Aprovechamiento de las Aguas del Río Luis para la Producción de Energía Eléctrica

Pablo Luna Muñoz
Carlos Sánchez Arboleda
Víctor Zúñiga Guachichulca
Juan Saavedra Mera
Egresados, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación (FIEC), Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Director de Tópico, Ingeniero en Electricidad especialización Potencia, Postgrado EE.UU, Universidad Missouri-Rolla 1971, Profesor de ESPOL desde 1971
Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral. Apartado 09-01-5863. Guayaquil - Ecuador
pluna@espol.edu.ec., clsanche@espol.edu.ec, vzuniga@espol.edu.ec, jsaaved@espol.edu.ec

Resumen

Todos los años nuestro país tiene problemas de racionamiento de energía eléctrica, lo cual se debe a distintos factores; uno de ellos es el alto precio de la energía, una de las más altas de la región, producto de la dependencia de generación térmica. Otro factor es nuestra dependencia al mayor proyecto de generación eléctrica del país, Paute – Molino, el cual entrega un gran porcentaje de la energía eléctrica consumida. A pesar de esto, en los meses de estiaje su capacidad instalada es desaprovechada por la falta de recurso hídrico, es ahí cuando ocurren los cortes de energía. Para enfrentar estos problemas es necesario impulsar los proyectos de generación hidroeléctrica de la cuenca del Puyango, los cuales son capaces de proveer energía durante estos meses de estiaje y reemplazar energía termoeléctrica durante el resto del año, consiguiendo con esto bajar el precio de la energía eléctrica. En particular, esta tesis analiza la posibilidad de desarrollar una central hidroeléctrica, en el río Luis en el proyecto denominado Río Luis.

Palabras claves: *proyecto Río Luis, generación hidroeléctrica, recurso hídrico*

Abstract

Every year our country has electric energy rationing problems, which owes to different factors; one of them is the high price of the energy, one of the highest of the region, product of the dependence on thermal generation. Another factor is the dependence on our biggest electrical generation project, Paute - Molino, which delivers a large percentage of the electric energy of our country. Despite this, in the drought months its installed capacity is missed because of the lack of water resource, it is then when energy rationing occurs. To face these problems it is necessary to boost hydroelectric projects of the basin of Puyango, which are capable of providing energy during these drought months and replacing thermoelectric energy during the rest of the year, obtaining with this to low the energy price. Particularly, this thesis analyzes the possibility of development a hydroelectric plant, in Luis River, in the project called Luis River.

Key words: *Luis River project, hydroelectric generation, water resource*

1. Introducción

Nuestro país es rico en recurso hidrológico, es por eso que el agua no es solo un recurso de subsistencia, sino que también era una fuente potencial energética. En la actualidad los avances tecnológicos nos permiten explotar los recursos hídricos eficientemente.

Las condiciones actuales en las que se encuentra el sector eléctrico del Ecuador nos indican que es imprescindible impulsar proyectos de generación eléctrica para suplir la demanda, la cual año a año sigue incrementándose. Considerando el alto potencial hidroeléctrico que tiene nuestro país, es recomendable invertir en este tipo de generación; sin embargo, los grandes proyectos hidroeléctricos requieren de una alta inversión, razón por la cual la ejecución de centrales pequeñas es una salida real y a corto plazo a la crisis del sector.

El proyecto Río Luis está ubicado en la provincia de El Oro en el límite de los cantones Portovelo y Zaruma sin embargo, el recurso hídrico se genera a unos 20 Km. de la ciudad de Zaruma.

Este proyecto está diseñado para funcionar como central de pasada a lo largo del Río Luis.

2. Antecedentes y Justificación

Para la realización de este proyecto se dispone de información hidrológica de la estación Pindo AJ Amarillo, desde el año 1964 hasta 2005.

Debido a que a los pies del río Luis existe una estación hidrométrica, y no se dispone de un historial de caudales para la toma de este proyecto; se ha realizado un estudio previo con el fin de transponer la serie de caudales mensuales promedio disponibles del río en cuestión.

3. Hidrología

3.1. Alcances del Análisis Hidrológico

En el análisis hidrológico se proporcionan los resultados de la evaluación del recurso hídrico en la subcuenca del río Luis, mediante la determinación de caudales disponibles para la generación de electricidad dentro de un esquema determinado de funcionamiento. El dimensionamiento de las obras civiles y electromecánicas se realiza en base al caudal de diseño, el cual busca maximizar la producción de energía mediante la selección de las mejores características técnico-económicas del proyecto.

Debido a que no existe una estación hidrométrica a las orillas del río Luis, cuyo recurso hídrico se pretende aprovechar, no se dispone de un historial de caudales, por tal razón se han transpuesto los caudales de la estación río Pindo AJ Amarillo (estación base) hasta el sitio de interés. Se conocen los caudales promedio mensuales de la estación base desde el año 1964 hasta 2005.

Mediante la aplicación de métodos estadísticos se estiman los caudales máximos esperados durante el tiempo de vida útil de la planta, necesarios para el dimensionamiento de las obras civiles, principalmente para la evacuación de los caudales excedentes.

3.2. Descripción general de la cuenca

El proyecto está ubicado en las provincias de El Oro, siendo el origen del recurso hídrico entre los cantones Zaruma y Portovelo. Los principales caminos para acceder al sitio son por las ciudades de Portovelo y Curtincapa.

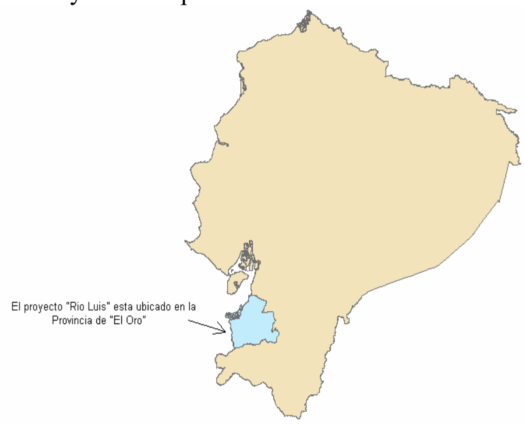

Figura 1. Ubicación del proyecto

El área de drenaje del río Luis hasta el sitio de captación a 1200 msnm cubre un área de 141.09 km2. El punto más alto que corta la línea divisoria de la cuenca está ubicado a 3600 msnm y el más bajo a 900 msnm (casa de máquina).

Los principales centros poblados ubicados dentro de la cuenca son Portovelo, Zaruma, Curtincapa, Morales y Guizhaguiña. Potenciales centros de consumo son Zaruma y Portovelo; además de otras pequeñas poblaciones ubicadas en los alrededores del rio Luis.

3.3. Análisis Hidrológico

Se transpuso los caudales de la estación metereológica río Pindo AJ Amarillo a la toma de captación (cota 1200 msnm).

Tabla 1. Características físicas hidrológicas en puntos importantes del proyecto.

Característica	Est Base 610 – E Base 610	Est Base 610 – P-RL 1200
Sin incluir PMP	1	0,279
Incluyendo PMP	1	0,285

Los coeficientes de transposición para determinar los caudales en los puntos de captación en el río Luis, se han calculado relacionando el área de drenaje y la precipitación media ponderada de la estación base con aquellas de cada punto de captación.

3.3.1. Meteorología. La información meteorológica se obtiene a partir de los registros de la estación río Pindo AJ Amarillo, desde 1964 hasta 2005.
En esta sección se presentan valores relevantes análisis de crecidas, el cual fue obtenido por el método estadístico de Gumbel.

Considerando 50 años como el tiempo de vida útil de este tipo de proyectos, se aplicó el método estadístico de Gumbel tipo I para realizar el análisis de crecidas, obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Caudales máximos esperados en un período de retorno de 100 años.

Probabilidad de ocurrencia		0.010
Caudal máximo esperado (m3/seg)	Estación Río Pindo AJ Amarillo	133,33
	Río Luis - 1200 msnm	38

3.4. Curvas de caudales

A partir de los caudales transpuestos se presenta la curva de duración de caudales en el río Luis, a 1200 m.s.n.m.

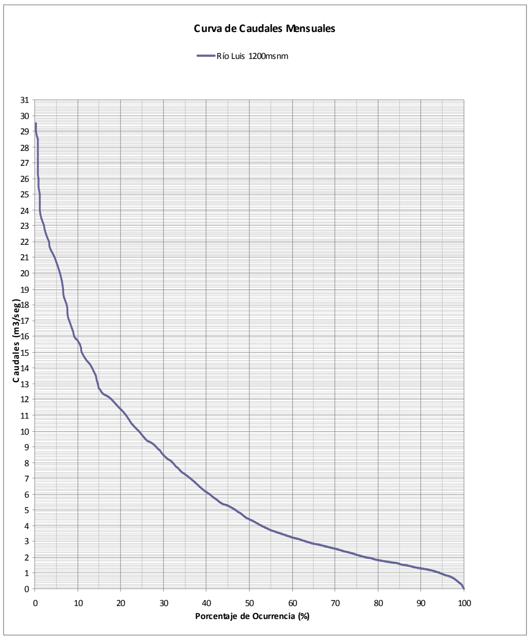

Figura 2. Curva de duración de caudales.

Considerando un caudal ecológico igual al 10% del caudal medio, se obtuvieron los valores que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 3. Caudales importantes del proyecto río Luis.

Altura (msnm)	1200
$q_{diseño}$ (m^3/s)	6.00
q_{medio} (m^3/s)	6.08
q50 (m^3/s)	4.40
q90 (m^3/s)	1.30
$q_{ecológico}$ (m^3/s)	0.68

4. Producciones Energéticas

La determinación probabilística de las producciones energéticas es un análisis indispensable para conocer la rentabilidad de un proyecto energético durante su tiempo de vida útil. Para el caso de este proyecto hidroeléctrico, cuyo tiempo de vida útil es de 50 años, el análisis consiste en analizar proyecciones de producción de energía eléctrica de la central, basándose en registros históricos de los caudales mensuales promedio del Río Luis.

Para el cálculo de las producciones energéticas se han empleado hojas de cálculo de EXCEL. En este análisis se obtienen datos como energía mensual promedio producida, caudales turbinados, producción firme, entre otros.

4.1. Metodología de Cálculo

En la simulación de las producciones energéticas de este proyecto se analiza la central río Luis en la cota (1200) respectivamente.

Para esto se especifican las características de la central, como la caída neta, caudal de diseño, potencia instalada, punto de captación, entre otras.

4.2. Resultados del proyecto río Luis

En las siguientes tablas se observan los valores promedio anual de los principales parámetros que predicen los niveles de generación que la central puede alcanzar.

Estos factores son de enorme importancia al momento de realizar el Análisis Económico del Proyecto Hidroeléctrico río Luis.

4.2.1. Resultados Proyecto río Luis

Tabla 4. Resultados para la toma 1200

RIO LUIS	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	promedio
Caudales promedios de la serie sintética generada (m3/seg.)	7.34	12.29	13.95	12.36	8.73	5.24	3.42	2.42	2.07	2.09	2.05	3.48	6.25
Caudal turbinado promedio generado (m3/seg.)	4.93	5.43	5.66	5.52	5.49	4.67	3.40	1.57	1.41	1.32	1.27	1.32	3.49
Caudal excedente promedio generado (m3/seg.)	2.41	6.86	8.29	6.85	3.24	0.57	0.02	0.85	0.65	0.77	0.78	2.15	2.76
Capacidad promedio mensual generada (MW)	13.87	14.16	14.44	14.32	14.35	14.24	13.67	4.36	3.84	3.45	3.36	3.59	9.80
Generación promedio mensual generado (GWh)	9.36	9.26	10.67	10.08	10.37	8.62	6.59	3.11	2.71	2.61	2.43	2.62	78.44

PRODUCCION FIRME	
Energía Firme (GWh)	60.73
Capacidad Firme (MW)	8.63

5. Diseño de Obras

El diseño del Proyecto Hidroeléctrico Río Luis se realiza tomando como base el Informe de Prefactibilidad de Centrales Hidroeléctricas de Mediana Capacidad realizado por INECEL, debido a que por ser proyectos de capacidades similares, su diseño estructural y de operación no varían significativamente en sus principales características constructivas, las cuales son: Obras Civiles e Hidráulicas, Equipo Mecánico y Equipo Eléctrico.

5.1. Partes constitutivas del Proyecto Hidroeléctrico Río Luis.

Las obras civiles e hidráulicas con las que cuenta la central que conforman el Proyecto Hidroeléctrico Río Luis son:

1) Obras de Toma
2) Desarenador
3) Obras de conducción
4) Obras de arte en la conducción
5) Tanque de presión
6) Tubería de presión
7) Casa de maquinas
8) Canal de restitución

Los principales componentes mecánicos que conforman el Proyecto Hidroeléctrico Río Luis son:

1) Turbinas
2) Válvula de entrada
3) Reguladores
4) Compuertas

Los equipos eléctricos con el cual estará en funcionamiento el Proyecto Hidroeléctrico Río Luis son:

1) Generadores
2) Disyuntores de unidad
3) Transformador principal
4) Sistemas de Servicios Auxiliares
5) Subestación

6. Presupuesto de obra.

6.1. Actualización de precios

Se realizo una actualización de costos de los materiales para la construcción de la central, así como del costo de equipos electromecánicos e hidromecánicos. Para esta actualización se tomo como referencia precios dados por la compañía de consultores en ingeniería Caminosca S.A. en enero del 2006 y un presupuesto dados por la compañía Chongqing Water Turbine Works de fabricación China en enero del 2006. Luego estos valores de costo en dólares americanos del 2006 fueron llevados a dólares americanos del 2009, mediante la fórmula de interés compuesto, con una tasa de interés (o inflación) de 3% (El valor de esta tasa, es un promedio anual de inflación).

6.2. Resumen de costos de obras.

Los costos directos de construcción (C.D.C) de obra para todo el proyecto se han divido en dos partes:

La primera parte es el presupuesto de obra civil, que comprende la construcción de la bocatoma, azud, desarenador, canal, etc.

La segunda parte es el costo de los equipos electromecánicos e hidromecánicos, que corresponde a ítems como generadores, turbinas, válvulas, etc.

Adicionalmente se ha considerado un costo del 7% de los C.D.C por concepto de ingeniería y administración, y otro costo del 5 % de los C.D.C por concepto de imprevistos.

A continuación se presente en detalle el presupuesto individual de la central

6.2.1. Proyecto río Luis

A continuación se presenta la tabla 7, que contiene el resumen de costos de obra.

Tabla 7.

RESUMEN GENERAL :	SUBTOTAL USD/Americanos	%
OBRA CIVIL	**10.510.322,12**	**50,5%**
Bocatoma Río Luis	1.512.151,87	7,3%
Conducción	4.749.479,17	22,8%
Conduccion a baja presión y Chimenea	194.742,93	0,9%
Tubería de Presión	600.368,76	2,9%
Casa de Máquinas	841.375,01	4,0%
Terrenos y Servidumbres	380.579,85	1,8%
K. Accesos	1.687.939,03	8,1%
N. Medidas de Mitigación Ambiental	543.685,50	2,6%
EQUIPOS	**10.288.428,21**	**49,5%**
Equipos Electromecánicos	5.291.686,62	25,4%
Equipos Hidromecánicos	4.996.741,59	24,0%
COSTO DIRECTO DE CONSTRUCCION =	20.798.750,33	100,0%
Ingeniería y Administración (7%) =	1.455.912,52	
Imprevistos (5%) =	1.112.733,14	
COSTO TOTAL DE CONSTRUCCION =	23.367.395,99	
Impuesto al Valor Agregado - IVA =	2.804.087,52	
INVERSION TOTAL DEL PROYECTO =	**26.171.483,51**	
COSTO USD/Kw =	**1.767,63**	

La construcción de la central río Luis, se ha presupuestado en $26'171.483. Para esta central de 14,806 MW, se ha calculado que su costo por KW instalado es de $1.767,63

7. Evaluación económica.

En el presente capítulo se ha realizado la evaluación económica de la central del proyecto río Luis, para lo cual se ha considerado la venta de la energía a generar al precio establecido por el CONELEC.

También se detalla las hipótesis de cálculo, dentro de la cual encontramos parámetros como remuneración por CER, años de vida útil, gastos por concepto de operación y mantenimiento (O&M), y seguros, para cada central.

Finalmente se realiza la determinación del TIR y el VAN con su respectivo análisis.

7.2. Precio de venta de Energía y Potencia.

Para este cálculo se multiplica la energía eléctrica generada mensualmente por el valor de venta de energía regulado por el CONELEC, que estimando para los primeros cinco años tendrá un valor de 3,5 cUSD/KWh y los años restantes 3 cUSD/KWh.

A continuación se presenta la tabla 10, que contiene la lista de precios de venta de energía y potencia en los cinco años.

Tabla 10.

Energia	3,5	cUSD/KWh
Potencia	1,0	cUSD/KWh

Además se estima el costo en los años restantes en la siguiente tabla 11.

Tabla 11.

Energia	3,0	cUSD/KWh
Potencia	1,0	cUSD/KWh

7.1. Análisis económico.

A continuación se presentan las hipótesis, cálculos y resultados obtenidos del análisis económico del proyecto Río Luis:

Una vez obtenido los ingresos y el presupuesto de construcción, se planteo el análisis económico donde se ha tomado las siguientes consideraciones:

La obra civil tiene 50 años de vida útil, mientras que los equipos electromecánicos e hidromecánicos tienen 30 años de vida útil.

Para determinar los costos por operación y mantenimiento, se ha considerado 20 personas de carácter técnico que laborarán en las diferentes centrales, con un sueldo promedio mensual de $ 1000.

Además se han considerado 10 personas para desarrollar trabajos de limpieza en reservorios, diques, bocatomas, etc., con un sueldo promedio de $ 400 mensuales

Se ha establecido $ 30.000 mensuales como rubro destinado para gastos administrativos para cada central, así como también $ 60,000 por concepto de repuestos pequeños o cualquier eventualidad que se presentare durante la operación de la central.

Cabe resaltar que habrá un gasto cada 10 años de aproximadamente $ 400.000 para renovar los equipos electrónicos. Esto se debe a que estos equipos tienen 10 años de vida útil.

Otro parámetro importante es el costo anual del seguro, el cual se ha calculado como un 0.5% de la inversión para la construcción de la central.

Un rubro importante de ingreso para el presente proyecto es la remuneración por CER, el cual se negociará a un precio de $ 13,9 esperando que con este precio se obtenga un anticipo para la construcción de la central.

El valor total a recibir por concepto de CER en 10 años es de $ 7'350.236,60 el cual representa el 35% de la inversión.

7.1.3. Resumen Proyecto Río Luis

En la tabla 12 se muestra un resumen de los parámetros considerados para la evaluación económica de la central ubicada en la toma 1200.

Tabla 12.

Inversión	$ 26.171.483,51
Costo O&M	$ 380.000,00
Seguro	$ 122.842,45
Cambio equipos (30 años)	$ 400.000,00
Vida útil (años)	30
Remuneración por CER	
Monto	$ 7.350.236,60
% de Inversión	35%
% CER para año 0	30%
CER año 0	$ 2.205.070,98
CER por año (1-7)	$ 735.023,66
Financiamiento Privado o del Estado	
Préstamo	$ 23.966.412,53
Interés	10%

Resultados del TIR y VAN.- El monto del Valor Actual Neto (VAN) que se obtuvo con un interés del 12,69% es de seis millones novecientos dieciséis mil seiscientos treinta y ocho dólares.

De igual forma, del análisis económico se obtuvo una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 17,35%

A continuación se resumen estos resultados.

TIR = 17,35%

VAN (12,69 %) = 6’916,638 dólares

Estos valores indican que el proyecto es recomendable para que lo ejecute el Gobierno, pero bajo los parámetros considerados.

8. Conclusiones y Recomendaciones

Damos por confirmado mediante esta tesis la propuesta impartida por ex Inecel el cual confirma una potencia instalada de 14,806 Mw.

Mediante los estudios hidrológicos realizado con el programa arc map, con las curvas isoyetas obtuvimos el coeficiente de transposición para referirnos desde el punto donde se encuentra la estación hidrológica hasta el punto de captación de las aguas del proyecto.

La construcción de la central río Luis ubicada en la cota 1200 msnm, se ha presupuestado en $ 26.171.483,51. Con este valor, para esta central de 15 MW, se ha calculado que su costo por KW instalado es de $1,767.63.

El monto del Valor Actual Neto (VAN) que se obtuvo con un interés del 12,69% es de $ 6’916.638 mientras que al evaluar con la tasa del WACC (28,45%) el VAN es de ($ 8’066.988). De igual forma, del análisis económico.

Para pronosticar los valores de caudales de producciones energéticas, se usaron caudales obtenidos mediante el método de transposición desde la estación Rio Pindo AJ Amarillo en Portovelo, por lo que se recomienda se realice la medición de los caudales del río Luis en el sitio de toma, para llevar así un registro real.

Finalmente, se recomienda al Gobierno que inviertan en esta central de río Luis, aprovechando que estas pequeñas centrales hidroeléctricas tienen beneficios que incentivan su desarrollo, tales como, libres de Impuesto al Valor Agregado, venta de Certificados de Reducción de Emisiones de Carbono (CER - Tratado de Kyoto).

9. Referencias

[1] Luna Muñoz, Pablo; Sánchez Arboleda, Carlos; Zúñiga Guachichulca, Victor: “APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS DEL RÍO LUIS PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA”.

[2] Ortiz Vera, Oswaldo: “EVALUACIÓN HIDROLÓGICA”

[3] Cartas ArcView del Ecuador (1:250000) Instituto Geográfico Militar – 2005

[4] Anuarios Meteorológicos e Hidrológicos del INAMHI (1964-2005)

[5] http://www.conelec.gov.ec/ “PRECIOS DE LA ENERGÍA”.