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

Mario Lindao Borbor
Walter Vargas Contreras
Ricardo Villavicencio Agila
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
malbo_7@hotmail.com, wa_vargas926@hotmail.com, rickyjav@hotmail.com, jsaaved@espol.edu.ec

Resumen

Una de las riquezas con las que cuenta el Ecuador son sus recursos hídricos, la existencia de un gran número de ríos que, naciendo en la Cordillera de Los Andes, confluyen, unos en el Océano Pacífico y otros se convierten en afluentes del Río Amazonas. No obstante con este inmenso recurso hidroenergético, el Ecuador no ha emprendido un proceso de desarrollo sistemático y coherente de proyectos de generación hidroeléctrica, lo que ha conllevado a que el país tienda a equiparse con centrales termoeléctricas e Interconexiones, con los consiguientes perjuicios económicos y ambientales. Es por esta razón que la presente investigación se centra en plantear nuevas alternativas de generación hidroeléctrica.

Palabra claves: *generación hidroeléctrica, recurso hidroenergético*

Abstract

One of the riches that Ecuador have are its hydro resources, the existence of a large number of rivers, that born in the Andes Mountains, converge, some in the Pacific Ocean and other become tributaries of the Amazon River. But with this immense hydropower resource, Ecuador has not engaged in a process of systematic and consistent development of hydroelectric generation projects, which has led to the country to be fitted with thermal plants and Interconnections, with the consequent environmental and economic damage. It is for this reason that the present investigation is focused on raising new alternatives of hydroelectric generation.

Key words: *hydropower resource, hydroelectric generation, alternatives.*

1. Introducción

En el año 1982, el INECEL contrató la realización de los estudios a nivel de prefactibilidad de un grupo de proyectos hidroeléctricos de mediana capacidad, identificados en los estudios de evaluación del potencial hidroeléctrico de las cuencas hidrográficas a nivel nacional. Dos de los proyectos con potencia instalable entre 5 y 50 MW fueron los denominados Echeandía Bajo 1 (ECH-B1) y Echeandía bajo 2 (ECH- B2). Dichos estudios concluyeron en 1984.

El presente trabajo está enfocado a actualizar el estudio de prefactibilidad realizado por el INECEL considerando que debido a que la población de Echeandía se ha extendido se deberá plantear modificaciones a las alternativas propuestas inicialmente, además las hipótesis y criterios con que se realizaron los estudios de prefactibilidad han cambiado radicalmente con la Ley del Sector Eléctrico (LSE) promulgada en octubre de 1996. Los conceptos de energía firme, secundaria y potencia garantizada, utilizados en los estudios de prefactibilidad han desaparecido o tienen una connotación diferente. Actualmente la cuantificación de los beneficios energéticos de una central hidroeléctrica se realiza mediante la valorización económica de la Potencia Remunerable Puesta a Disposición y la Energía Generada.

2. Ubicación Geográfica e Información Disponible.

Los proyectos Hidroeléctricos Echeandía Bajo con sus dos aprovechamientos (ECH-B1 y ECH-B2) se encuentran geográficamente ubicados en el centro del país y políticamente ocupan territorios de la provincia de Bolívar; la cuenca de los proyectos se encuentra entre los Cantones Guaranda y Echeandía, pero las obras se encuentran exclusivamente en Echeandía, en la cota 454 m.s.n.m. aproximadamente para el aprovechamiento ECH-B1 y en la cota 388 m.s.n.m. aproximadamente para el aprovechamiento ECH-B2.

El recurso hídrico aprovechable corresponde a la vertiente occidental y proviene del río Soloma, el cual tiene como principales afluentes a los ríos Chazo Juan y Limón del Carmen

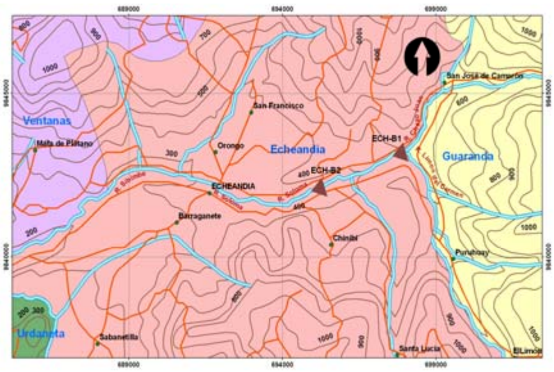

Figura 1. Ubicación Geográfica de los Proyectos

La información para el desarrollo del presente Estudio de Prefactibilidad fue proporcionada por el INAMHI y por los estudios realizados por INECEL y sirvieron como guía para la actualización respectiva de los mismos.

3. Estudio Hidrológico

3.1. Alcance del Estudio Hidrológico y Metodología

Para el estudio hidrológico de la cuenca del río Soloma se cuenta, fundamentalmente, con la estación hidrométrica Echeandía en Echeandía, de la cual se han obtenido los caudales medios diarios registrados en el periodo 1965 - 1999. Los caudales faltantes han sido complementados aplicando correlación con los registros de otras cuencas de la misma vertiente (estaciones Pilaló en La Esperanza y Zapotal en Lechugal).

Los parámetros hidrológicos suministrados se refieren:

• En Meteorología: Temperaturas, humedad relativa. Sus resultados son útiles para las programaciones del trabajo a cielo abierto como para identificar el rango climático de operación de los equipos. Sirven también para el cálculo de los sistemas de drenaje y un chequeo expedito de los caudales determinados.

• En Pluviométrica: Análisis de la distribución anual de las lluvias en base a registros de precipitación media mensual. Análisis de curvas de isoyetas con el fin de calcular la precipitación media ponderada en los sitios de interés.

• En Hidrometría: Se determina la magnitud de los caudales líquidos medios y mínimos con su frecuencia de ocurrencia para los fines de cuantificación energética y se suministran los caudales máximos de crecidas extraordinarias para diseñar las obras de seguridad del proyecto y para las obras temporales de protección durante el período de construcción.

3.2. Características Físicas de la Cuenca de Estudio

Las características físicas de la cuenca estudiada pueden ser representadas por medio de las definiciones de parámetros como el factor de forma, factor de compacidad, área de la cuenca de drenaje, pendiente media, etc., que tienen su importancia como base principal de la aplicación de transposición de valores hidrológicos de la estación base a los diferentes sitios de captación.

Tabla 1. Características Físicas Hidrográficas en los Sitios de Interés

		ESQUEMA ECHEANDIA	
	Estacion Base	ECHEANDIA - B1	ECHEANDIA - B2
Rio	ECHEANDIA	Soloma	Soloma
Altura (m.s.n.m)	370,00	454	388
Area de Drenaje (Km^2)	364,67	307,67	356,52
Longitud del cauce máximo (Km)	34,39	28,31	31,39
Perímetro de la cuenca (Km)	78,10	71,58	75,75
Factor de Forma	0,31	0,38	0,36
Factor de Compacidad	1,15	1,14	1,12
Extensión superficial media (Km)	5,30	5,43	5,68
Pendiente media (%)	16,61	18,63	17,26
Precipitación media ponderada (mm)	1839	1796	1829
Coeficiente de escurrencia (%)	89,89	89,89	89,89

3.3. Estudio Meteorológico

Para el análisis de la meteorología en la cuenca de estudio se observaron los registros pertenecientes a una estación ubicada en la población de Caluma por lo que los valores en ella resultan representativos de la región estudiada. Los registros constan de promedios mensuales correspondientes a temperatura, humedad relativa, evaporación y valores extremos absolutos de temperatura en el período correspondiente de 1965 – 1995.

3.4. Pluviometría

La pluviometría es uno de los principales factores meteorológicos, dada la importancia de los resultados del análisis de precipitaciones en el control de los caudales calculados, que es el objetivo principal del presente estudio hidrológico, debido a esto se realizará un estudio más detallado considerando la distribución geográfica y la distribución cronológica de los valores de lluvia caída sobre la cuenca de drenaje del río Soloma para determinar los correspondientes coeficientes de transposición de esos caudales a los sitios de aprovechamiento en la determinación previa de la precipitación media ponderada.

Para el análisis de la pluviometría se consideró los registros mensuales de precipitaciones para el período de 1968-1998 de la estación Echeandía. En la Figura 2 se muestran los promedios anuales del periodo de registro, se puede apreciar que los años 1982 y 1997 fueron de intensas lluvias, los cuales fueron registrados como años con influencias del fenómenos "El Niño".

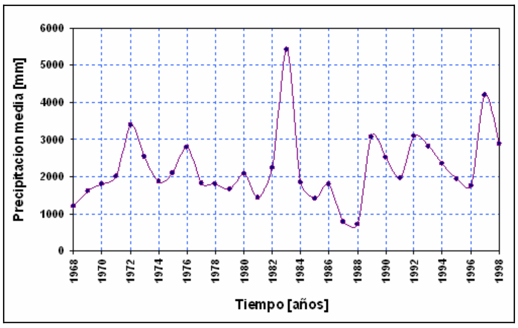

Figura 2. Precipitación media anual Estación Echeandía

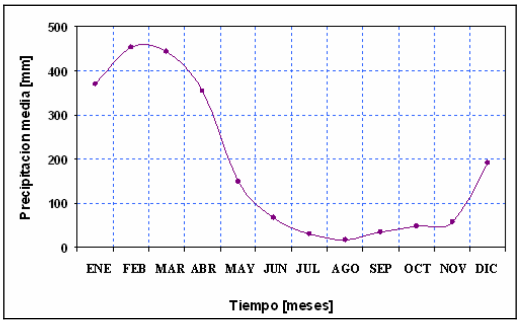

Figura 3. Precipitación media mensual Estación Echeandía

La Figura 3 muestra el resultado de las precipitaciones medias mensuales multianuales, de la cual se visualiza la distribución mensual y de la que se deduce que (en promedio):

- Los cinco meses de mayor lluvia (INVIERNO) van de enero hasta mayo.
- Los cinco meses de menores lluvias (VERANO) van de julio hasta noviembre.
- Los meses de junio y diciembre son de transición entre verano e invierno.

Esta distribución mensual determina que la mayor producción hídrica de la cuenca del río Soloma, de enero-mayo, es complementaria de aquella de los grandes proyectos hidroeléctricos Paute, Agoyán, Pisayambo y San Francisco, demostrándose la complementariedad de los regímenes hídricos oriental-occidental del Ecuador.

Para el cálculo de la Precipitación Media Ponderada en las cuencas de drenaje correspondiente a las secciones de interés, se utilizo el método de las Isoyetas, dando como resultado 1796mm para ECH-B1 y 1829mm para ECH-B2.

3.5. Obtención de caudales de la estación Echeandía.

Para la obtención de caudales de la estación Echeandía son necesarias las ecuaciones de descarga, las cuales se determinaron en base a aforos realizados en el río Soloma. Las ecuaciones de descarga permiten determinar el caudal dada la elevación y son de la forma:

$$Q = a\,(h + B)^n$$

Donde:

Q = Caudal en m3/seg.
h = Nivel de agua medido en la escala.
a, B, n = Constantes a determinar.

Para efecto práctico en la determinación de caudales se utilizaron las ecuaciones establecidas en el estudio del INECEL.

Tabla 2. Ecuaciones de Descarga de la Estación Echeandía en Echeandía

Ecuacion	Validez	Periodo
$Q = 11{,}1498\,(H+0{,}20)^{2{,}81321}$	$0{,}4 < H < 1{,}4$	Ene 1965 - Mar 1972
$Q = 0{,}8\,(H+0{,}30)^{4{,}8}$	$0{,}4 < H < 1{,}4$	Abr 1972 - Ago 1978
$Q = 21{,}46\,(H+0{,}10)^{2{,}416}$	$0{,}4 < H < 1{,}4$	Sep 1972 - A la fecha

3.6. Curva de duración de caudales y variación estacional en la estación Echeandía en Echeandía

Con la estadística existente de caudales medios diarios, debidamente procesada se procedió al análisis de frecuencia, es decir la determinación de la curva de duración general de caudales.

La Tabla 3 indica los resultados del análisis de probabilidad de excedencia de los caudales medios diarios y caudales medios mensuales y en la Figura 4 sus respectivas curvas de duración. Se analizaron un total de 11080 datos de caudales diarios que significan aproximadamente el 90% de disponibilidad de registros en el período 1965 – 1999.

Tabla 3. Probabilidad de Excedencia Multianual de Caudales periodo 1965-1999

Probabilidad de Excedencia (%)	Caudal Diario (m^3/s)	Caudal Mensual (m3/s)
95	3,50	3,70
90	4,10	4,40
85	4,80	5,40
80	5,40	6,10
75	6,20	6,70
70	7,00	7,40
65	7,80	8,20
60	9,00	9,20
55	10,00	10,70
50	12,00	12,60
45	14,10	14,70
40	17,00	18,30
35	20,50	22,40
30	24,10	25,90
25	28,00	28,30
20	32,30	32,00
15	37,10	38,00
10	43,60	43,00
5	53,80	50,00
Qmin	**2,46**	**2,46**
Qmax	**231,65**	**80,86**
Qprom	**19,17**	**19,11**

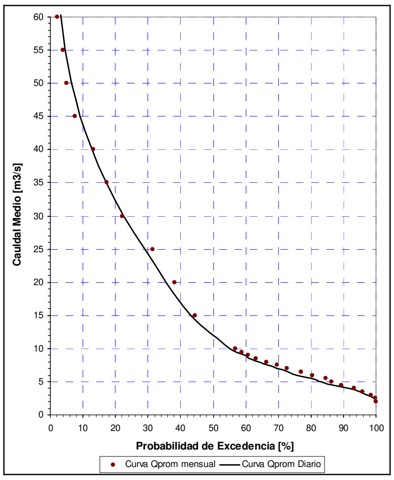

Figura 4. Curva de Duración de Caudales Medios Diarios y Mensuales

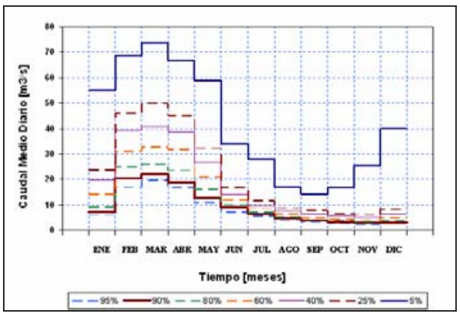

Figura 5. Curva de Variación Estacional para diferentes probabilidades de excedencia.

Para la determinación de las curvas de variación estacional para diferentes probabilidades de excedencia (figura 5), han sido utilizados los valores de caudales medios diarios procesados mes a mes y así elaborar curvas de duración mensuales de todo el período disponible.

Del análisis efectuado se puede decir de que:

- El promedio multianual de los caudales mensuales (19.11 m3/s), corresponde aproximadamente a una garantía del 38%.
- Un valor igual al caudal diario medio del período (19.17 m3/s), ocurre en el mes de Abril con un 90% de garantía y equivale a una garantía del 36% de la curva de duración.
- El caudal garantizado al 90% de todo el período (4.10 m3/s), ocurre con una seguridad del 60% durante el mes más seco (Noviembre).
- En el mes mas seco el caudal garantizado al 90% (3.00 m3/s) equivale a un caudal que ocurre con el 98% de seguridad del período general.
- El caudal garantizado al 90% en los cinco meses de estiaje, es apenas un 14% inferior al Q 90% de la curva de duración general y el Q 90% de los 7 meses de mayores aportaciones, es 3 veces superior al Q 90% general.

3.7. Parámetros Hidrológicos en las Alternativas

En los estudios anteriores se presentaron los procedimientos y resultados obtenidos del análisis de la información Hidrométrica disponible en la estación Echeandía en Echeandía.

Para determinar los parámetros hidrológicos, se utilizó el método de transposición de valores desde el sitio de la estación Echeandía hasta cada una de las secciones donde se han previsto las captaciones de los aprovechamientos planteados.

Se adoptó el método de transposición de valores, por cuanto las características de afinidad hidrológica de la estación se presentan en las subcuencas correspondientes a los sitios de captación.

El método de transposición de valores, utiliza las relaciones entre las áreas de drenaje y las precipitaciones medias ponderadas de las cuencas comparadas, a través de un coeficiente llamado de transposición, cuya expresión analítica es:

$$K_T = \frac{A_1 x PMP_1}{A_2 x PMP_2}$$

Donde:

A1 y A2 son las áreas de las cuencas de drenaje del sitio de captación y de la estación base, respectivamente, expresadas en Km2.

PMP1 y PMP2 son los valores de precipitación media ponderada que cae sobre las cuencas de drenaje correspondientes al sitio de captación y a la estación base respectivamente expresadas en mm.

Al aplicar este método tenemos un coeficiente de transposición de 0.82 para ECH-B1 y 0.92 para ECH-B2. En la Tabla 4 podemos apreciar los resultados principales de las transposiciones del presente estudio hidrológico

Tabla 4. Resumen de Resultados

Caracteristicas	Estacion Echeandia	ESQUEMA ECHEANDIA	
		ECH - B1	ECH - B2
Rio	Soloma	Soloma	Soloma
Altura (m.s.n.m)	370	454	388
Area de Drenaje (Km^2)	365	308	357
Precipitación media ponderada (mm)	1839	1796	1829
Caudal Medio Anual (m^3/s)	19,11	15,75	18,59
Caudal garantizado 90%	4,40	3,63	4,28
Caudal Maximo	480,0	400,0	470,0

4. Diseño del Proyecto.

El diseño del Proyecto Hidroeléctrico Echeandía Bajo consta de las siguientes partes: Obras Civiles, Obras Hidráulicas, Equipo Mecánico y Equipo Eléctrico.

A continuación se detallan las principales Características de los Aprovechamientos.

Tabla 5. Características Principales del Proyecto Hidroeléctrico Echeandía Bajo 1

Potencia Del Proyecto (MW)	5.4
Caída Neta (m)	55.3
Salto Bruto (m)	59.5
Pérdidas Hidráulicas (m)	De 3 a 3.5
Caudal de Diseño (m3/seg)	11.0
Nivel De Operación del Embalse	454.5 m.s.n.m

Tabla 6. Características Principales del Proyecto Hidroeléctrico Echeandía Bajo 2

Potencia Del Proyecto (MW)	9.6
Caída Neta (m)	67
Salto Bruto (m)	72
Pérdidas Hidráulicas (m)	De 3 a 4
Caudal de Diseño (m3/seg)	16.2
Nivel De Operación del Embalse	390 m.s.n.m

Las principales obras del Proyecto Hidroeléctrico Echeandía Bajo son:

- Presa de derivación.
- Toma desde el embalse.
- Desarenador.
- Reservorio de regulación.
- Tanque de carga.
- Conducción a Presión.
- Casa de máquinas.
- Canal de Restitución.

Las Principales Obras Mecánicas del Proyecto Hidroeléctrico Echeandía Bajo son:

- Turbinas
- Válvulas de Entrada (Mariposa)
- Reguladores.
- Compuertas del Proyecto

Las Principales Obras Eléctricas del Proyecto Hidroeléctrico Echeandía Bajo son:

- Generadores
- Transformador Principal
- Subestación

5. Presupuesto de Obra

A continuación se presentan los criterios y procedimientos que se han realizado para la obtención de los costos del Proyecto Echeandía.

Los datos básicos para realizar el presupuesto fueron obtenidos a partir de datos proporcionados por Hidronación, el Departamento de Planificación del Consejo Provincial del Guayas y también de los informes de la Central Hidroeléctrica Angamarca-Sinde. La información muestra los costos relacionados a los precios de los equipos eléctricos y mecánicos, tarifa de los equipos, costo de mano de obra, costo de materiales añadiendo el precio del transporte desde Guayaquil al lugar en donde se encuentra ubicado el aprovechamiento.

5.1. Costos Unitarios.

Los costos unitarios básicamente están compuestos de las tarifas de uso de los equipos, costos de mano de obra y costos de materiales, a cada uno de los cuales se ha aplicado condiciones de cálculo especificas.

Tabla 7. Resumen de los Costos Unitarios Analizados

DESCRIPCION	UNIDAD	P.U. ($)
Excavación común con agua	m3	3.75
Excavación roca con agua	m3	14.46
Excavación de plataforma: común	m3	2.51
Excavación de plataforma: roca	m3	14.46
Excavación cajón: común	m3	11.69
Excavación cajón: roca	m3	70.67
Excavación de trinchera: común	m3	4.58
Hormigón, muros y azud	m3	137.69
Hormigón de revestimiento	m3	213.99
Hormigón estructural	m3	213.99
Acero de refuerzo	Kg	1.56
Acero estructural	Kg	1.62
Compuertas	tn	26.29
Alcantarillas ARMCO F 48"	ml	343.04
Tubería de drenaje	m	17.90
Tubería blindada	Kg	8.00
Limpieza y desbroce	Ha	209.57
Subbase	m3	15.05
Camino de acceso	km	78248.08
Mejoramiento de Caminos Existentes	km	42 614.79

5.2. Resumen de los Costos Totales de los Aprovechamientos.

A continuación se presentan los costos totales de los dos proyectos tomando en consideración los costos directos, costos de ingeniería y administración.

Tabla 8. Costos Totales ECH-B1

ITEM	P. TOTAL ($)
AZUD Y BOCATOMA	1 145 034.56
DESARENADOR	947 511.36
CONDUCCION: CANAL	1 927 599.83
PASO DE QUEBRADAS	130 150.35
ALIVIADEROS TIPO	364 172.86
PASOS DE AGUA	215 270.28
RESERVORIO DE REGULACIÓN DIARIA	1 499 847.62
TANQUE DE CARGA	201 938.66
TUBERIA DE PRESION	1 192 258.05
CASA DE MAQUINAS	272 255.01
CANAL DE RESTITUCIÓN	190 256.30
CAMINOS DE ACCESO	180 915.22
TOTAL OBRAS CIVILES:	**8 267 210.10**
EQUIPAMIENTO ELECTRO - MECANICO	2 552 738.71
EQUIPAMIENTO HIDRO - MECANICO	720 292.93
TOTAL EQUIPAMIENTO MECANICO:	**3273031.64**
Precio total:	***11 540 241.74***
COSTO TOTAL DEL PROYECTO SIN IVA	***13 617 485.26***

Tabla 9. Costos Totales ECH-B2

ITEM	P. TOTAL ($)
AZUD Y BOCATOMA	1 172 549.97
DESARENADOR	1 316 790.87
CONDUCCION: CANAL	2 209 866.63
ALIVIADEROS TIPO	801 768.66
PASOS DE AGUA	870 937.48
RESERVORIO DE REGULACIÓN DIARIA	1 804 097.12
TANQUE DE CARGA	240 207.59
TUBERIA DE PRESION	2 131 595.52
CASA DE MAQUINAS	306 386.34
CANAL DE RESTITUCIÓN	178 965.95
CAMINOS DE ACCESO	182 523.35
TOTAL OBRAS CIVILES:	**11 478 432.08**
EQUIPAMIENTO ELECTRO - MECANICO	4 747 233.95
EQUIPAMIENTO HIDRO - MECANICO	1 060 277.64
TOTAL EQUIPAMIENTO MECANICO:	**5807511.59**
Precio total:	***17285943.67***
COSTO TOTAL DEL PROYECTO SIN IVA	***20 397 413.53***

6. Producciones Energéticas

El estudio de las producciones energéticas es fundamental para la determinación de los beneficios que ingresarán al proyecto durante su período de vida el cual fue considerado de 50 años, y así mediante el estudio económico respectivo concluir si es factible o no el desarrollo de los proyectos.

El Programa para calcular las Producciones Energéticas PFIRM, el cual se basa modelos estocásticos, es una herramienta que permite analizar y generar datos con el objetivo de planificar y garantizar proyectos hidroeléctricos por un periodo máximo de 200 años.

6.1. Datos de Diseño del Proyecto

Los proyectos ECH-B1 y ECH-B2 son considerados como centrales de pasada con un pequeño reservorio de regulación diaria con capacidad instalada de 5.4 y 9.6 MW respectivamente, la altura neta es de 55m y caudal de diseño de 11 m3/seg para ECH-B1 y una altura neta de 67m y caudal de diseño de 16.20 m3/seg para ECH-B2. También se consideraron los valores de eficiencia de la turbina y del generador en 90 y 94% respectivamente, el factor de salida forzada se asumió en 3%, dichos valores son iguales para ambos aprovechamientos.

6.2. Resultados de la Simulación

Las tablas 10 y 11 muestran los promedios de 50 años de simulación de los valores más importante de este estudio.

Tabla 10. Resumen de los Resultados del PFIRM para el Esquema ECH-B1.

Caudales promedios de la serie sintética generada (m3/seg)	15,38
Caudal turbinado promedio generado (m3/seg)	7,50
Caudal excedente promedio generado (m3/seg)	8,75
Capacidad promedio mensual generado (MW)	4,12
Generación promedio mensual generado (GWh)	32,56
Producción Firme	
Energía Firme (GWh)	25,51
Capacidad Firme (MW)	3,31

Tabla 11. Resumen de los Resultados del PFIRM para el Esquema ECH-B2.

Caudales promedios de la serie sintética generada (m3/seg)	18,06
Caudal turbinado promedio generado (m3/seg)	10,34
Caudal excedente promedio generado (m3/seg)	8,58
Capacidad promedio mensual generado (MW)	6,97
Generación promedio mensual generado (GWh)	54,42
Producción Firme	
Energía Firme (GWh)	41,80
Capacidad Firme (MW)	5,53

7. Análisis Financiero

A continuación se muestran los procedimientos utilizados para el respectivo análisis financiero de los aprovechamientos de los proyectos Echeandía Bajo 1 y Echeandía Bajo 2, también se determinan los ingresos correspondientes por producción de energía de la central bajo, la suposición de ventas en el mercado ocasional, los costos debido a operación y mantenimiento y la inversión necesaria para la construcción utilizando análisis financieros en base a la Tasa Interna de Retorno y el Valor Agregado Neto.

7.1. Remuneración por Energía entregada al MEM.

Se muestra el promedio de la energía anual producida por cada aprovechamiento.

Tabla 12. Energía Promedio para cada uno de los aprovechamientos

Energía promedio anual en ECH-B1 (MWh)	32200
Energía promedio anual en ECH-B2 (MWh)	54000

Con los datos mostrados y el precio estipulado por la Regulación del CONELEC ("PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS MAYORES A 5 MW HASTA 10 MW" el precio del kWh en el Territorio Continentales de 5 centavos de dólar.) se obtiene que el ingreso por venta de energía en el mercado ocasional para cada una de las centrales es de:

Tabla 13. Remuneración por Energía para los 50 años de vida del proyecto

	Remuneración
Proyecto Hidroeléctrico ECH-B1	1610000
Proyecto Hidroeléctrico ECH-B2	2700000

Para el Análisis financiero se ha considerado que estos ingresos se mantendrán durante los 50 años de funcionamiento de cada central.

7.2. Remuneración por Venta de Certificados de Reducción de Emisión de Carbono (CER).

El Protocolo de Kioto (PK) es un tratado de alcance internacional creado en 1997 cuyo aspecto más relevante es la fijación e imposición de límites cuantitativos para las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) de los países industrializados.

El precio con el cual han sido calculados los ingresos por venta de CER en cada uno de los proyectos es de $10, cubriendo un 15% de financiamiento

7.3. Hipótesis de Cálculo.

Una vez obtenidos los ingresos y el presupuesto para la construcción de cada una de los aprovechamientos, se planteó el financiamiento respectivo para el proyecto considerando una vida útil de 50 años, 3 años de construcción y un 0.75% de costos operativos y de mantenimiento.

Para el financiamiento se consideró la posibilidad de un préstamo a 10 años al 8% de interés, sobre el monto total de la inversión, y un periodo de gracia correspondiente a 3 años

Tabla 14. Resumen de Resultados del Análisis Financiero de cada uno de los Aprovechamientos

	VAN	TIR
Proyecto Hidroeléctrico ECH-B1	-624418	12.91%
Proyecto Hidroeléctrico ECH-B2	876618	27.77%

8. Conclusiones y Recomendaciones

- El Implementar los proyectos Hidroeléctricos Echeandía Bajo 1 y Echeandía Bajo 2, contribuirá a aumentar la matriz energética nacional, reducirá la Importación de Energía y la utilización de Centrales Térmicas ineficientes.
- Las condiciones geológicas y topográficas no presenta problemas que obstaculicen la factibilidad técnica de los aprovechamientos, los cuales presentan características favorables para la construcción de canales, tubería de presión y casa de maquinas, debido a la existencia de potentes suelos residuales, depósitos aluviales y coluviales.
- Los registros hidrológicos correspondientes a los caudales diarios obtenidos de la estación Echeandía, significan una estadística importante que describen el comportamiento de la región que comprende los proyectos. Fueron analizados un total de 11080 lo cual representa un 90.26% de la disponibilidad de los registros 1965 – 1999, con estos valores se pudo obtener la garantía correspondiente para cada caudal, curvas de variación estacional y la matriz de caudales promedios mensuales muy importante para la simulación de la operación de la centrales. Con los resultados obtenidos del estudio fue posible observar el comportamiento del aprovechamiento a lo largo del año determinando así los períodos húmedo y seco a los cuales serán sometidos los proyectos.

- De acuerdo a los análisis realizados en el presente trabajo, se obtiene que el costo total del Aprovechamiento ECH-B1 es de $ 13 617 485, y que el costo total del Aprovechamiento ECH-B2 es de $ 20 397 413.
- Los valores antes mencionados tienen adicionado el 10% del valor representativo de Ingeniería y Administración, y el 8% por Imprevistos Generales.
- Por medio del simulador PFIRM fue posible obtener resultados como caudales mensuales del aprovechamiento, caudales mensuales turbinados, excedencias, energía y capacidad firme, generación de energía mensual entre otros, los cuales son representativos en la operación de las centrales para 50 años de producción. En base a la simulación de la operación de las centrales se puede decir que el aprovechamiento ECH-B1 posee una producción de energía promedio anual de 32.56GWh y el Aprovechamiento ECH-B2 54.42GWh.
- El VAN obtenido para el Aprovechamiento ECH-B1 nos muestra un valor negativo (-624418), lo que nos indica que este proyecto no es factible económicamente, esto se puede comprobar debido a que la Tasa Interna de Retorno es demasiado baja en comparación con el Costo Promedio Comparado del Capital (WACC). El WACC es un índice que incluye coeficientes como el riesgo país, capacidad de pago, riesgo de la industria, entre otros. Este índice fue hallado considerando todos los coeficientes aplicados a la economía de nuestro País.
- El VAN obtenido para el Aprovechamiento ECH-B2 nos muestra un valor positivo (876618), lo que nos indica que este proyecto es factible económicamente, esto se puede comprobar debido a que la Tasa Interna de Retorno es mayor en comparación con el Costo Promedio Comparado del Capital (WACC).
- Es recomendable construir el Aprovechamiento ECH-B2, pues se tendrán mayores beneficios económicos.
- El Aprovechamiento ECH-B1 puede ser sometido a estudios financieros mas avanzados para lograr que sea factible económicamente.
- Aunque los registros procesados de la Estación Echeandía y sus resultados, presentan satisfactorios niveles de confianza, se recomienda realizar un control periódico de la estación, intensificando sus campañas de aforos.
- Se recomienda a los inversionistas interesados en invertir en proyectos hidroeléctricos pequeños, tales como los estudiados en la presente tesis, se acojan a los beneficios que tienen este tipos de proyectos en cuanto a créditos nacionales a tasas de interés bajas a través del FEISEH, el no pago del Impuesto al Valor Agregado, la venta de Certificados de Carbono, el Precio Preferencial en la venta de Energía y el despacho preferencial de su energía.

9. Referencias

[1] Villavicencio Agila, Ricardo; Vargas Contreras, Walter; Lindao Borbor, Mario: *"APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS DEL RÍO SOLOMA PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA"*.

[2] Santo Potess, E.: *"CENTRALES ELECTRICAS"*.

[3] Ortiz Flores, Ramiro: *"PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS"*.

[4] J. Fritz, Jack: *"SMALL AND MINI HYDROPOWER SYSTEMS"*. Mc Graw Hill Book Company, 1984 Pág 11.1 – 11.18.

[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] Regulación No. CONELEC – 009/06: *"PRECIOS DE LA ENERGÍA PRODUCIDA CON RECURSOS ENERGÉTICOS RENOVABLES NO CONVENCIONALES"*.

[7] http://www.mop.gov.ec/mapas/Mapa.asp

[8] http://www.contratanet.gov.ec/docsystem/GRP6000/CONADQ6637/Anexos_CODE6333.pdf

[9] http://www.bce.fin.ec/indicador.php?tbl=inflacion_acumulada}

[10] http://www.bcba.sba.com.ar/Carbono/carbono.asp

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