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

Luis Aguirre Mateus
Alexs Jácome Freire
Gabriel Orquera Noboa
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
javirox_88@hotmail.com, gabrielorq@hotmail.com, alexseduardo@hotmail.com, jsaaved@espol.edu.ec

Resumen

Año tras año nuestro país ha tenido 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 Guayas, 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 desarrollo de tres centrales hidroeléctricas en cascada, en el río Cristal "Proyecto Balsapamba".

Palabras claves: *proyecto Balsapamba, generación hidroeléctrica, recurso hídrico,*

Abstract

Year by year our country has had 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 Guayas, 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 developing three hydroelectric plants one after another, in Cristal River, "Balsapamba Project".

Key words: *Balsapamba project, hydroelectric generation, water resource,*

1. Hidrología

1.1. Alcances del Análisis Hidrológico

En el análisis hidrológico se proporcionan los resultados de la evaluación del recurso hídrico en la cuenca del río Cristal, 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.

Se presentan los valores característicos de temperatura, humedad relativa y precipitación del sitio, para la programación de trabajos a cielo abierto durante la construcción y para la selección de los equipos de acuerdo a su rango climático de operación.

Debido a que no existe una estación hidrométrica a las orillas del río Cristal, 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 Echeandía en Echeandía (estación base) hasta el sitio de interés. Se conocen los caudales promedio mensuales de la estación base desde el año 1965 hasta 1999.

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.

1.2. Descripción general de la cuenca

El proyecto está ubicado en las provincias de Bolívar y Los Ríos, siendo el origen del recurso hídrico la provincia de Bolívar. Los principales caminos para acceder al sitio son desde la costa, siguiendo la ruta Babahoyo – Montalvo – Balsapamba; y desde la sierra, por la vía Guaranda – San Miguel – Balsapamba.

Figura 1. Ubicación del proyecto

La cuenca de drenaje del río Cristal hasta el sitio de captación a 200 msnm cubre un área de 169 km2. El punto más alto que corta la línea divisoria de la cuenca está ubicado a 3040 msnm y el más bajo a 140 msnm (casa de máquinas del último proyecto en cascada).

Los principales centros poblados ubicados dentro de la cuenca son Balsapamba, Las Peñas, Chaupiyacu, El Limón y las afueras de Juan Montalvo. Potenciales centros de consumo son Babahoyo, Juan Montalvo, Balsapamba y San Miguel; además de otras pequeñas poblaciones ubicadas en los alrededores del rio Cristal.

1.3. Análisis Hidrológico

Antes de realizar la transposición de caudales, se ha verificado que exista una similitud física-hidrológica entre las cuencas correspondientes al río Cristal (proyecto Balsapamba) y al río Soloma (estación Echeandía en Echeandía).

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

Característica	Estación Echeandía	BA-B	BA-M	BA-A1
Altitud de la toma (msnm)	320	200	360	760
Perímetro (km)	85	59	55	44
Área Drenaje (km2)	365	169	164	96
Índice de Compacidad	1.252	1.272	1.206	1.261
Máx. Recorrido (km)	34.6	22.9	18.7	12.8
Factor de forma	0.305	0.322	0.468	0.583
Relación de Confluencias	4.230	1.805	1.805	4.230
Alt. Media del relieve (msnm)	1607	1548	1581	1855
Coeficiente Orográfico	7078	14171	15211	35877

Adicionalmente, se verificó que las isoyetas

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

1.3.1. Meteorología. La información meteorológica se obtiene a partir de los registros de la estación Balsapamba, desde 1982 hasta 1990, año en que dicha estación meteorológica dejó de funcionar. En esta sección se presentan valores relevantes de temperatura y pluviometría; además se incluye el análisis de crecidas.

La temperatura cerca de las obras de captación se ha mantenido entre los 15 y 30°C, con un valor promedio de 20°C. La máxima precipitación registrada entre 1982 y 1997 es de 103.5mm.

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 Echeandía	467
	Río Cristal - 200 msnm	217
	Río Cristal - 360 msnm	211
	Río Cristal - 720 msnm	123

1.4. Curvas de caudales

A partir de los caudales transpuestos se presenta la curva de duración de caudales en el río Cristal, a 720 m.s.n.m.

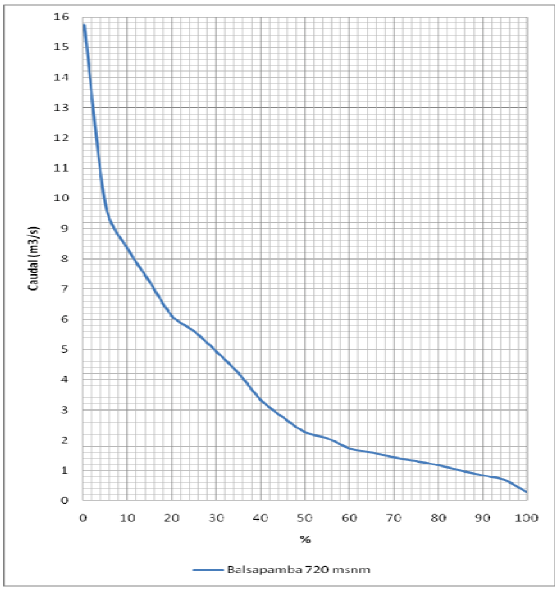

Figura 1. Curva de duración de caudales.

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 Balsapamba.

Altura (msnm)	720	360	200
$q_{diseño}$ (m^3/s)	3.31	6.08	6.30
q50 (m^3/s)	1.90	3.49	3.88
q90 (m^3/s)	0.47	0.86	0.89
$q_{ecológico}$ (m^3/s)	0.37	0.68	0.70

4. Descripción de las alternativas

El proyecto Balsapamba se ha establecido como tres centrales hidroeléctricas en cascada; es decir, son no excluyentes. Las obras de toma se encuentran ubicadas a las orillas del río Cristal, en las cotas 720 (Balsapamba Alto), 360 (Balsapamba Medio) y 200 (Balsapamba Bajo).

En la tabla 4 se presentan las principales características de las centrales que conforman este proyecto.

Tabla 4. Principales características de las centrales que conforman el Proyecto Balsapamba.

Alternativa	BA-A1	BA-M	BA-B
Cota de cierre (msnm)	720	360	200
Cota de restitución (msnm)	400	240	140
Caída neta (m)	320	120	60
Caudal de diseño (m3/s)	3.31	6.08	6.30
Caudal firme (m3/s)	0.47	0.86	0.89
Potencia Instalada (MW)	9.38	6.45	3.34
Conducción (m)	6032	3136	568
Tubería de Presión	907	412	601
Longitud total de túnel (m)	150	-	-

4. Diseño de Obras

El diseño del Proyecto Hidroeléctrico Balsapamba se realiza tomando como base el Informe de Prefactibilidad de Centrales Hidroeléctricas de Mediana Capacidad Grupo 3: Chanchan, Echeandía y Caluma 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.

4.1. Partes constitutivas del Proyecto Hidroeléctrico Balsapamba

Las obras civiles e hidráulicas con las que cuenta las tres centrales que conforman el Proyecto Hidroeléctrico Balsapamba son:

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

Los principales componentes mecánicos que conforman el Proyecto Hidroeléctrico Balsapamba son:

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

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

1) Generadores

2) Disyuntores
3) Transformadores
4) Sistemas de Servicios Auxiliares
5) Subestaciones

5. Presupuesto de obra.

5.1. 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 precios dados por el Departamento de Planificación del Consejo Provincial del Guayas en junio del 2006. Luego estos valores de costo en dólares americanos del 2006 fueron llevados a dólares americanos del 2008, mediante la fórmula de interés compuesto, con una tasa de interés (o inflación) de 2.5% (El valor de esta tasa, es un promedio anual de inflación).

5.2. Resumen de costos de obras.

Los costos directos de construcción (C.D.C) de obra para las tres centrales se han divido en tres 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.

La tercera parte es el costo global de construcción de la subestación.

Adicionalmente se ha considerado un costo del 10% de los C.D.C por concepto de ingeniería y administración, y otro costo del 8 % de los C.D.C por concepto de imprevistos. Sin embargo es importante resaltar que este tipo de proyectos está exento de pago del IVA.

5.2.1. BA-A1.

A continuación se presenta la tabla 5, que contiene el resumen de costos de obra.

Tabla 5.

RESUMEN GENERAL	SUBTOTAL	%
OBRA CIVIL	**$ 7,699,136.07**	**49.00%**
AZUD Y BOCATOMA	1,142,864.83	7.27%
DESARENADOR	146,592.99	0.93%
CONDUCCION: CANAL	1,933,240.51	12.30%
CONDUCCION: TUNEL	64,984.97	0.41%
ALIVIADEROS TIPO	453,237.36	2.88%
PASOS DE AGUA	49,689.23	0.32%
RESERVORIO DE REGULACIÓN DIARIA	800,741.87	5.10%
TANQUE DE CARGA	8,194.40	0.05%
TUBERIA DE PRESION	2,022,369.87	12.87%
CASA DE MAQUINAS	172,248.65	1.10%
CANAL DE RESTITUCIÓN	15,194.98	0.10%
TERRENOS Y SERVIDUMBRES	419,776.40	2.67%
CAMINOS DE ACCESO	270,000.00	1.72%
MEDIDAS DE MITIGACION AMBIENTAL	200,000.00	1.27%
EQUIPOS	**$ 6,045,654.60**	**38.48%**
EQUIPAMIENTO ELECTRO - MECANICO	5,844,418.27	37.20%
EQUIPOS HIDRO-MECANICOS	201,236.32	1.28%
SUBESTACION	**$ 1,966,309.13**	**12.52%**
Costo Directo de Construcción	15,711,099.80	100%
Ingeniería y Administración (10% C.D.C.)	1,571,109.98	---
Imprevistos (8% C.D.C.)	1,256,887.98	---
COSTO TOTAL DE CONSTRUCCION DEL PROYECTO	**$ 18,539,097.76**	---

La construcción de la primera central ubicada en la cota 720, se ha presupuestado en $18’593,098. Para esta central de 9.38 MW, se ha calculado que su costo por KW instalado es de $1,976.45

5.2.2. BA-M.

A continuación se presenta la tabla 6, que contiene el resumen de costos de obra.

Tabla 6.

RESUMEN GENERAL	SUBTOTAL	%
OBRA CIVIL	**$ 7,745,339.88**	**56.25%**
AZUD Y BOCATOMA	1,501,548.72	10.90%
DESARENADOR	216,496.75	1.57%
CONDUCCION: CANAL	1,631,929.80	11.85%
ALIVIADEROS TIPO	453,237.36	3.29%
PASOS DE AGUA	23,410.84	0.17%
RESERVORIO DE REGULACIÓN DIARIA	1,141,587.19	8.29%
TANQUE DE CARGA	20,827.92	0.15%
TUBERIA DE PRESION	1,716,483.79	12.47%
CASA DE MAQUINAS	172,248.65	1.25%
CANAL DE RESTITUCIÓN	22,792.47	0.17%
TERRENOS Y SERVIDUMBRES	419,776.40	3.05%
CAMINOS DE ACCESO	225,000.00	1.63%
MEDIDAS DE MITIGACION AMBIENTAL	200,000.00	1.45%
EQUIPOS	**$ 4,357,620.43**	**31.64%**
EQUIPAMIENTO ELECTRO - MECANICO	4,123,170.03	29.94%
EQUIPOS HIDRO-MECANICOS	234,450.40	1.70%
SUBESTACION	**$ 1,667,380.37**	**12.11%**
Costo Directo de Construcción	13,770,340.68	100%
Ingeniería y Administración (10% C.D.C.)	1,377,034.07	---
Imprevistos (8% C.D.C.)	1,101,627.25	---
COSTO TOTAL DE CONSTRUCCION DEL PROYECTO	**$ 16,249,002.01**	---

La construcción de la segunda central ubicada en la cota 360, se ha presupuestado en $16’249,002. Para esta central de 6.45 MW, se ha calculado que su costo por KW instalado es de $2,519.23

5.2.3. BA-B.

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

Tabla 7.

RESUMEN GENERAL	SUBTOTAL	%
OBRA CIVIL	**$ 6,513,350.76**	**57.44%**
AZUD Y BOCATOMA	1,501,548.72	13.24%
DESARENADOR	216,496.75	1.91%
CONDUCCION: CANAL	476,558.96	4.20%
ALIVIADEROS TIPO	332,529.91	2.93%
PASOS DE AGUA	0.00	0.00%
RESERVORIO DE REGULACIÓN DIARIA	1,141,587.19	10.07%
TANQUE DE CARGA	20,827.92	0.18%
TUBERIA DE PRESION	1,716,483.79	15.14%
CASA DE MAQUINAS	172,248.65	1.52%
CANAL DE RESTITUCIÓN	22,792.47	0.20%
TERRENOS Y SERVIDUMBRES	419,776.40	3.70%
CAMINOS DE ACCESO	292,500.00	2.58%

MEDIDAS DE MITIGACION AMBIENTAL	200,000.00	1.76%
EQUIPOS	**$ 3,740,140.55**	**32.98%**
EQUIPAMIENTO ELECTRO - MECANICO	3,533,080.78	31.16%
EQUIPOS HIDRO-MECANICOS	207,059.78	1.83%
SUBESTACION	**$ 1,085,436.16**	**9.57%**
Costo Directo de Construcción	11,338,927.47	100%
Ingeniería y Administración (10% C.D.C.)	1,133,892.75	---
Imprevistos (8% C.D.C.)	907,114.20	---
COSTO TOTAL DE CONSTRUCCION DEL PROYECTO	**$ 13,379,934.42**	---

La construcción de la tercera central ubicada en la cota 200, se ha presupuestado en $13'379,934. Para esta central de 3.34 MW, se ha calculado que su costo por KW instalado es de $4,005.97

6. 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 generar proyecciones de producción de energía eléctrica de cada una de las centrales, basándose en registros históricos de los caudales mensuales promedio del Río Cristal. Para el cálculo de las producciones energéticas se ha empleado un software denominado PFIRM, el cual utiliza modelos estocásticos para la elaboración de series numéricas. En este análisis se obtienen datos como energía mensual promedio producida, potencia mensual pico disponible, caudales turbinados, operación de embalses, producción firme, entre otros.

6.1. Ingreso de datos en Pfirm

En la siguiente tabla se muestra los principales datos que el programa Pfirm necesita para generar la proyección de caudales y potencias

Tabla 8. Datos de diseño

	BA-B	BA-M	BA-A1
Tipo de central	De pasada	De pasada	De pasada
Potencia Instalad (MW)	3.34	6.45	9.38
Altura Neta (m)	60.00	120.00	360.00
Caudal de diseño (m^3/s)	6.30	6.08	2.04
Eficiencia de la turbina (%)	92	92	92
Efic. del generador (%)	98	98	98
Factor de salida (%)	3	3	3

El orden a seguir para ingresar los datos y obtener las tablas de datos y gráficos deseados son los descritos a continuación:

1) Datos Generales para la Hidrología
2) Datos generales para la operación del sistema.
3) Características de la Central.
4) Pérdidas de altura en la restitución y capacidad de generación de reserva.
5) Datos de simulación de operación
6) Ingreso de la tabla de caudales
7) Serie estocástica generada

6.2. Resultados de simulación en Pfirm

En la siguiente tabla se observa el valor 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 Balsapamba.

Tabla 9. Resultados de simulación para la toma 200 en Pfirm

	BA-B	BA-M	BA-A1
Caudal Esperado (m3/s)	6.46	6.25	3.91
Caudal Turbinado (m3/s)	3.95	3.79	2.27
Caudal Excedente (m3/s)	2.52	2.46	1.64
Capacidad Máxima (MW)	2.412	4.65	6.53
Generación Mensual (GWh)	1.44	2.77	3.94
Energía Anual Firme (GWh)	11.52	22.04	28.9
Capacidad Anual Firme (GWh)	1.65	3.15	4.8
Factor de planta	0.49	0.49	0.58

7. Evaluación económica.

En el presente capítulo se ha realizado la evaluación económica de las tres centrales en cascada del proyecto Balsapamba, para lo cual se ha considerado la venta de la energía a generar al precio establecido por el CONELEC para energía producida con recursos energéticos renovables no convencionales.

También se detalla las hipótesis de cálculo, dentro de la cual encontramos parámetros como remuneración por CER, préstamo del FEISEH, 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. Determinación de la Remuneración por venta a Precio de Recursos Energéticos no Convencionales

La remuneración por venta a un precio especial para energía producida con recursos energéticos renovables no convencionales aprobado por el

CONELEC en la Regulación No. CONELEC - 009/06, tiene diferentes valores de acuerdo al tipo de generación y la capacidad de generación en el caso de Hidroeléctricas.

A continuación se presenta la tabla 10, que contiene la lista de precios preferencial para energía producida con recursos energéticos no convencionales.

Tabla 10.

CENTRALES	PRECIO (cUSD/kWh) Territorio Continental	PRECIO (cUSD/kWh) Territorio Insular de Galápagos
EÓLICAS	9.31	12.10
FOTOVOLTAICAS	28.37	31.20
BIOMASA Y BIOGAS	9.04	9.94
GEOTERMICAS	9.17	10.08
PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS HASTA 5 MW	5.80	6.38
PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS MAYORES A 5 MW HASTA 10 MW	5.00	5.50

7.1. Análisis económico.

7.1.1. BA-A1.

En la tabla 11 se muestra un resumen de los parámetros considerados para la evaluación económica de la central ubicada en la toma 720.

Tabla 11.

Inversión	$ 18.539.097,76
Costo O&M	$ 220.800,00
Seguro	$ 92.695,49
Cambio equipos (30 años)	$ 6.045.654,60
Vida útil (años)	50
Años de construcción	3
Remuneración por CER	
Monto	$ 3.354.202,50
% de Inversión	18%
CER año 0	$ 1.677.101,25
CER por año (1-5)	$ 419.275,31
Financiamiento FEISEH	
Préstamo	$ 16.861.996,51
Interés	8%
Plazo	13
Años de Gracia	3

Resultados del TIR y VAN.- El monto del Valor Actual Neto (VAN) que se obtuvo con un interés del 10% es de siete millones trescientos ochenta y cinco mil trescientos treinta y un dólares americanos, mientras que al evaluar con la tasa del WACC (18.054%) el VAN fue de un millón novecientos sesenta y un mil doscientos cuarenta dólares americanos. De igual forma, del análisis económico se obtuvo una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 42%.
A continuación se resumen estos resultados.
TIR = 42%
VAN (10%) = $ 7'385,331
VAN (K = 18.054%) = $ 1'961,240
Estos valores indican que el proyecto es factible y recomendable de realizar bajo los parámetros considerados.

7.1.2. BA-M.

En la tabla 12 se muestra un resumen de los parámetros considerados para la evaluación económica de la central ubicada en la toma 360.

Tabla 12.

Inversión	$ 16.249.002,01
Costo O&M	$ 182.400,00
Seguro	$ 81.245,01
Cambio equipos (30 años)	$ 4.357.620,43
Vida útil (años)	50
Años de construcción	3
Remuneración por CER	
Monto	$ 2.595.235,50
% de Inversión	16%
CER año 0	$ 1.297.617,75
CER por año (1-5)	$ 324.404,44
Financiamiento FEISEH	
Préstamo	$ 14.951.384,26
Interés	8%
Plazo	13
Años de Gracia	3

Resultados del TIR y VAN.- El monto del Valor Actual Neto (VAN) que se obtuvo con un interés del 10% es de menos novecientos noventa y tres mil ciento diecisiete dólares americanos, mientras que al evaluar con la tasa del WACC (18.054%) el VAN fue de un millón setecientos cinco mil sesenta y siete dólares americanos. De igual forma, del análisis económico se obtuvo una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 13%.
A continuación se resumen estos resultados.

TIR = 13%
VAN (10%) = - $ 993,117
VAN (K = 18.054%) = $ 1’705,067
Estos valores indican que el proyecto es factible y recomendable de realizar bajo los parámetros considerados.

7.1.3. BA-B.

En la tabla 13 se muestra un resumen de los parámetros considerados para la evaluación económica de la central ubicada en la toma 200.

Tabla 13.

Inversión	$ 13,379,934.42
Costo O&M	$ 139,200.00
Seguro	$ 66,899.67
Cambio equipos (30 años)	$ 3,740,140.55
Vida útil (años)	50
Años de construcción	3
Remuneración por CER	
Monto	$ 1,349,365.50
% de Inversión	10%
CER año 0	$ 674,682.75
CER por año (1-5)	$ 168,670.69
Financiamiento FEISEH	
Préstamo	$ 12,705,251.67
Interés	8%
Plazo	13
Años de Gracia	3

Resultados del TIR y VAN.- El monto El monto del Valor Actual Neto (VAN) que se obtuvo con un interés del 10% es de menos novecientos noventa y tres mil ciento diecisiete dólares americanos, mientras que al evaluar con la tasa del WACC (18.054%) el VAN fue de un millón setecientos cinco mil sesenta y siete dólares americanos. De igual forma, del análisis económico se obtuvo una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 5%.
A continuación se resumen estos resultados.
TIR = 5 %
VAN (10 %) = - 2’720,757 dólares
VAN (K = 18.054 %) = - 2’960,673 dólares
Estos valores indican que el proyecto no es recomendable de realizar bajo los parámetros considerados.

8. Conclusiones y Recomendaciones

- Morfológicamente y geológicamente, el proyecto Balsapamba no presenta mayores complicaciones técnicas para la construcción de las tres centrales en cascada BA-A1, BA-M y BA-B; además es favorable que en los puntos de captación no se hayan encontrado viviendas que se vean afectadas por estas construcciones.
- Es importante mencionar que para la proyección de la serie sintética de caudales del proyecto en total, se toma como mínimo valor de caudal turbinable 0 m^3/sg, siendo el mínimo valor turbinable el 30% y 40% del caudal máximo de Turbina Pelton Y Turbina Francis respectivamente. Esto es debido a que por ser valores promedios mensuales, si se consideran solo esos caudales mínimos se estarían excluyendo días en los que las centrales pueden operar sin problemas de eficiencia.
- El comportamiento hidrológico del río Cristal para las tres centrales en cascada es muy similar. El período húmedo comprende los meses de enero a mayo, y el período seco de julio a noviembre, siendo diciembre y junio los meses de transición. El período húmedo coincide con la temporada de estiaje de los proyectos hidrológicos de la cordillera Oriental. Desde este punto de vista es conveniente desarrollar estos proyectos, ya que entregarían energía en el período del año en que más se necesita, asegurando de esta manera su despacho.
- En el análisis económico de BA-A1 el monto del Valor Actual Neto (VAN) que se obtuvo con un interés del 10% es de $ 7’385,331 mientras que al evaluar con la tasa del WACC (18.054%) el VAN fue de $ 1’961,240. De igual forma, del análisis económico se obtuvo una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 42%.
- En el análisis económico de BA-M el monto del Valor Actual Neto (VAN) que se obtuvo con un interés del 10% es de $ 1’705,067 mientras que al evaluar con la tasa del WACC (18.054%) el VAN fue de - $ 993,117. De igual forma, del análisis económico se obtuvo una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 13%.
- En el análisis económico de BA-B el monto del Valor Actual Neto (VAN) que se obtuvo con un interés del 10% es de - $ 2’720,757 dólares mientras que al evaluar con la tasa del WACC (18.054%) el VAN fue de - $ 2’960,673. De igual forma, del análisis económico se obtuvo una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 5 %.
- Luego de los cálculos de presupuestos de obra, determinación de las producciones energéticas y análisis económicos realizados, se puede concluir que las centrales BA-A1 y BA-M son técnicamente factibles de construir, y además son económicamente rentables. Con los mismos estudios realizados se concluye que la central BA-B es técnicamente factible de construir, pero económicamente no es rentable.
- Finalmente, se recomienda a los inversionistas privados o públicos que inviertan en estas dos

centrales BA-A1 y BA-M del río Cristal "Proyecto Balsapamba", aprovechando que estas pequeñas centrales hidroeléctricas tienen beneficios que incentivan su desarrollo, tales como, libres de Impuesto al Valor Agregado, facilidad de crédito nacional a una tasa de interés baja a través del FEISEH, venta de Certificados de Carbono (tratado de Kyoto), precio de venta preferencial para energía producida con recursos energéticos renovables no convencionales aprobado por el CONELEC y el despacho preferencial de su energía.

9. Referencias

[1] Aguirre Mateus, Javier; Jácome Freire, Alexs; Orquera Noboa, Gabriel: "APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS DEL RÍO CRISTAL PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA".

[2] Ortiz Vera, Oswaldo: "EVALUACIÓN HIDROLÓGICA"

[3] Proyecto Balsapamba
Estudio a nivel de Inventario
Escuela Politécnica Nacional – 1995

[4] Informe de Prefactibilidad, Centrales Hidroeléctricas de Mediana Capacidad, Grupo 3: Chanchán, Echeandía y Caluma
Tomo I: Informe General
Tomo III: Análisis Financiero
Escuela Politécnica Nacional, INECEL – Abril 1983

[5] Benites Carrasco, Manuel; Jiménez Williams, Antonio; Ochoa Coronel, Jimmy: "APROVECHAMIENTO DEL RIO PITA EN LA PROVINCIA DE BOLIVAR PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA CENTRAL HIDROELÉCTRICA (PROYECTO CALUMA BAJO)".

[6] Cartas ArcView del Ecuador (1:250000) y de la cuenca del Guayas (1:50000) Instituto Geográfico Militar – 2005

[7] Anuarios Meteorológicos e Hidrológicos del INAMHI (1963-1999)

[8] Archivos magnéticos sobre datos meteorológicos-hidrométricos de la cuenca del Guayas / INAMHI.

[9] http://www.conelec.gov.ec/
Regulación No. CONELEC – 009/06: "PRECIOS DE LA ENERGÍA PRODUCIDA CON RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVABLES NO CONVENCIONALES".

[10] http://www.bce.fin.ec/docs.php?path=/documentos/Estadisticas/SectorReal/Previsiones/IndCoyuntura/CifrasEconomicas/cie200707.pdf