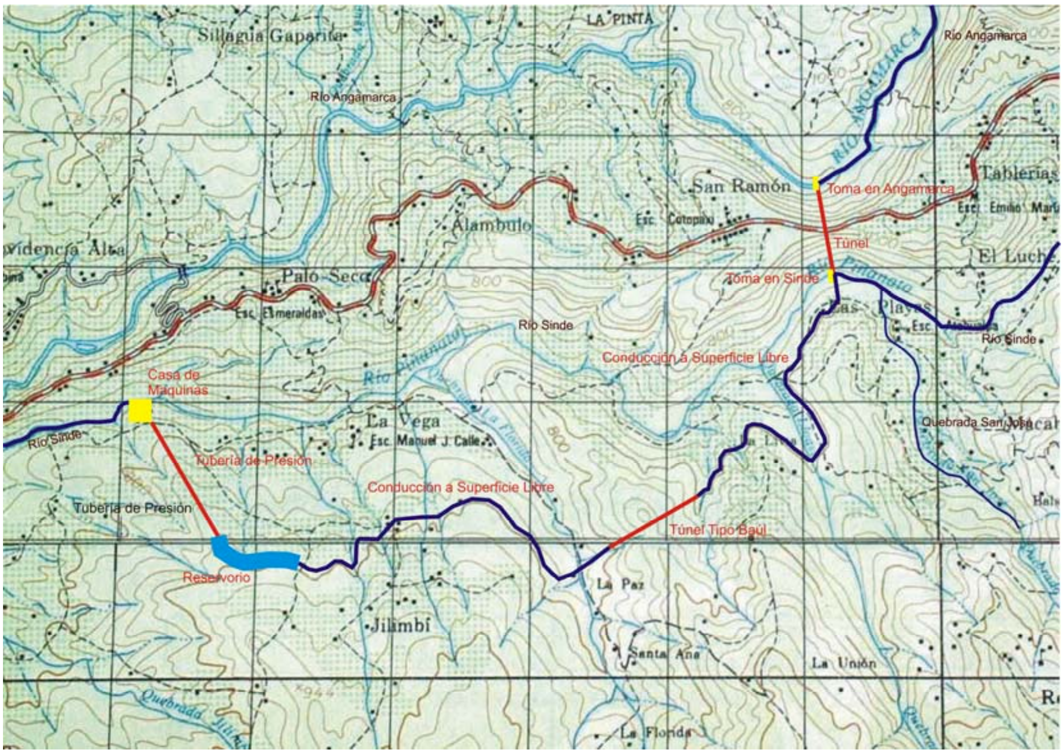

Figura 2.- Esquema General del Proyecto Hidroelèctrico Angamarca – Sinde

Los afluentes principales correspondientes a la cuenca del río Sinde son, las quebradas San José, Llavi y La Florida que desembocan en la margen izquierda. Los caudales de estas quebradas se proyectan como aprovechables para el proyecto. Las quebradas que existen en la zona son tipo intermitente y/o estacionario con cuencas de drenaje muy pequeñas.

El comportamiento hidrológico de la cuenca está influenciado por la distribución, intensidad y duración de las precipitaciones del área en estudio, además, por la forma en que el medio ambiente influye en la administración del recurso. La evaporación directa, la infiltración, la capacidad del suelo para retener el agua, las cubiertas vegetales y la absorción de humedad son factores que afectan la forma en que el agua de lluvia discurre por la cuenca que la recibe.

Las precipitaciones y la forma en que el medio ambiente "administra" la cuenca, determina el comportamiento de los caudales de agua superficiales que se concentran en arroyos y ríos que se acumulan desde las altas cuencas hasta que se cierra el ciclo hidrológico regresando al mar. El camino ideal para conocer el comportamiento de los caudales de una cuenca es contar con mediciones que registren la historia de la misma sobre un largo período de tiempo, con el objeto de determinar los parámetros principales para el diseño de una central hidroeléctrica.

Los caudales medios diarios en los puntos de derivación de los ríos Angamarca y Sinde han sido determinados mediante una aplicación del Método de los Mínimos Cuadrados, llamada Transposición de Caudales.

Seleccionamos la estación más cerca a los puntos de derivación, siendo esta la estación Pilaló en La Esperanza, con la que vamos a calcular los Caudales Medios Diarios en los puntos de derivación. Obteniendo como resultado los siguientes valores:

Tabla 1: Condiciones Hidrológicas Generales del Proyecto Angamarca - Sinde

SITIO/ ESTACION	COTA [msnm]	AREA DE DRENAJE [m^2]	CAUDAL MEDIO [m^3/seg]	COEF DE TRANSPOSICION
Pilaló	920,00	216,00	12,9070	1,0000
Angamarca En la Toma	770,80	435,00	17,6157	1,3648
Sinde en La Toma	763,50	390,00	15,8892	1,2311
Quebrada Llavi	780,00	14,76	0,7209	0,0559
Quebrada La Florida	780,00	18,56	0,8951	0,0694

Cumpliendo con actuales exigencias ambientales se ha considerado un caudal ecológico que es el caudal mínimo considerado en un estudio con el fin de preservar la flora y fauna que rodea el cauce original del río. Para este estudio se ha considerado un caudal ecológico equivalente al 10% del caudal medio de los ríos Sinde y Angamarca.

Para realizar la evaluación económica se procedió a actualizar la información técnica del proyecto que comprende: hidrología en la zona de la cuenca hidroenergética, cálculo de las producciones energéticas, revisión del cronograma de construcción de las obras, presupuesto de construcción, calendario de inversiones y reposiciones intermedias durante la vida útil del proyecto.

De acuerdo con la información hidrológica que recoge 38 años de registros en el río Pilaló, en base a los que se ha podido extender una estadística de caudales para el río Angamarca y Sinde, se calculó la producción energética.

Los cálculos de Potencia Garantizada y Producciones Energéticas fueron calculados mediante el programa Pfirm, software diseñado para realizar estos cálculos en función de proyección de caudales en el tiempo. Obteniendo los siguientes resultados energéticos.

PFIRM - Hydroconditions for Energy (GWh). The probability of each hydrocondition is 10 (%)

Prob (%)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total	Annual
95,00	0,18	0,54	0,64	0,63	0,43	0,36	0,19	0,11	0,10	0,10	0,12	0,08	3,48	37,80
85,00	0,18	11,25	8,11	26,08	8,78	0,89	0,19	0,11	0,10	0,10	0,12	0,08	55,98	115,18
75,00	4,36	23,68	31,18	33,30	21,93	12,12	1,03	0,11	0,40	0,32	0,12	0,08	128,62	170,35
65,00	8,16	30,03	36,00	34,13	31,71	22,64	7,10	1,52	4,33	4,53	0,34	2,19	182,68	218,03
55,00	15,46	32,97	39,71	37,23	32,16	31,18	16,81	5,77	8,57	6,69	10,08	7,79	244,43	274,76
45,00	22,12	44,73	46,72	49,34	33,14	31,36	22,88	12,63	10,65	9,70	15,23	12,06	310,56	344,86
35,00	26,75	56,53	60,08	56,62	35,23	33,48	28,51	19,37	15,23	14,99	23,55	16,42	386,76	397,82
25,00	33,02	64,86	85,81	69,79	39,51	38,82	31,32	25,94	19,75	21,29	31,07	20,73	481,90	515,30
15,00	33,33	102,74	138,13	100,27	50,01	48,11	32,53	32,25	26,02	26,48	32,58	23,87	646,31	575,28
5,00	34,04	246,57	200,71	209,02	74,97	84,67	35,55	33,24	31,67	32,75	35,66	32,23	1.051,07	842,42
Mean	17,76	61,39	64,71	61,64	32,79	30,36	17,61	13,10	11,68	11,69	14,89	11,55	**349,18**	**349,18**

Figura 3.- Condiciones energéticas del Proyecto

El costo de inversión referencial del proyecto está basado en los precios del mercado y no considera la inflación. Los costos de O&M se han estimado como un porcentaje de los costos de inversión, siendo estos iguales al 1,50% . Todos estos costos se resumen en el siguiente cuadro.

Costos de Inversión	90’393.214,00	[US$]
Costos de O&M	1’355898,21	[US$]
Tiempo de Construcción	3	[Años]

Este estudio nos lleva a concluir una sola cosa, el mismo que, luego de actualizar los precios para establecer el presupuesto referencial de la obra y realizar una evaluación económica – financiera, arrojó una tasa interna de retorno (TIR) de alrededor del 15% , la misma que esta tres puntos por encima de la tasa interna de retorno de las entidades bancarias, por lo que el proyecto es factible y por lo tanto se justifica invertir en la ejecución del mismo.

Referencias

1. Alexandra Lucero Tenorio, Christian Letamendi Espinoza, Marcelo León Tamayo. "APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS DE LOS RIOS ANGAMARCA Y SINDE EN LA PROVINCIA DE BOLIVAR PARA EL DESARROLLO DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA", Tesis, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2006.

2. ARCHIBALD JOSEPH MACINTYRE, Máquinas Motrizes Hidráulicas, Editora Guanabara Dois S.A., Rio de Janeiro, 1983.

3. CHERUBINO GUEDES ALESSANDRA (Eng. Eletricista). VIANA ALVES ANA SOFIA (Economista). WILLIAN VIEIRA ANDERSON (Eng. Civil). VERDINI DEMARCUS (Eng. Civil). NASCIMENTO CONCEIÇÃO (Informática). FRAMIL FERREIRA ELIANE (Pedagoga). HORTA NOGUEIRA FABIO JOSE (Eng. Mecânico). TEIXEIRA MENDES MARIA BEATRIZ (Eng. Mecânico). PINTO PINHEIRO RUBENS (Eng. Eletricista). GRANJA JIMENEZ RUTH KATIUSKA (Eng. Mecânico). DE SOUZA BARBOSA TANIA APARECIDA (Bióloga), Projeto de Melhorias Da MCH Da Fazenda Santa Isabel. RHM03 – Energização No Meio Rural Através de PCHs. Escola Federal de Engenharia de ITAJUBA – EFEI. Brasil.

4. DE SOUZA ZULCY, Dimensionamento de Máquinas de Fluxo Turbinas-Bombas-Ventiladores, Editora Edgard Blücher LTDA, Rio de Janeiro, 1991.

5. DE SOUZA ZULCY. SANTOS M ALONSO H. BORTONI C. EDSON DA. Centrais Hidroelétricas. Estudos Para Implantação. Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – Electrobras. Rio de Janeiro, 1999.

6. GRUPO FORMACION DE EMPRESAS ELECTRICAS, Centrales Hidroeléctricas (I) – Conceptos y Componentes Hidráulicos – Información Técnica, España, 1986.

7. GRUPO FORMACION DE EMPRESAS ELECTRICAS, Centrales Hidroeléctricas (II) – Turbinas Hidráulicas – Información Técnica, España, 1986.

8. MONTOYA ANGEL. MSC. Apuntes de Clase del Curso de Hidrología. Guayaquil-Ecuador.

9. MONTOYA ANGEL. MSC. Ingeniería de Recursos Hidráulicos. Guayaquil – Ecuador.

10. RAABE JOACHIM. DR. Hydro Power. The Design, Use, and Function of Hydromechanical, Hydraulic, and Electrical Equipment. Graphischer Betrieb, Konrad Triltsch, Würzburg. Germany. 1984.

11. TUCCI M CARLOS E. Hidrologia. Ciência e Aplicação. Editora da Universidade. Segunda Edição. Porto Alegre. 2001.

12. ZUBICARAY VIEJO Y ALONSO, Energía Eléctrica, Turbinas y Plantas Generadoras, Editorial Limusa, México, 1977.

13. AUGUSTO NELSON CARVALHO VIANA Y EDSON DE COSTA BORTONI, OPERAÇÃO DE TURBINAS HIDRÁULICAS E REGULADORES DE VELOCIDADE, Editorial fupai, Río de Janeiro, 2002.