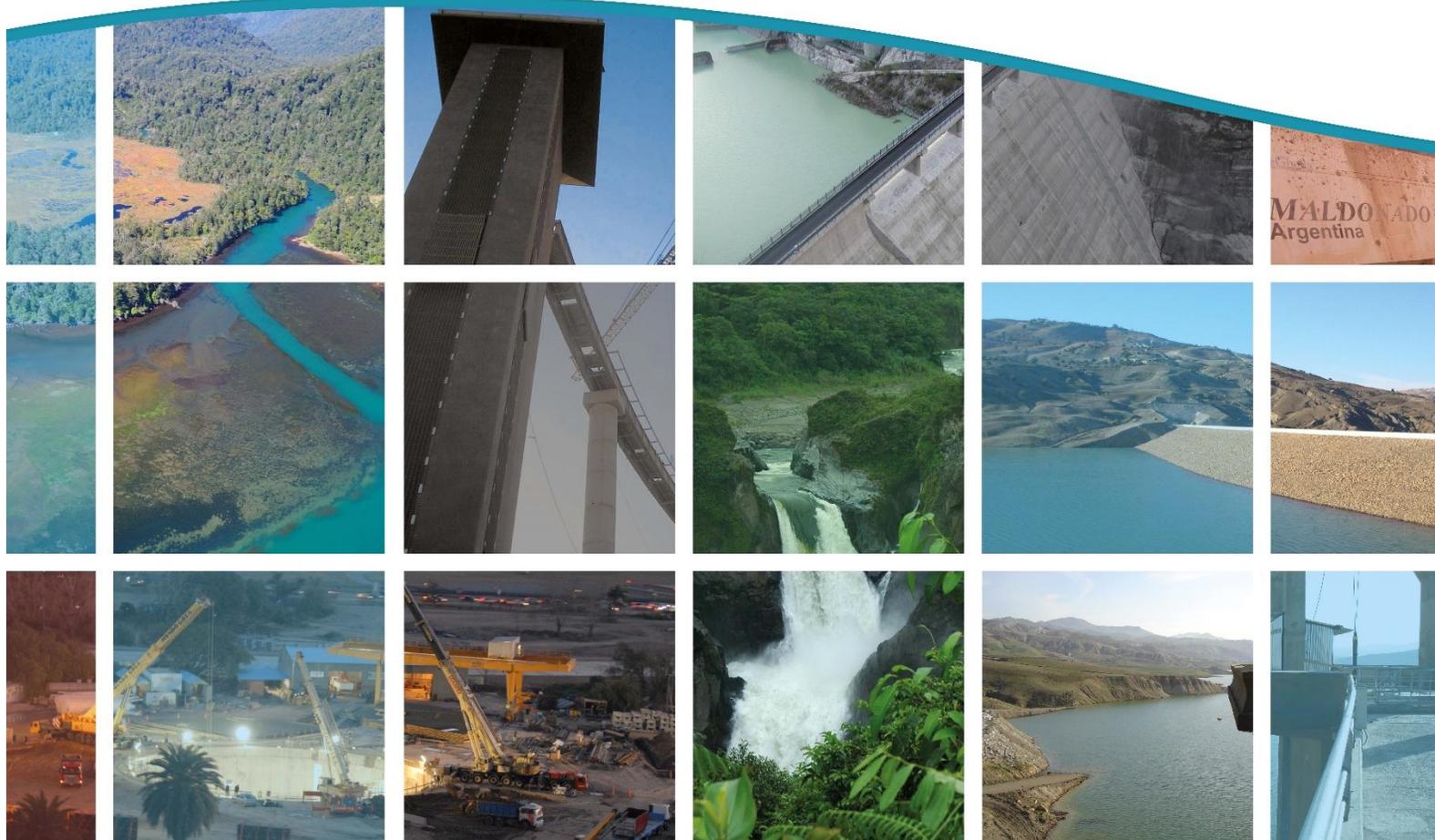


ESTUDIO DE IDENTIFICACIÓN PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL BALA

PRODUCTO N° 4 ESTUDIOS DE EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA Y FINANCIERA

ANEXO 1. PRESUPUESTOS Y COSTOS DE ENERGÍA



Contrato N. 11300

COCHABAMBA, 05 JULIO DE 2016

ANEXO 1. PRESUPUESTOS Y COSTOS DE ENERGÍA

CONTENIDO

1. INTRODUCCION.....	5
2. OBJETIVOS	5
3. CONSIDERACIONES PARA EL CÁLCULO DE LOS PRESUPUESTOS	6
4. CÁLCULO DE LOS COSTOS DE INVERSIÓN (CAPEX).....	7
4.1 OBRAS CIVILES.....	8
4.2 EQUIPOS	10
4.3 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA.....	11
5. CÁLCULO DE LOS GASTOS OPERACIONALES (OPEX).....	13
6. PRESUPUESTO CHEPETE.....	17
7. PRESUPUESTO BALA 220.....	19
8. CRONOGRAMAS DE OBRAS	20
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	22
10. BIBLIOGRAFÍA	23

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Items Grupo Obras Civiles Subgrupos Infraestructura Vial y Desviación Río Beni (Chepete)	8
Tabla 2. Items Grupo Obras Civiles, Subgrupos Presa Vertedero en CCR, Casas de máquinas derecha e Izquierda – Proyecto Chepete	9
Tabla 3. Items Grupo Equipos, Subgrupos Casas de máquinas derecha - Proyecto Chepete ..	10
Tabla 4. Items Grupo Equipos, Subgrupos Casas de máquinas izquierda – Proyecto Chepete	11
Tabla 5. Items Grupo Líneas de transmisión	12
Tabla 6. Esquema Presupuestos Alternativas Proyecto Hidroeléctrico El Bala - Proyecto Chepete	12
Tabla 7. Ejemplo de cálculo del valor presente Proyecto Chepete	13
Tabla 8. Cálculo de la amortización y Costos de operación y Mantenimiento Proyecto Chepete	15
Tabla 9. Capex, Costo de Potencia y Costo de Energía del proyecto Chepete	16
Tabla 10. Resumen Costos energéticos alternativas Proyecto Hidroeléctrico El Bala	16

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Programación de actividades proyecto Chepete	20
Figura 2. Programación de actividades proyecto Bala 220	21

1. INTRODUCCION

El presente informe se circunscribe en el marco del contrato N° 11300, celebrado entre la Empresa de Electricidad ENDE y la consultora GEODATA, cuyo objeto principal consiste en el Estudio de Identificación Proyecto Hidroeléctrico El Bala.

Como parte integral de la identificación de la alternativa de aprovechamiento, se ha realizado un análisis de costos y presupuestos con el fin de valorar las mejores condiciones económicas de producción y venta de energía, considerando el mercado de venta nacional y extranjero.

2. OBJETIVOS

El objetivo general de este informe es valorar las inversiones CAPEX y los COSTOS DE GENERACIÓN, teniendo en cuenta los costos anuales por AMORTIZACIÓN, y OPEX relacionados con la operación de las centrales a 50 años, del proyecto en cascada seleccionado.

3. CONSIDERACIONES PARA EL CÁLCULO DE LOS PRESUPUESTOS

El costo real de un proyecto hidroeléctrico puede variar dependiendo de su nivel de estudio, generalmente disminuyéndolo al ser optimizado en etapas posteriores y en ocasiones aumentándolo, al encontrar en ellas, factores geotécnicos adversos que aumentan las cantidades de obra y los tiempos de ejecución.

Otro factor que generalmente modifica un presupuesto es la modalidad de contratación de las obras, dependiendo quién asume los riesgos geológicos y/o geotécnicos, si es el Cliente o el Constructor.

La capacidad técnica, administrativa y financiera del Contratista, puede modificar el tiempo de construcción de una obra.

En particular, en la estimación de los presupuestos de obra, es conveniente adoptar precios unitarios de proyectos hidroeléctricos construidos o en ejecución, similares a los del proyecto analizado, ajustados a las condiciones reales y fecha del nuevo proyecto.

El análisis de precios unitarios es una labor que debe realizar el constructor, porque depende de sus recursos, experiencia y rendimientos considerados en la obra. Es una herramienta de control que mide los costos y rendimientos en la fase de construcción.

Con base en los resultados de los análisis energéticos, basados en series hidrológicas mensuales de 47 años, en la altura de generación, deducida de parámetros topográficos y pérdidas hidráulicas de energía, a nivel del estudio de Identificación, se elaboraron planos de obras y se seleccionaron los equipos. Con los cuales se calcularon las cantidades de obra y equipos hidromecánicos, electromecánicos y líneas de transmisión eléctrica.

En los siguientes capítulos se desarrolla la elaboración del presupuesto CAPEX y OPEX, y los presupuestos del proyecto Chepete + Bala 220.

4. CÁLCULO DE LOS COSTOS DE INVERSIÓN (CAPEX)

El cálculo de presupuestos de las alternativas del proyecto hidroeléctrico El Bala se realizó con base a precios unitarios referenciales de acuerdo a proyectos hidroeléctricos construidos: La Miel I, Hidro-Sogamoso, Porce II, Guavio e Ituango (*en construcción*) en Colombia, Minas San Francisco en Ecuador, Gibe III en Etiopía y en contratos en ejecución en Bolivia, como es el proyecto hidroeléctrico Miguillas. Estos precios se ajustaron con los respectivos índices de actualización y consideraciones locales para el proyecto El Bala, tal Como el precio del cemento (*puesto en sitio de las obras*), cotización suministrada por SOBOCE.

En relación con los precios de los equipos electromecánicos, se solicitó cotización a ANDRITZ, VOITH e IMPSA, de las cuales se recibió cotización de ANDRITZ para las turbinas Francis del proyecto Chepete 400 y turbinas Bulbo para el proyecto El Bala 220. ANDRITZ verificó y confirmó la mencionada cotización. No obstante, se verificó el costo de las turbinas aplicando la estadística de 81 centrales hidroeléctricas, a nivel mundial, recopiladas en el artículo “Estimating E&M powerhouse costs, by Cesar Alvarado-Ancieta” y se aplicó el 15%, del valor del equipo para la instalación.

El costo del equipo hidromecánico se estimó teniendo en cuenta la cotización de las compuertas del vertedero del proyecto hidroeléctrico Ituango, las cuales son iguales (15×20 m) a las que se utilizarán en el proyecto El Bala 220. En los Tomos 2.10 Informe técnico proyecto hidroeléctrico Chepete (Producto N°2) y 2.11 Informe técnico proyecto hidroeléctrico el bala 220 (Producto N°2, se presenta los cálculos hidráulicos y planos de las obras para estos proyectos.

Los costos de las sub-estaciones y línea de transmisión eléctrica, en corriente continua y 500 KV, se tomaron del proyecto hidroeléctrico Coca Coso Sinclair, actualmente en construcción en Ecuador. En el Tomo 2.8 Línea de transmisión eléctrica (Producto N°2), se detallan los costos de cada sub-estación eléctrica y las líneas de transmisión.

Los soportes de los costos empleados en el cálculo de los presupuestos, se encuentran el Anexo 2 del Tomo 2.12 Presupuestos y costos de energía (Producto N°2).

El presupuesto está dividido en 3 grandes grupos: Obras civiles, Equipos y Líneas de transmisión eléctrica. A continuación, se listan los subgrupos e ítems que componen estos grupos:

4.1 OBRAS CIVILES

Está integrado por las vías, obras de desviación, presa vertedero y casas de máquinas (Subterránea o superficial), de acuerdo a la configuración desarrollada. A continuación, se despliegan los cuadros de los ítems considerados dentro de cada subgrupo y las unidades consideradas para del cálculo del presupuesto.

Tabla 1. Ítems Grupo Obras Civiles Subgrupos Infraestructura Vial y Desviación Río Beni (Chepete)

	UNIDAD
OBRAS CIVILES	
INFRAESTRUCTURA VIAL	
Carretera principal acceso B = 9 m	Km
Carretera de faena B = 7 m	Km
Puente: ancho 9 m x 150 m, río Beni	m ²
DESVIACIÓN RÍO BENI	
Túnel Carga Derecho. L= 1.127,68 m	m ³
Túnel Carga Izquierdo. L= 888,41 m	m ³
Túnel Descarga Derecho. L= 1307,13 m	m ³
Túnel Descarga Izquierdo. L= 1.178,64 m	m ³
Túnel Desviación L= 1.057,81 m	m ³
Túnel Conector desde túnel de descarga a túnel de carga derecho	m ³
Túnel conector desde túnel de descarga a túnel de carga izquierdo	m ³
Túneles de transición ϕ 15,5 m a ϕ 18,50 m	m ³
Túneles de transición ϕ 15,5 m a ϕ 20,0 m	m ³
Preataguía en enrocado y geomembrana	m ³
Ataguía en CCR (2 ataguías)	m ³
Ataguía aguas abajo enrocado y arcilla	m ³

Fuente: Geodata

Tabla 2. Items Grupo Obras Civiles, Subgrupos Presa Vertedero en CCR, Casas de máquinas derecha e Izquierda – Proyecto Chepete

	UNIDAD
OBRAS CIVILES	
PRESA VERTEDERO EN RCC	
Excavaciones	m ³
Galerías de inyecciones y de drenajes	m ³
Plinton L= 540 m, B= 6 m, e = 1,5 m	m ³
Inyecciones (100 kg cemento/m)	m
Perforaciones de drenaje	m
Geomembrana Carpi	m ²
Concreto Convencional	m ³
Presa RCC	m ³
Instrumentación	S.G
Vertedero y descarga de medio fondo	m ³
Equipo mecanico de la presa	S.G
CASAS DE MÁQUINAS	
CASA DE MÁQUINAS MARGEN DERECHA	
Caverna turbinas (excava.y sosteni)	m ³
Caverna transfor.(excava.y sosteni)	m ³
Túneles de acceso a casa de máquinas $\Phi=5.0$ y L=68,60	m ³
Pozo bocatoma $\Phi=17,10$, h= 365,07 m	m ³
Plataforma bocatoma (incluye hormigón)	m ³
Cucharas cierre bocatoma	S.G
Galerías de acceso,colector, barras	m ³
Pozo de cables $\Phi=5,0$ m	m ³
Plataforma pozo de cables (incluye hormigón)	m ³
Blindajes túnel de carga L= 420 m	ton
Blindaje bifurcadores	ton
Tapones con inyecciones	m ³
Obra civil bocatoma	S.G
Rejas bocatoma	S.G
Distribuidor	m ³
CASA DE MÁQUINAS MARGEN IZQUIERDA	
Caverna turbinas (excava.y sostenimientos)	m ³
Caverna transfor.(excava.y sostenimientos)	m ³
Túneles de acceso a casa de máquinas $\Phi=5.0$ y L=70,62	m ³
Pozo bocatoma $\Phi=17,10$, h= 51,84 m	m ³
Plataforma bocatoma (incluye hormigón)	m ³
Cucharas cierre bocatoma	S.G
Galerías de acceso,colector, barras	m ³
Pozo de cables $\Phi=5,0$ m	m ³
Plataforma pozo de cables (incluye hormigón)	m ³
Blindajes túnel de carga L= 425 m	ton
Ramales blindados 10	ton
Tapones con inyecciones	m ³
Obra civil bocatoma	S.G
Rejas bocatoma	S.G
Distribuidor	m ³

Fuente: Geodata

4.2 EQUIPOS

Está integrado por los equipos eléctricos y mecánicos, así como los accesorios para el equipamiento de la casa de máquinas. A continuación, se presentan los cuadros de los ítems considerados dentro de cada subgrupo y las unidades consideradas para del cálculo del presupuesto.

Tabla 3. Items Grupo Equipos, Subgrupos Casas de máquinas derecha - Proyecto Chepete

EQUIPOS	
CASA DE MÁQUINAS MARGEN DERECHA	
Equipos mecánicos	
Turbina Francis vertical, gobernador de turbina y válvula mariposa, válvula mariposa DN 4100, puente grúa de central, sistema de agua de enfriamiento de unidades, sistema de vaciado y drenaje de turbinas, sistema de separación agua/aceite, sistema de aire comprimido central	S.G
Equipos mecánicos pozo de cables	Mw
Instalación equipos, pruebas y puesta en marcha (15%)	S.G
Equipos eléctricos	
Generador 200 MVA, sistema de excitación del generador, barras de fase aislada(50m/fase), transformador de poder 200 MVA trifásico 13,8/230 kV, Transformador de servicio propio, tipo seco; 1200 kVA, grupo electrógeno 1200kVA, sistema de distribución de CA y CC, Baterías y cargadores; 1000Ah, sistema de cableado (BT y Control), sistema de protecciones de la central, sistema de automatización de la central, sistema de control de la central.	S.G
S/E en casa máquinas	S.G
Patio conexiones y otros equipos	S.G
Cables de potencia salida de SE casa de máquinas, incluye terminales	km
Instalación equipos, pruebas y puesta en marcha (15%)	S.G

Fuente: Geodata

Tabla 4. Items Grupo Equipos, Subgrupos Casas de máquinas izquierda – Proyecto Chepete

EQUIPOS	
CASA DE MÁQUINAS MARGEN IZQUIERDA	
Equipos mecánicos	
Turbina Francis vertical, gobernador de turbina y válvula mariposa, válvula mariposa DN 4100, puente grúa de central, sistema de agua de enfriamiento de unidades, sistema de vaciado y drenaje de turbinas, sistema de separación agua/aceite, sistema de aire comprimido central	S.G
Equipos mecánicos pozo de cables	Mw
Instalación equipos, pruebas y puesta en marcha (15%)	S.G
Equipos eléctricos	
Generador 200 MVA, sistema de excitación del generador, barras de fase aislada(50m/fase), transformador de poder 200 MVA trifásico 13,8/230 kV, Transformador de servicio propio, tipo seco; 1200 kVA, grupo electrógeno 1200kVA, sistema de distribución de CA y CC, Baterías y cargadores; 1000Ah, sistema de cableado (BT y Control), sistema de protecciones de la central, sistema de automatización de la central, sistema de control de la central.	S.G
S/E en casa máquinas	S.G
Patio conexiones y otros equipos	S.G
Cables de potencia salida de SE casa de máquinas, incluye terminales	km
Instalación equipos, pruebas y puesta en marcha (15%)	S.G

Fuente: Geodata

4.3 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA

Está integrado por la subestación de la central hidroeléctrica y la correspondiente línea de transmisión. A continuación se presenta los cuadros de los ítems considerados dentro de cada subgrupo y las unidades tenidas en cuenta para del cálculo del presupuesto.

Tabla 5. Items Grupo Líneas de transmisión

	UNIDAD
LÍNEA DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA	
Sub-Estación HDVC Chepete	S.G
Línea 500 Kv,HDVC Chepete-El Bala-Brasil	km

Fuente: Geodata

En la Tabla 6 se observa el esquema general desarrollado en el presupuesto elaborado por cada alternativa. Se presentan algunas diferencias teniendo en cuenta el desarrollo ingenieril que se le ha dado a cada una de estas.

Tabla 6. Esquema Presupuestos Alternativas Proyecto Hidroeléctrico El Bala - Proyecto Chepete

PROYECTO HIDROELÉCTRICO CHEPETE			
	US\$/ÍTEM _{parcial}	US\$/ÍTEM _{TOTAL}	%
OBRAS CIVILES		2.292.253.275,85	48,6%
INFRAESTRUCTURA VIAL	166.815.194,98		
DESVIACIÓN RÍO BENI	348.076.646,76		
PRESA VERTEDERO EN RCC	414.411.098,61		
CASA DE MÁQUINAS MARGEN DERECHA	605.997.100,56		
CASA DE MÁQUINAS MARGEN IZQUIERDA	756.953.234,95		
TOTAL OBRAS CIVILES	2.292.253.275,85		
Administración, imprevistos, Utilidades (40%)	916.901.310,34	916.901.310,34	19,4%
EQUIPOS		715.784.503,05	15,2%
CASA DE MÁQUINAS MARGEN DERECHA			
Equipos mecánicos	130.278.674,03		
Equipos eléctricos	227.613.577,50		
CASA DE MÁQUINAS MARGEN IZQUIERDA			
Equipos mecánicos	130.278.674,03		
Equipos eléctricos	227.613.577,50		
LÍNEA DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA	575.000.000,00	575.000.000,00	12,2%
Sub-Estación HDVC Chepete			
Línea 500 Kv,HDVC Chepete-El Bala-Brasil			
Ingeniería para diseño y supervisión (6% OC + LEt)	172.035.196,55	172.035.196,55	3,6%
SUBTOTAL		4.671.974.285,79	99,0%
COMPENSACIONES AMBIENTALES (1%)	46.719.742,86	46.719.742,86	1,0%
TOTAL	4.718.694.028,65	4.718.694.028,65	100,0%

Fuente: Geodata

5. CÁLCULO DE LOS GASTOS OPERACIONALES (OPEX)

En primera instancia de acuerdo con el cronograma de construcción, se determinó el cronograma de inversiones el cual es base para la consiguiente evaluación económica.

A partir del cronograma de inversiones se llevan los costos a valor presente. Este valor acumulado por grupo (Obras civiles, Equipos y Líneas de transmisión) se distribuye en el tiempo de amortización de las obras, que para estas alternativas de proyecto corresponde a 50 años.

Para el cálculo del valor actualizado de las inversiones se utilizó la fórmula

$$VF = VP * (1 + i)^n$$

VF: Valor Futuro

VP: Valor presente

I %: tasa de retorno

n: años

En la Tabla 7 se ilustra el cronograma de inversiones y el costo llevado a valor futuro, al año de inicio de las operaciones.

Tabla 7. Ejemplo de cálculo del valor presente

Proyecto Chepete

	PROYECTO HIDROELÉCTRICO CHEPETE				CRONOGRAMA DE INVERSIONES						Valor presente			
	UNIDAD	CANTIDAD	US\$/unidad	TOTAL US\$	US\$/ITEM _{presente}	US\$/ITEM _{futuro}	%	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	US\$/ITEM _{presente}
OBRAS CIVILES					166.815.194,98	2.292.253.275,85	48,6%							
INFRAESTRUCTURA VIAL														
Carretera principal acceso B = 9 m	Km	145,00	1.094.167,85	158.654.338,12				79.327.169						296.379.342
Carretera de faena B = 7 m	Km	8,00	851.019,44	6.808.155,51				6.808.156						11.998.296
Puente: ancho 9 m x 150 m, río Beni	m ²	1.350,00	1.002,00	1.352.701,35				1.352.701						2.383.922
DESVIACIÓN RÍO BENI					348.076.646,76									
Túnel Carga Derecho. L= 1.127,68 m	m ³	292.996,49	200,00	58.599.298,00						41.019.509	17.579.789			89.243.329
Túnel Carga Izquierdo. L= 888,41 m	m ³	227.716,65	200,00	45.543.330,00						27.325.998	18.217.332			68.992.027
Túnel Descarga Derecho. L= 1307,13 m	m ³	382.874,38	200,00	76.574.876,00						45.944.902	30.629.934			115.328.045
Túnel Descarga Izquierdo. L= 1.178,64 m	m ³	349.306,35	200,00	69.861.270,00						48.902.945	20.958.405			106.394.781
Túnel Desviación L= 1.097,81 m	m ³	233.644,09	200,00	46.728.818,00						14.018.645	32.710.173			68.014.047
Túnel Conector desde túnel de descarga a túnel de carga derecho	m ³	85.767,54	200,00	17.153.508,00						5.146.052	12.007.456			24.967.024
Túnel conector desde túnel de descarga a túnel de carga izquierdo	m ³	92.114,37	200,00	18.422.874,00						5.526.862	12.896.012			26.814.593
Túneles de transición 4 15,5 m a 4 18,50 m	m ³	4.047,28	200,00	809.456,00						242.837	566.619			1.178.168
Túneles de transición 4 15,5 m a 4 20,0 m	m ³	6.628,12	200,00	1.325.624,00						397.687	927.937			1.929.451
Pretagula en enrocado y geomembrana	m ³	150.456,57	17,33	2.607.341,05								2.607.341		3.270.649
Ataguis en CCR (2 ataguis)	m ³	112.031,15	92,07	10.314.707,98								10.314.708		12.938.770
Ataguis aguas abajo enrocado y varilla	m ³	7.819,24	17,33	135.503,72								135.504		169.976

Fuente: Geodata

La AMORTIZACIÓN se aplica con el sistema de cuotas iguales, que relaciona la tasa de interés anual y número de cuotas:

$$a = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

a: amortización anual

i %: tasa de retorno

n: años

El COSTO DE OPERACIÓN se valoró de acuerdo con la potencia instalada, considerando un costo de 4 US\$/KW instalado.

El COSTO DE MANTENIMIENTO anual se valoró en función de la inversión, con magnitudes de 0.15% de las obras civiles y 0.90% de los equipos electromecánicos.

Adicionalmente, en el cálculo del OPEX se tuvo en cuenta la reposición parcial de los equipos a los 25 años, tiempo recomendado en la norma francesa y americana.

Tabla 8. Cálculo de la amortización y Costos de operación y Mantenimiento Proyecto Chepete

PROYECTO HIDROELÉCTRICO CHEPETE	Valor presente US\$/ITEM _{TOTAL}	PERIODO DE OPERACIÓN									
		AÑO 1 A 24		AÑO 25		AÑO 26 A 49		AÑO 50		TOTAL	
		Amortización	OPEX	Amortización	OPEX	Amortización	OPEX	Amortización	OPEX	Amortización	OPEX
OBRAS CIVILES	4.996.420.219,47										
INFRAESTRUCTURA VIAL		601.652.252	7.494.630	601.652.252	7.494.630	601.652.252	7.494.630	601.652.252	7.494.630	29.984.895.178	374.731.516
DESVIACIÓN RÍO BENI											
PRESA VERTEDERO EN RCC											
CASAS DE MÁQUINAS											
CASA DE MÁQUINAS MARGEN DERECHA											
CASA DE MÁQUINAS MARGEN IZQUIERDA											
TOTAL OBRAS CIVILES											
Administración, imprevistos, Utilidades (40%)											
EQUIPOS	946.339.376,04	113.955.030	21.521.536	113.955.030	21.521.536	113.955.030	21.521.536	113.955.030	21.521.536	5.697.751.510	1.076.076.819
CASA DE MÁQUINAS MARGEN DERECHA											
Equipos mecánicos											
Equipos eléctricos											
CASA DE MÁQUINAS MARGEN IZQUIERDA											
Equipos mecánicos											
Equipos eléctricos											
LÍNEA DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA	735.494.144,00	88.565.751	6.619.447	88.565.751	6.619.447	88.565.751	6.619.447	88.565.751	6.619.447	4.428.287.542	330.972.365
Ingeniería para diseño y supervisión (6% OC + LEI)											
SUBTOTAL											
COMPENSACIONES AMBIENTALES (1%)	52.326.112,00	6.300.936		6.300.936		6.300.936		6.300.936		315.046.791	
TOTAL	6.730.579.852	810.473.969	35.635.614	983.989.063	35.635.614	810.473.969	35.635.614	810.473.969	35.635.614	40.599.496.115	1.781.780.700

Fuente: Geodata

Finalmente, con la sumatoria de la AMORTIZACIÓN y OPEX se calculó el COSTO DE LA ENERGÍA, el cual corresponde a la sumatoria de amortización y opex al final de los 50 años, dividida por la generación total durante el mismo tiempo.

$$C = \frac{\sum(am + opex)}{\text{Generación 50 años}}$$

El factor de planta corresponde a la capacidad media operativa sobre la capacidad máxima, indica el porcentaje de utilización real de la central.

Como resultados finales en cada presupuesto se entrega el CAPEX, COSTO DE LA POTENCIA y el COSTO DE LA ENERGÍA.

Tabla 9. Capex, Costo de Potencia y Costo de Energía del proyecto Chepete

TOTAL Amortización + Opex	42.381.276.815
Generación 50 años (MW-H)	770.462.615
Costo Energía (USD\$ / MW-Hr)	55,01
Potencia instalada (MW)	3.251,12
Costo potencia (USD\$ /MW)	1.451.405
Factor de planta	54,1059
CAPEX (USD\$)	4.718.694.028,65
Tasa de Descuento (%)	12

Fuente: Geodata

A continuación se presenta el resumen de costos para el proyecto en cascada Chepete + Bala220.:

Tabla 10. Resumen Costos energéticos Proyecto Chepete + Bala 220

ALTERNATIVA	CAPEX (USD\$)	COSTO ENERGÍA (USD \$/MWH)	COSTO POTENCIA (USD \$/MW)
CHEPETE 400	4.718.694.028,65	55,01	1.451.405
BALA 220, regulación en Chepete	1.359.227.983,89	80,51	3.196.830

Fuente: Geodata

PROYECTO HIDROELÉCTRICO CHEPETE					CRONOGRAMA DE INVERSIONES							Valor presente			PERIODO DE OPERACIÓN															
UNIDAD	CANTIDAD	US\$/unidad	TOTAL US\$	US\$/ÍTEM _{parcial}	US\$/ÍTEM _{TOTAL}	%	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	US\$/ÍTEM _{parcial}	US\$/ÍTEM _{parcial}	US\$/ÍTEM _{TOTAL}	AÑO 1 A 24		AÑO 25		AÑO 26 A 49		AÑO 50		TOTAL						
																Amortización	OPEX	Amortización	OPEX	Amortización	OPEX	Amortización	OPEX	Amortización	OPEX	Amortización	OPEX			
EQUIPOS					715.784.503,05	15,2%																								
CASA DE MÁQUINAS MARGEN DERECHA					130.278.674,03									174.263.449																
Equipos mecánicos																														
Turbina Francis vertical, gobernador de turbina y válvula mariposa, válvula mariposa DN 4100, puente grúa de central, sistema de agua de enfriamiento de unidades, sistema de vaciado y drenaje de turbinas, sistema de separación agua/aceite, sistema de aire comprimido central	S.G	1,00	112.978.900,00	112.978.900,00					28.244.725	28.244.725	28.244.725	28.244.725																		
Equipos mecánicos pozo de cables	Mw	1.625,56	188,80	306.903,50									306.904	343.732													30.690			
Instalación equipos, pruebas y puesta en marcha (15%)	S.G	1,00	16.992.870,53	16.992.870,53					4.236.709	4.236.709	4.236.709	4.282.744	22.730.015																	
Equipos eléctricos					227.613.577,50									298.906.239																
Generador 200 MVA, sistema de excitación del generador, barras de fase aislada(50m/fase), transformador de poder 200 MVA trifásico 13,8/230 kV, Transformador de servicio propio, tipo seco; 1200 kVA, grupo electrógeno 1200kVA, sistema de distribución de CA y CC, Baterías y cargadores; 1000Ah, sistema de cableado (BT y Control), sistema de protecciones de la central, sistema de automatización de la central, sistema de control de la central.	S.G	1,00	173.714.850,00	173.714.850,00					43.428.713	43.428.713	43.428.713	43.428.713	232.467.269														34.742.970			
S/E en casa máquinas	S.G	1,00	16.000.000,00	16.000.000,00									16.000.000	17.920.000																
Patio conexiones y otros equipos	S.G	1,00	5.000.000,00	5.000.000,00							2.500.000	2.500.000	5.936.000														500.000			
Cables de potencia salida de SE casa de máquinas, incluye terminales	km	1,00	3.210.000,00	3.210.000,00									3.210.000	3.595.200																
Instalación equipos, pruebas y puesta en marcha (15%)	S.G	1,00	29.688.727,50	29.688.727,50					6.514.307	6.514.307	6.889.307	9.770.807	38.987.770																	
CASA DE MÁQUINAS MARGEN IZQUIERDA					130.278.674,03									174.263.449																
Equipos mecánicos																														
Turbina Francis vertical, gobernador de turbina y válvula mariposa, válvula mariposa DN 4100, puente grúa de central, sistema de agua de enfriamiento de unidades, sistema de vaciado y drenaje de turbinas, sistema de separación agua/aceite, sistema de aire comprimido central	S.G	1,00	112.978.900,00	112.978.900,00					28.244.725	28.244.725	28.244.725	28.244.725	151.189.702														22.595.780			
Equipos mecánicos pozo de cables	Mw	1.625,56	188,80	306.903,50									306.904	343.732													306.904			
Instalación equipos, pruebas y puesta en marcha (15%)	S.G	1,00	16.992.870,53	16.992.870,53					4.236.709	4.236.709	4.236.709	4.282.744	22.730.015																	
Equipos eléctricos					227.613.577,50									298.906.239																
Generador 200 MVA, sistema de excitación del generador, barras de fase aislada(50m/fase), transformador de poder 200 MVA trifásico 13,8/230 kV, Transformador de servicio propio, tipo seco; 1200 kVA, grupo electrógeno 1200kVA, sistema de distribución de CA y CC, Baterías y cargadores; 1000Ah, sistema de cableado (BT y Control), sistema de protecciones de la central, sistema de automatización de la central, sistema de control de la central.	S.G	1,00	173.714.850,00	173.714.850,00					43.428.713	43.428.713	43.428.713	43.428.713	232.467.269														34.742.970			
S/E en casa máquinas	S.G	1,00	16.000.000,00	16.000.000,00									16.000.000	17.920.000																
Patio conexiones y otros equipos	S.G	1,00	5.000.000,00	5.000.000,00							2.500.000	2.500.000	5.936.000														500.000			
Cables de potencia salida de SE casa de máquinas, incluye terminales	km	1,00	3.210.000,00	3.210.000,00									3.210.000	3.595.200																
Instalación equipos, pruebas y puesta en marcha (15%)	S.G	1,00	29.688.727,50	29.688.727,50					6.514.307	6.514.307	6.889.307	9.770.807	38.987.770																	
LÍNEA DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA					575.000.000,00	575.000.000,00	12,2%							735.494.144	735.494.144,00															
Sub-Estación HDVC Chepete	S.G	1,00	225.000.000,00	225.000.000,00									112500000	112500000	267.120.000												22.500.000			
Línea 500 kv,HDVC Chepete-El Bala-Brasil	km	1.000,00	350.000,00	350.000.000,00					87.500.000	87.500.000	87.500.000	87.500.000	468.374.144														35.000.000			
Ingeniería para diseño y supervisión (6% OC + LEt)	S.G	1,00	172.035.196,55	172.035.196,55	172.035.196,55	172.035.196,55	3,6%	#####	68.814.079				325.014.103	325.014.103																
SUBTOTAL																														
COMPENSACIONES AMBIENTALES (1%)					46.719.742,86	46.719.742,86	1,0%						46.719.743	52.326.112	52.326.112	52.326.112,00	6.300.936										315.046.791			
TOTAL					4.718.694.028,65	4.718.694.028,65	100,0%	#####	988.290.666	1.480.159.295	651.545.889	713.953.769	670.465.255	7.055.593.955	7.055.593.955	6.730.579.852	810.473.969	35.635.614	983.989.063	35.635.614	810.473.969	35.635.614	810.473.969	35.635.614	810.473.969	35.635.614	1.781.780.700			
																											TOTAL Amortización + Opex	42.381.276.815		
																												Generación 50 años (MW-H)	770.462.615	
																													Costo Energía (USD\$ / MW-Hr)	55,01
																													Potencia instalada (MW)	3.251,12
																													Costo potencia (USD\$ /MW)	1.451,405
																													Factor de planta	54,1059
																													CAPEX (USD\$)	#####
																													Tasa de Descuento (%)	12

7. PRESUPUESTO BALA 220

PROYECTO HIDROELÉCTRICO BALA 220					PROGRAMA DE INVERSIONES				Valor presente	Valor presente	Valor presente	PERIODO DE OPERACIÓN													
UNIDAD	CANTIDAD	US\$/unidad	TOTAL US\$	US\$/ITEM _{parcial}	US\$/ITEM _{TOTAL}	%	Año 1'	Año 2'	Año 3'	Año 4'	US\$/ITEM _{parcial}	US\$/ITEM _{parcial}	US\$/ITEM _{TOTAL}	AÑO 1 A 24		AÑO 25		AÑO 26 A 49		AÑO 50		TOTAL			
														Amortización	OPEX	Amortización	OPEX	Amortización	OPEX	Amortización	OPEX	Amortización	OPEX		
OBRAS CIVILES																									
INFRAESTRUCTURA VIAL					38.389.433,13	639.973.597,84	47,1%							1.174.853.245,45	141.471.908	1.762.280	141.471.908	1.762.280	141.471.908	1.762.280	141.471.908	1.762.280	7.073.595.396	88.113.993	
Carretera principal acceso B = 9 m	Km	25,00	1.094.167,85	27.354.196,23			27.354.196						43.042.357												
Carretera de faena B = 7 m	Km	10,00	851.019,44	8.510.194,38			8.510.194						13.390.956												
Puente: ancho 9 m x 280 m, río Beni	m ²	2.520,00	1.002,00	2.525.042,52			2.525.043						3.973.203												
DESVIACIÓN RÍO BENI					14.655.602,66																				
Preatagüa en enrocado y geomembrana	m ³	506.322,04	17,33	8.774.321,00			8.774.321						13.806.564												
Preatagüa aguas abajo enrocado y arcilla	m ³	262.497,32	17,33	4.548.954,15			4.548.954						7.157.867												
Manejo del río (10%)	S.G.	1,00	1.332.327,51	1.332.327,51			1.332.328						2.096.443												
PRESA CON COMPUERTAS					128.210.678,91																				
Plataforma acceso excavación	m ³	127.019,00	7,24	919.592,16			919.592						1.291.961												
Plataforma descarga excavación	m ³	60.781,00	7,24	440.042,28			440.042						618.228												
Zona compuertas excavación	m ³	92.394,00	7,24	668.914,08			668.914						939.776												
Hormigón Reforzado	m ³	276.141,95	425,00	117.360.328,75			117.360.329						164.882.812												
Geomembrana	m ²	52.250,00	60,00	3.135.000,00			3.135.000						4.404.449												
Terraplenes	m ³	50.000,00	30,00	1.500.000,00			1.500.000						2.107.392												
Enrocados Consolidados	m ³	80.000,00	45,00	3.600.000,00			3.600.000						5.057.741												
Instrumentación	S.G.	1,00	586.801,64	586.801,64			586.802						824.414												
CASAS DE MÁQUINAS					458.717.883,14																				
CASA DE MÁQUINAS					458.717.883,14																				
Zona casa de máquinas (turbinas)	m ³	151.913,00	7,24	1.099.819,74			1.099.820						1.545.168												
Plataforma Subestación	m ³	5.010,00	7,24	36.271,40			36.271						50.959												
Hormigón Reforzado	m ³	1.055.552,00	425,00	448.609.600,00			448.609.600						562.735.882												
Instrumentación	S.G.	1,00	8.972.192,00	8.972.192,00			8.972.192						11.254.718												
TOTAL OBRAS CIVILES					639.973.597,84																				
Administración, imprevistos, Utilidades (40%)					255.989.439,14	255.989.439,14	18,8%	21.218.014	51.738.708	183.032.717			335.672.356												
EQUIPOS					200.923.345,95	203.865.719,91	15,0%																		
CASA DE MÁQUINAS					200.923.345,95																				
Equipos mecánicos					200.923.345,95																				
Turbina Bulbo, gobernador de turbina, puente grúa de central, sistema de agua de enfriamiento de unidades, sistema de vaciado y drenaje de turbina, sistema de separación agua/Aceite, sistema de aire comprimido de central.	S.G.	1,00	88.575.500,00	88.575.500,00			22.143.875,00	22.143.875,00	#####	#####			118.532.783											17.715.100	
Misceláneos	S.G.	1,00	744.000,00	744.000,00			186.000,00	186.000,00	186.000,00	186.000,00			995.630											74.400	
Compuertas Radiales	und	11,00	2.900.000,00	31.900.000,00			15.950.000,00	15.950.000,00					47.506.235											3.190.000	
Grúas y accesorios para compuertas	und	11,00	31.023,00	341.253,00			170.626,50	170.626,50					508.202											34.125	
Stop Log para compuertas	und	11,00	1.500.000,00	16.500.000,00			8.250.000,00	8.250.000,00					24.572.191											1.650.000	
Grúas y accesorios para compuertas Stop Log de ingreso	und	12,00	18.200,00	218.400,00			109.200,00	109.200,00					325.246											21.840	
Stop Log (2) para salida de turbinas	und	24,00	1.500.000,00	36.000.000,00			18.000.000,00	18.000.000,00					53.612.052											3.600.000	
Grúas y accesorios para compuertas Stop Log de salida	und	24,00	18.200,00	436.800,00			218.400,00	218.400,00					650.493											43.680	
Instalación equipos, pruebas y puesta en marcha (15%)	S.G.	1,00	26.207.392,95	26.207.392,95			19.508.430	3.349.481	3.349.481	3.349.481			35.360.948												
Equipos eléctricos					2.942.373,96																				
Generadores 34.5 MVA, sistema de excitación del generador, interruptor del generador, sistema de cable MT (30m/fase) para conexión entre generador e interruptores, transformador de poder 34.5 MVA trifásico 13,28/230 kV, transformador de servicio propio, tipo seco; 630 kVA grupo electrógeno 630 kVA, sistema de distribución CA y CC, baterías y cargadores; 600 Ah; sistema de cableado (BT y Control); sistema de protecciones de la central; sistema de automatización de la central, sistema de control de la central.	S.G.	1,00	107.070,90	107.070,90			26.768	26.768	26.768	26.768			143.284											21.414	
Patio conexiones y otros equipos	S.G.	1,00	2.451.515,15	2.451.515,15									2.745.697											245.152	
Cables de potencia salida de SE casa de máquinas, incluye terminales	km	0,00	3.210.000,00	0,00																					
Instalación equipos, pruebas y puesta en marcha (15%)	S.G.	1,00	383.787,91	383.787,91				8.030	4.015	371.742			432.670												
LÍNEA DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA					180.318.181,82	180.318.181,82	13,3%																		
Sub-Estación HDVC El Bala	S.G.	1,00	110.318.181,82	110.318.181,82				27.579.545	27.579.545	55.159.091			135.121.239												11.031.818
Línea 500 kv,HDVC Chepete-El Bala-Brasil	km	200,00	350.000,00	70.000.000,00				17.500.000	17.500.000	35.000.000			85.738.240												7.000.000
Ingeniería para diseño y supervisión (8% OC + LET)					65.623.342,37	65.623.342,37	4,8%	39.374.005	26.249.337				98.834.188												
SUMA						1.345.770.281,08	99,0%																		
COMPENSACIONES AMBIENTALES (1%)						13.457.702,81	1,0%						13.457.703												90.749.774
SUB-TOTAL						1.359.227.983,89	100,0%	178.691.925	336.985.690	711.404.193	132.146.175	1.795.004.972	1.795.004.972	1.696.170.783	204.247.226	8.019.204	248.874.756	8.019.204	204.247.226	8.019.204	204.247.226	8.019.204	204.247.226	8.019.204	10.256.988.852
TOTAL Amortización + Opex																									10.657.949.040
Generación 50 años (MW-H)																									132.387.751.259
Costo Energía (USD\$ / MW-Hr)																									80,51
Potencia instalada (MW)																									425,18
Costo potencia (USD\$ /MW)																									3.196.830
Factor de planta																									71,09
CAPEX (USD\$)																									1.359.227.983,89
Tasa de Descuento (%)																									12

8. CRONOGRAMAS DE OBRAS

A continuación se observa el cronograma de actividades de los proyectos Chepete y Bala 220.

El proyecto Chepete, incluyendo la construcción de la carretera de acceso, obras civiles, equipamiento de las dos casas de máquinas, llenado del embalse y pruebas hidráulicas y eléctricas, iniciaría la operación comercial en el año 7°.

El proyecto El Bala 220, incluyendo la construcción de la carretera de acceso, obras civiles y equipamiento de la casa de máquina, pruebas hidráulicas y eléctricas, iniciaría la operación comercial en el año 5°.

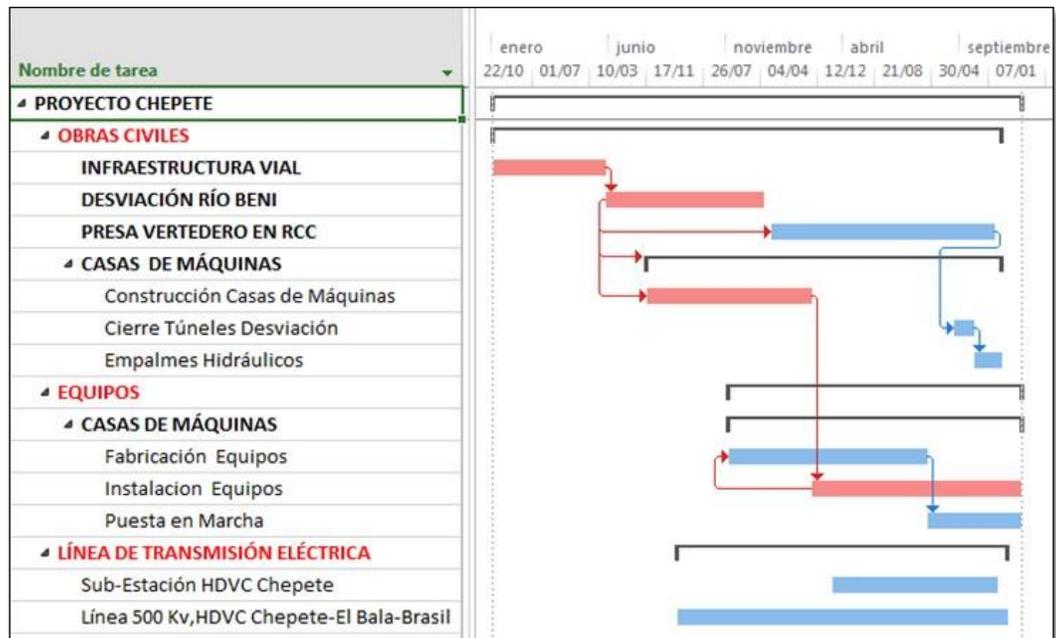


Figura 1. Programación de actividades proyecto Chepete
Fuente: Geodata

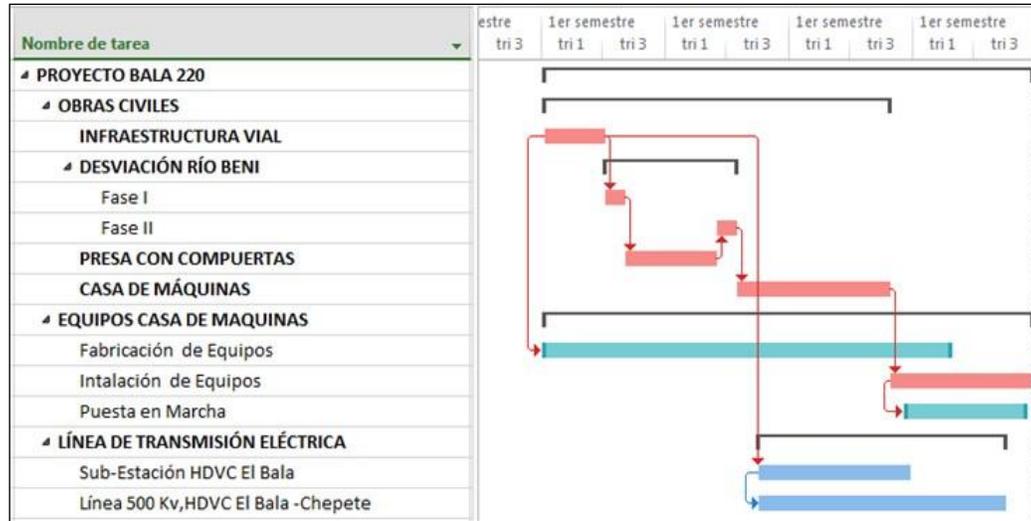


Figura 2. Programación de actividades proyecto Bala 220
Fuente: Geodata

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La alternativa en cascada seleccionada, fue Chepete-El Bala 220, la cual tiene los siguientes costos:

El proyecto hidroeléctrico Chepete con capacidad instalada de 3.251 MW y generación promedia anual de 15.409 GWH tendría un CAPEX de 4.718,69 Millones.US\$, con lo cual resulta un costo índice de 1'451,405 Millones.US\$/MW, el costo de la energía es de 54.80 US\$/MW.

El proyecto hidroeléctrico El Bala 220 con capacidad instalada de 425 MW y generación promedia anual de 2.648 GWH tendría un CAPEX de 1.359,23 Millones.US\$, con lo cual resulta un costo índice de 3'196,830 Millones.US\$/MW, el costo de la energía es de 79.56 US\$/MW.

De acuerdo con los anteriores resultados, se recomienda aplazar el desarrollo de la central hidroeléctrica El Bala 220, hasta cuando las condiciones del mercado energético de Bolivia y del exterior indiquen la conveniencia de su puesta en marcha.

10. BIBLIOGRAFÍA

- *Sanclemente Carlos, Principios de Planeamientos de Centrales Hidroeléctricas. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá 1985.*
- *Andritz Hydro. Proyecto Hidroeléctrico El Bala. Oferta presupuestal, equipamiento electromecánico. 2016*
- *Alvarado-Ancieta, César. Estimating E&M Powehouse Costs. 2009.*
- *Central Hidroeléctrica Miel I, Colombia.*
- *Central Hidroeléctrica Sogamoso, Colombia.*
- *Central Hidroeléctrica Porce III, Colombia.*
- *Central Hidroeléctrica del Guavio, Colombia.*
- *Proyecto Hidroeléctrico Ituango, Colombia.*
- *Central Hidroeléctrica Minas San Francisco, Ecuador.*
- *Proyecto Hidroeléctrico Coca Codo Sinclair, Ecuador.*
- *Proyecto Hidroeléctrico Miguillas, Bolivia.*