

Análisis de costes de proyectos hidroeléctricos en Guatemala utilizando el software RETScreen

Autores: Castro Valdivia, David (Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Candidato a PhD. Universidad Alfonso X El Sabio); Collado Fernández, Eduardo (Doctor Ingeniero Industrial, Profesor Universidad Alfonso X el Sabio).

Público: Ingenieros Civiles. **Materia:** Ingeniería Hidráulica y Energética. **Idioma:** Español.

Título: Análisis de costes de proyectos hidroeléctricos en Guatemala utilizando el software RETScreen.

Resumen

La evaluación de la viabilidad de proyectos hidroeléctricos requiere de la estimación de las inversiones. El cálculo de los presupuestos en etapas tempranas del desarrollo se suele realizar mediante estimaciones paramétricas. El artículo analiza la aplicabilidad del modelo RETScreen en Guatemala. Para ello se analizan los factores a utilizar para su aplicación local, además de comparar los presupuestos de Factibilidad de siete proyectos hidroeléctricos en distintas zonas del país con los presupuestos encontrados con RETScreen. Los resultados indican que RETScreen es aplicable a Guatemala, considerando que para los proyectos analizados la diferencia con los presupuestos de factibilidad fue de +11%.

Palabras clave: estimación paramétrica, RETScreen, presupuestos proyectos hidroeléctrico.

Title: Cost analysis of hydropower projects in Guatemala using RETScreen software.

Abstract

The evaluation of hydropower projects feasibility requires the estimate of the investments. The budget estimate of a hydropower facility, in early stages of the development, usually is achieved through parametric estimating. This paper analyzes the applicability of the RETScreen model in Guatemala. For this purpose, factors to be used for local application are analyzed. Additionally, feasibility budgets are compared with those calculated with RETScreen. The results indicates RETScreen can be applied in Guatemala, considering that for projects analyzed, the difference found with feasibility budgets was 11%.

Keywords: parametric estimating, RETScreen, hydropower projects costs.

Recibido 2017-01-26; Aceptado 2017-01-31; Publicado 2017-02-25; Código PD: 080106

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes problemas a que el proyectista se enfrenta al momento de realizar Estudios de Prefactibilidad (Previabilidad) de proyectos hidroeléctricos es la adecuada estimación del presupuesto de la obra, considerando el poco grado de detalle de dichos estudios en esta etapa. Esta falta de información conlleva principalmente a estimar de manera errónea el presupuesto del proyecto y por tanto la viabilidad económica de la futura central.

Algunas instituciones como CEPAL (1976), el Banco Mundial (Merrow, E. & Shangraw, R.,1990) o el Natural Resources of Canada (NRC, 2004) han desarrollado metodologías para la estimación paramétrica del presupuesto de una central hidroeléctrica, basándose en información estadística de centrales construidas y en operación, cuyos costes finales son conocidos. Sin embargo, no todas las metodologías tienen la misma precisión y aplicabilidad, dado que no todas contemplan la problemática de los costes locales de cada país.

El objetivo del presente artículo es determinar la precisión del módulo de presupuestos del software RETScreen (NRC,2004) para su aplicación a proyectos hidroeléctricos en Guatemala. Para ello se ha realizado un análisis comparativo con presupuestos obtenidos de los Estudios de Factibilidad de siete proyectos hidroeléctricos de entre 2 MW y 9 MW.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Modelo RETScreen

Natural Resources Canada (NRC) es el ministerio de Canadá responsable, entre otras cosas, de los recursos naturales, energía, minerales, bosques y ciencias de la tierra. Esta entidad ha desarrollado una herramienta para el análisis de

viabilidad de proyectos de eficiencia energética, energías renovables y cogeneración, así como para el análisis del rendimiento energético operativo, denominada RETScreen (NRC, 2005).

El modelo RETScreen consiste en varios módulos con la capacidad de evaluar producción energética, análisis del ciclo de vida de proyectos, así como el cálculo de la reducción de gases de efecto invernadero para distintas tecnologías renovables, como solar, eólico e hidroeléctrica de pequeña escala. Cada módulo se organiza en distintas hojas de cálculo de Excel combinadas en un solo libro de trabajo o fichero (NRC, 2004).

El módulo de RETScreen para proyectos de minicentrales hidroeléctricas incluye herramientas para evaluar la energía disponible en un sitio con potencial hidroeléctrico, el cual puede diseñarse ya sea conectado a red o trabajar de manera aislada. El modelo puede trabajar tanto en centrales de agua fluyente o con embalse de regulación, e incorpora una serie de fórmulas para el cálculo de eficiencias para una gran variedad de turbinas hidráulicas (NRC, 2004).

El modelo RETScreen permite realizar el análisis económico para proyectos hidroeléctricos a través de unas hojas de cálculo que están compuestas por diferentes métodos para la estimación del presupuesto de la inversión. Concretamente, se incluyen dos metodologías: el Método de las Fórmulas y el Método Detallado.

El Método de las Fórmulas utiliza ecuaciones obtenidas a partir de datos recopilados a lo largo de veinte años, tanto de centrales hidroeléctricas de gran capacidad instalada como de minicentrales. Utilizando correctamente este método se tendrá una línea base para el proyecto. Por otro lado, el Método Detallado permite al usuario introducir cantidades y precios unitarios para el cálculo final del presupuesto.

Se han realizado validaciones de la estimación de costes mediante fórmulas. Una de estas validaciones, realizada por el Natural Resources Canada, se ha hecho con la Central Hidroeléctrica Rose Blanche (6MW), ubicada en Newfoundland, Canadá (NRC, 2004). Se han comparado los costes as-built (costes reales finales de construcción de la central) y los resultados obtenidos con el Método de las Fórmulas. Los resultados mostraron que este último estima un coste superior en un 14%. No obstante, dado que el módulo de RETScreen incluye una partida para estudios de factibilidad y el coste as-built no lo hace, la diferencia se reduce al 11%.

Con lo anterior y para el caso de Rose Blanche se concluye que el Método de las Fórmulas desarrollado por RETScreen presenta estimaciones adecuadas tomando en cuenta que está diseñado para estudios de prefactibilidad, en donde se esperaría incluso diferencias mayores. Cabe hacer notar, que la bondad de los resultados depende mucho de la correcta aplicación del modelo, ya que hay que especificar antes de los cálculos si la central será pequeña, mini o micro, así como la moneda a utilizar y la relación de costes laborales del sitio donde se evalúa en relación con los costes en Canadá, entre otros aspectos.

Proyectos hidroeléctricos para validación

Los proyectos utilizados para validación se ubican en Guatemala, y todos se encuentran en etapa de desarrollo, habiéndose completado sus Estudios de Factibilidad a lo largo del año 2014. Los Estudios fueron facilitados por los promotores de los proyectos e ingenierías que participan en su desarrollo.

P.H. Semuc

El Proyecto se encuentra localizado en el Municipio de Gualán, Departamento de Zacapa. El esquema proyectado consiste en la construcción de una presa sobre el río Semuc que servirá para desviar parte del caudal circulante hasta una obra de toma situada en la margen derecha del mismo río. Al final de la toma se ubicará un desarenador para decantar las partículas de diámetro superior a 0.4 mm. La estructura finalizará en una cámara de carga desde donde iniciará la tubería de conducción hasta la casa de máquinas. La tubería trabajará enteramente en presión y se construirá tanto en GRP (Glass Reinforced Plastic), para los tramos de menor carga, como en acero para los más cercanos a la casa de máquinas. Una vez en la central la tubería se bifurcará hacia dos turbinas tipo Pelton, que posteriormente desfogarán hacia el mismo río Semuc a través de canales independientes (Accorgroup, 2014).

P.H. Lourdes

El Proyecto se encuentra localizado en el Municipio de Santa Catarina La Tinta, Departamento de Alta Verapaz. El esquema proyectado consiste en la construcción de una presa sobre el río Samiljá que servirá para desviar parte del caudal circulante hacia la casa de máquinas. La presa formará un embalse capaz de proporcionar el volumen necesario para una regulación horaria de los caudales turbinados. En el estribo izquierdo se encuentra una obra de toma desde donde parte la

tubería de presión, la cual se construirá en GRP (Glass Reinforced Plastic). Una vez en la central la tubería se bifurcará hacia dos turbinas tipo Francis, que posteriormente desfogarán hacia el mismo río Samiljá a través de canales independientes (Accorgroup, 2014).

P.H. Hidro Gualán

El Proyecto se encuentra localizado en el Municipio de Gualán, Departamento de Zacapa. El esquema proyectado consiste en una obra de toma ubicada en el río El Lobo. De la Obra de Toma se conduce el agua derivada directamente hasta la Casa de Máquinas mediante una tubería GRP (Glass Reinforced Plastic), la cual estará siempre en presión. Dicha conducción se realiza enteramente por la margen izquierda del río El Lobo, discurriendo mayormente en baja presión para, al final de la tubería, desarrollar la mayor parte del salto útil (94.31m). En la Casa de Máquinas se turbinará el agua total derivada por medio de dos turbinas Francis de eje horizontal (Qanat, 2014).

P.H. La Mejana

El Proyecto se encuentra localizado en el Municipio de San José El Rodeo, Departamento de San Marcos. El esquema proyectado consiste en tres obras de toma tipo tirolesas, una en el río Negro y dos en el río Cabuz. El agua derivada en el río Negro se transporta por medio de un canal que atraviesa las obras de toma en el río Cabuz, en las que se le adicionan al canal el caudal derivado en dichas obras de toma.

Tras atravesar la última obra de toma en el río Cabuz, se conduce del caudal derivado con un canal tapado hasta el desarenador. Al final del desarenador se conduce el agua a través de un canal abierto hasta la cámara de carga.

Desde la cámara de carga hasta la casa de máquinas se transporta el agua por medio de una tubería de presión de GRP, la cual termina en una bifurcación que permite repartir el caudal entre las dos turbinas Francis de eje vertical instaladas en la casa de máquinas (HE, 2014).

P.H. Masá A

El Proyecto se encuentra localizado en el Municipio de Santo Tomás La Unión, Departamento de Sololá. El esquema proyectado consiste en la construcción de una presa sobre el río Masá que servirá para desviar parte del caudal circulante hasta una obra de toma situada en la margen derecha del mismo río. Al final de la toma se ubicará un desarenador para decantar las partículas de diámetro superior a 0.4 mm. La estructura finalizará en una cámara de carga desde donde iniciará la tubería de conducción hasta la casa de máquinas. La tubería trabajará enteramente en presión y se construirá en acero. Una vez en la central la tubería conducirá el agua hacia una turbina tipo Pelton, que posteriormente desfogará hacia el mismo río Masá a través de un canal de hormigón. El Estudio de Factibilidad original contempla cuatro variantes del proyecto. Para fines del presente estudio se analizará lo correspondiente a la variante A.

P.H. San Luis

El Proyecto se encuentra localizado en el Municipio de Pachalum, Departamento de Quiché. El esquema incluye un azud de derivación sobre el río Tumbadero, el cual sirve para elevar la lámina de agua y encauzar el caudal hacia la obra de toma, la cual a su vez da paso al desarenador de 10 m de longitud. Al final del desarenador se construirá una cámara de carga desde donde partirá una tubería de hierro fundido dúctil, la cual conducirá el agua hasta la central, donde se bifurcará para llevar el caudal hacia dos turbinas tipo Pelton. Una vez turbinado, el caudal se devuelve al río Tumbadero por su margen derecha (HSL, 2014). Las principales características del proyecto se muestran en la Tabla 6.

P.H. Talcanac

El Proyecto se encuentra localizado en el Municipio de San Martín Sacatepequez, Departamento de Quetzaltenango. La captación se realiza a través de una toma tipo Tirolesa sobre el río Talcanac, desde donde se conduce el agua hasta una balsa de regulación mediante una tubería HDPE que trabaja en lámina libre. Previo al ingreso a la tubería de trasvase se instala un desarenador para decantar las partículas de mayor tamaño. La balsa se forma en zonas de desmonte y terraplén, utilizando principalmente materiales locales. Adosada a la balsa se encuentra una segunda obra de toma desde donde parte una tubería forzada de acero, cuyo alineamiento se perfila enterrado en algunos tramos y aéreo en otros. Al final de la tubería, en la casa de máquinas, se instala una turbina tipo Pelton de eje horizontal. Una vez turbinado, el caudal se devuelve al río Talcanac por su margen izquierda (EF, 2014).

Las principales características de los proyectos se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1 | Características principales de los proyectos analizados

Proyecto	P.H. Semuc	P.H. Lourdes	P.H. Hidro Gualán	P.H. La Mejana	P.H. Masa A	P.H. San Luis	P.H. Talcanac
Caudal de diseño	2,75 m ³ /s	5,00 m ³ /s	3,20 m ³ /s	18 m ³ /s	1,15 m ³ /s	0,95 m ³ /s	1,60 m ³ /s
Salto útil	418,00 m	178,00 m	94,31 m	27,5 m	239 m	274,50 m	412,49 m
Salto neto	400,76 m	152,70 m	87,69 m	26,17 m	236,05 m	259,96 m	403,74 m
Potencia de la Planta	9.149 kW	6.420 kW	2.352 kW	2.963 kW	2.228 kW	2.095 kW	5.412 kW
Producción año medio	39.106 MWh	23.454 MWh	8.696 MWh	16.923 MWh	14.829 MWh	10.670 MWh	21.671 MWh
Horas equivalentes	4274	3653	3697	5711	6656	5093	4004
Eficiencia técnica	49%	42%	42%	65%	76%	58%	46%
Presupuesto de ejecución material	US\$ 12.656.129,00	US\$ 13.837.439,00	US\$ 6.707.679,00	US\$ 8.535.442,67	US\$ 4.322.336,38	US\$ 4.008.941,00	US\$ 9.712.092,00
Coste unitario	US\$1.383/kW	US\$2.155/kW	US\$2.852/kW	US\$2.881/kW	US\$1.940/kW	US\$1.914/kW	US\$1.795/kW

Metodología

Recopilación de datos de los proyectos de validación

Se utilizó el módulo de presupuestos del software RETScreen 4, utilizando el método de las fórmulas, denominado Método 1. Para ello, fue necesario recopilar información de cada uno de los proyectos a validar. Dicha información consistió en datos como: caudal de diseño, salto útil, número de turbinas, tipo de turbinas, tipo de instalación (mini, micro o pequeña), existencia o no de azud de derivación, longitud de cresta del azud, existencia de roca en sitio de presa, longitud de caminos de acceso, dificultad del terreno para la construcción de caminos de accesos, longitud del canal de derivación, longitud y número de tuberías de presión, pérdidas admisibles en la tubería, tipo de red a servir (aislada o red central), tensión y longitud de línea de interconexión, así como la dificultad del terreno por donde discurre, entre otros. Los valores utilizados en cada uno de los proyectos son los que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2 | Parámetros utilizados en el modelo para cada proyecto

	P.H. Semuc	P.H. Lourdes	P.H. Hidro Gualán	P.H. La Mejana
Caudal de diseño	2,75 m ³ /s	5,00 m ³ /s	3,20 m ³ /s	18 m ³ /s
Salto útil	418,0 m	178,0 m	94,31m	27,5
Número de turbinas	2	2	2	2
Tipo de turbinas	Pelton	Francis	Francis	Francis
Tipo de instalación	Mini	Pequeño	Mini	Pequeño
Existencia de azud de derivación	No	No	No	No
Longitud de cresta del azud	26 m	61,5 m	25,0 m	48,5 m
Existencia de roca en sitio de presa	Si	Si	Si	Si
Longitud de caminos de accesos	2,0 km	8.4 km	3,1 km	9,0 km
Dificultad del terreno (caminos de acceso)	3	3	3,5	3

	P.H. Semuc	P.H. Lourdes	P.H. Hidro Gualán	P.H. La Mejana
Longitud del canal de conducción	0 km	0 km	0 km	700 m
Longitud de tubería de presión	2.388,7 m	4.478,0 m	2.641,0 m	125,0 m
Número de tuberías de presión	1	1	1	1
Pérdidas admisibles en la tubería	4,1%	14,2%	7,0%	0,6%
Tipo de red a servir	Red central	Red central	Red central	Red central
Tensión y longitud de línea de interconexión	69 kV (18,5 km)	69 kV (13,2 km)	69 kV (16,1 km)	13,8 kV (3,4 km)
Dificultad del terreno (línea de interconexión)	1,5	1,5	1,5	1,0

	P.H. Masá A	P.H. San Luis	P.H. Talcanac
Caudal de diseño	1,15 m ³ /s	0,95 m ³ /s	1,60 m ³ /s
Salto útil	239,0 m	274,50 m	412,49 m
Número de turbinas	2	2	1
Tipo de turbinas	Pelton	Pelton	Pelton
Tipo de instalación	Mini	Mini	Pequeño
Existencia de azud de derivación	No	No	No
Longitud de cresta del azud	18,0 m	27,5 m	20,0 m
Existencia de roca en sitio de presa	Si	Si	Si
Longitud de caminos de accesos	2,3 km	3,8 km	4,0 km
Dificultad del terreno (caminos de acceso)	3	3	5
Longitud del canal de conducción	0 km	0	2.000 m
Longitud de tubería de presión	2.365,0 m	2.176,0 m	1.424,0 m
Número de tuberías de presión	1	1	1
Pérdidas admisibles en la tubería	1,0%	5,2%	2,1%
Tipo de red a servir	Red central	Red central	Red central
Tensión y longitud de línea de interconexión	13,8 kV (3,7 km)	13,8 kV (5,5 km)	34,5 kV (12,3 km)
Dificultad del terreno (línea de interconexión)	1,0	1,0	1,0

Recopilación de datos para transposición

El Método 1 del módulo de presupuestos de minicentrales hidroeléctricas de RETScreen, fue desarrollado a partir de la evaluación de costes de centrales ubicadas principalmente en Canadá (NRC, 2004). Para aplicar el módulo en cualquier país del mundo, los autores incluyeron en las fórmulas factores de relación de costos entre el país destino y Canadá. Dichos factores son cinco:

- Tipo de cambio USD/CAD y USD/GTQ
- Relación de costes de equipos de construcción local vs Canadiense (Ec)
- Relación de costes de combustibles local vs. Canadiense (Fc)
- Relación de costes laborales local vs Canadiense (Lc)
- Coeficiente de coste de fabricación de los equipos (K)

Tipo de cambio USD/CAD y GTQ/USD

Se consultaron los tipos de cambio promedio de Julio de 2014. Las fuentes de información fueron el Banco de Canadá (Bank of Canada) y el Banco de Guatemala. Los tipos de cambio fueron 0,93 USD/CAD y 7,77 GTQ/USD.

Relación de costes de equipos de construcción local vs. Canadiense (Ec)

Se consultaron fuentes de precios de alquiler de equipo de construcción en Canadá como *The Nova Scotia Road Builders Association* (NSRBA, 2012) y se han comparado con los precios locales en Guatemala. En términos generales se observa que los precios son similares, por lo que se ha tomado la relación $E_c=1$

Relación de costes de combustibles local vs. Canadiense (Fc)

Se obtuvo el precio promedio de la gasolina regular para julio de 2014 como parámetro para establecer la relación de costes entre ambos países. Para ello, en el caso de Canadá se ha consultado la web de *Statistics Canada*, la agencia del Gobierno federal canadiense encargada de recoger y compilar datos estadísticos sobre Canadá y los canadienses. Para el caso de Guatemala, se han recopilado los datos oficiales emitidos por la Dirección General de Hidrocarburos, dependencia del Ministerio de Energía y Minas. El precio promedio de la gasolina regular para Canadá en fue de 1,2520 USD/litro, mientras que en Guatemala 1,1268 USD/litro, resultando en un $F_c=0,8999$.

Relación de costes laborales local vs. Canadiense (Lc)

La relación L_c se calculó a partir de los salarios mínimos de ambos países para el año 2014. Para ello, en el caso de Canadá se consultó la web de *Statistics Canada*, mientras que para Guatemala se obtuvieron los datos publicados por el Ministerio de Trabajo y Previsión Social. En Canadá el salario mínimo en dólares americanos fue de 9,66 USD/hora, mientras que para Guatemala el salario mínimo "no agrícola" fue de 1,34 USD/hora, resultando en un $L_c=0,1387$.

Coefficiente de coste de fabricación de los equipos (K)

Considerando que en las centrales hidroeléctricas construidas en Guatemala suelen importarse los equipos electromecánicos que más influyen en el presupuesto (equipo turbogenerador), se ha tomado un valor de $K=1$. Estudios como Alvarado-Ancieta (2009) han analizado costes de equipos electromecánicos a nivel mundial, no encontrándose una correspondencia estricta entre el país de destino y el precio unitario de tales equipos. Los costes suelen seguir una tendencia y no alejarse de la media, por lo que es razonable esperar que el valor de K adopte el valor de 1.

La Tabla 3 resume los factores de relación de costes encontrados para el presente estudio.

Tabla 3 | Factores de relación de costes

Factor	Valor
Tipo de cambio USD/CAD	0,93
Tipo de cambio GTQ/USD	7,77
Relación de costes de equipos de construcción local vs Canadiense (Ec)	1
Relación de costes de combustibles local vs. Canadiense (Fc)	0,8999
Relación de costes laborales local vs Canadiense (Lc)	0,1387
Coefficiente de coste de fabricación de los equipos (K)	1

Calculo de presupuestos con RETScreen

Utilizando el software RETScreen 4 y el Método 1 para la estimación de presupuestos de minicentrales hidroeléctricas, se calcularon todos los presupuestos de las centrales para validación. El software contempla esquemas de proyecto compuestos como máximo por los siguientes elementos: azud de derivación, canal para conducción del caudal hasta la cámara de carga, túnel, tubería forzada de acero y casa de máquinas equipada con turbinas ya sea tipo Francis, Pelton o Kaplan. Existe la posibilidad de incluir o no los caminos de acceso a la central.

Una de las limitaciones del software es la imposibilidad de variar el material de la tubería forzada, o cambiar el canal de conducción por una tubería que funcione en lámina libre. Esto repercute directamente en los presupuestos de los proyectos Semuc, Lourdes, Hidro Gualán y La Mejana, cuyas tuberías forzadas se diseñan en GRP. Para solventar esto, se realizó un análisis comparativo entre costes de suministro e instalación de tuberías de acero y GRP del mismo diámetro, a

partir de información de la base de precios del Canal de Isabel II de 2014 (CISII, 2014). Las diferencias entre el precio de ambos tipos de tubería son variables, siendo menores en diámetros nominales menores que 1000 mm, obteniéndose ratios que van desde 0,50 hasta 0,90 (relación precios GRP/ACERO). En promedio y para fines del presente estudio, se ha adoptado una relación precio unitario promedio por metro lineal de tubería GRP/ACERO de 0,67.

Organización de presupuestos de validación

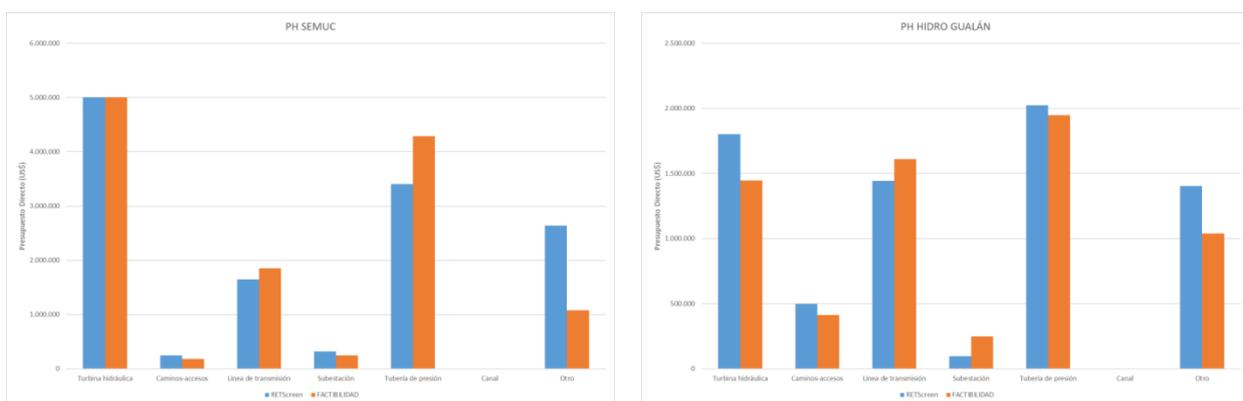
Posteriormente, los presupuestos de validación (Presupuestos Base) se agruparon en capítulos similares a los incluidos en RETScreen para facilitar la evaluación. Estos capítulos fueron:

- Turbina hidráulica
- Caminos-accesos
- Línea de transmisión
- Subestación
- Tubería de presión
- Canal
- Otro

3. RESULTADOS

La Figura 1 detalla gráficamente los resultados por proyecto. El resumen de las diferencias por capítulos como porcentaje del Presupuesto Base se muestra en la Figura 2. Se observa cómo, a excepción del PH Masá A, las menores diferencias se encuentran en el capítulo Turbina Hidráulica, con rangos desde -25% hasta 3%. Por otro lado, el capítulo con mayor variación de resultados es la Subestación, oscilando entre -80% hasta 61%, respecto al Presupuesto Base.

Las diferencias totales encontradas entre los Presupuestos Base y los calculados con RETScreen, expresados como un porcentaje de los primeros, se muestra en la Figura 3. Se observa cómo 6 de 7 propuestos calculados con RETScreen están por debajo de los Presupuestos Base. La máxima diferencia encontrada fue de 27% (PH Masá A), mientras que la mínima fue de $\pm 1\%$, en los proyectos Lourdes y Talcanac. La diferencia promedio entre presupuestos fue de 11%. Cabe hacer notar que el signo de la diferencia denota si el presupuesto calculado con RETScreen es mayor o menor que el Presupuesto Base. El signo positivo indica que el presupuesto calculado con RETScreen es mayor que el Presupuesto Base.



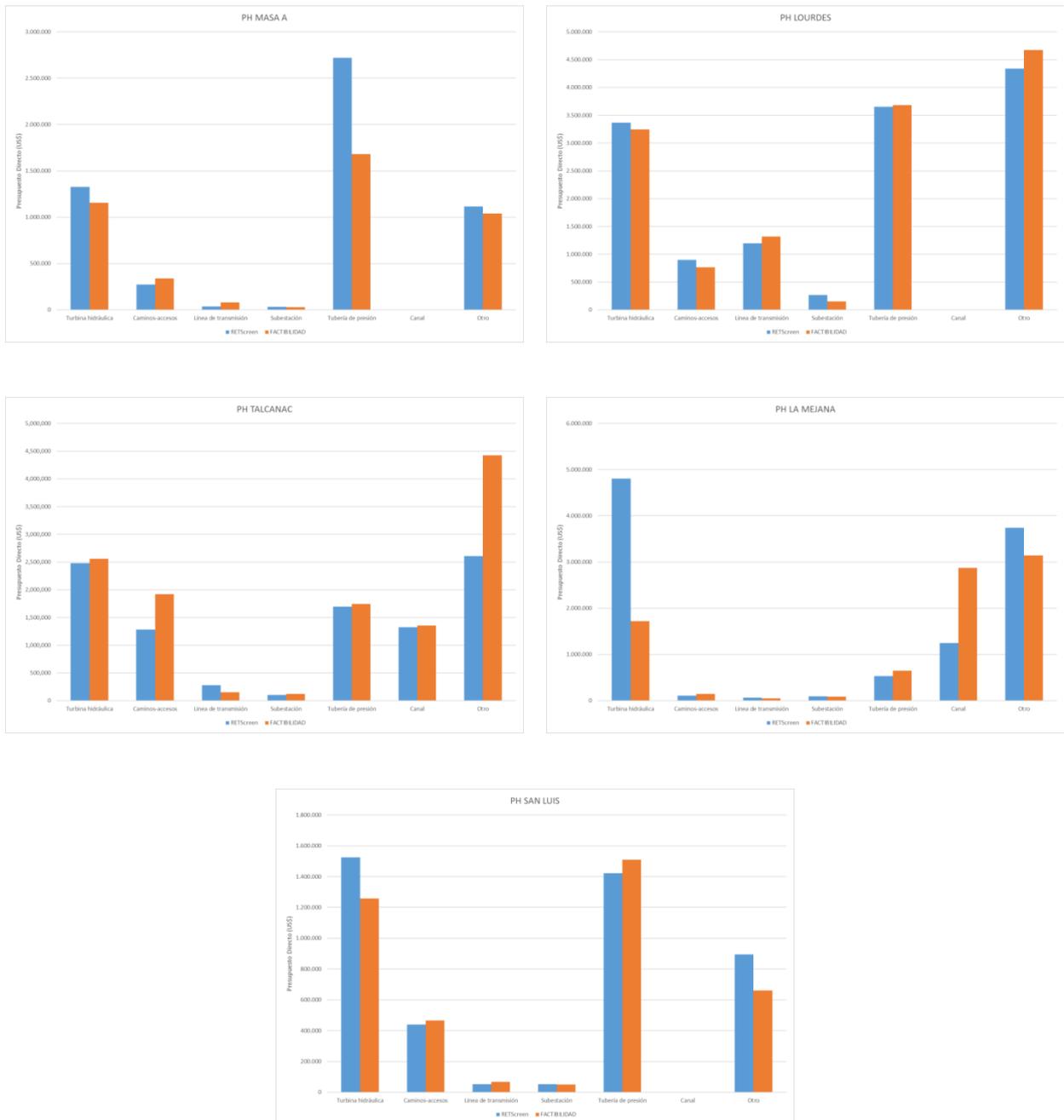


Figura 1 | Presupuestos por proyecto y por capítulo.

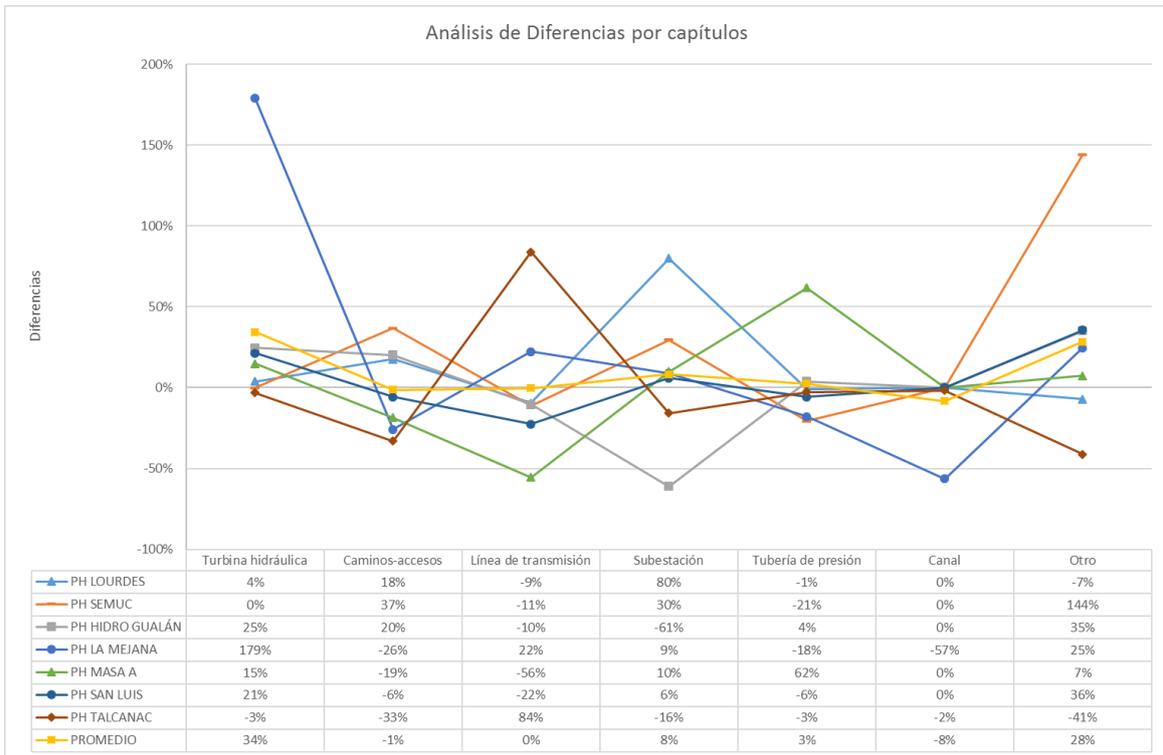


Figura 2 | Diferencias parciales entre presupuestos - Resumen.

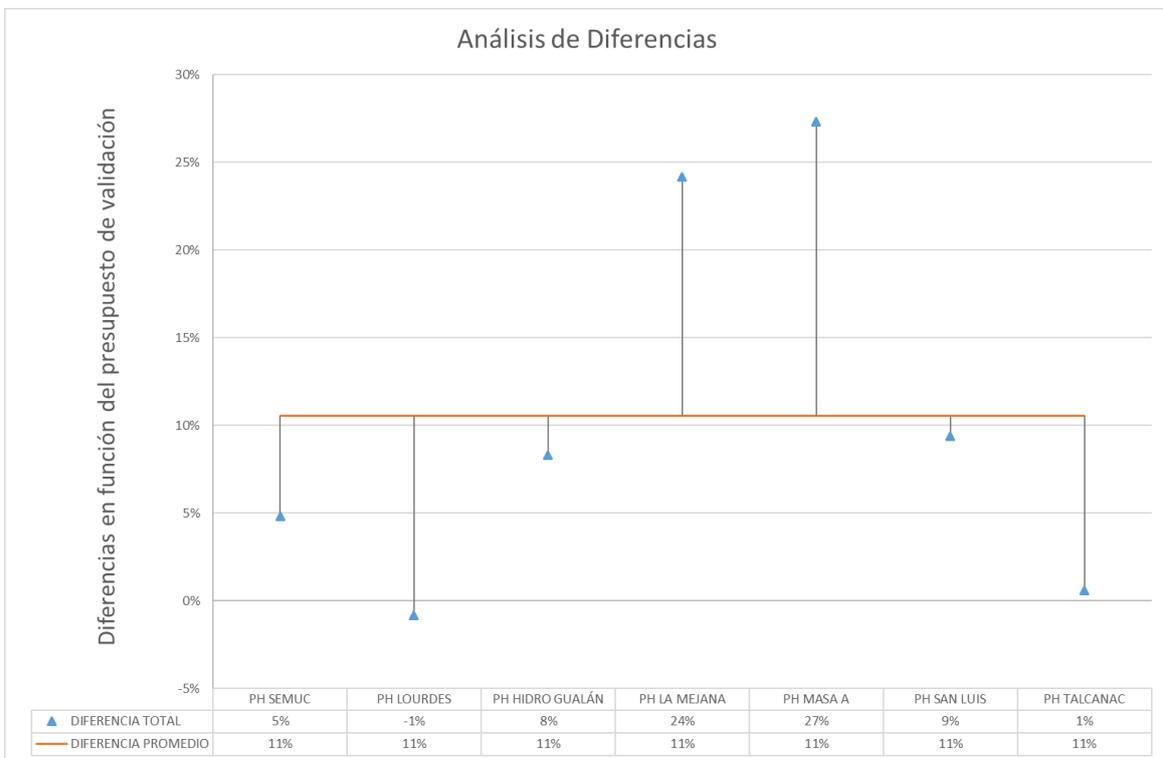


Figura 3 | Diferencias totales entre presupuestos.



Figura 4 | Costes unitarios de los proyectos

4. DISCUSIÓN

Se ha utilizado el software RETScreen para el cálculo de presupuestos de prefactibilidad de siete proyectos hidroeléctricos ubicados en Guatemala, con potencias comprendidas entre 2 MW y 9,1 MW. Se encontró que los presupuestos calculados con RETScreen son en promedio un 11% mayores que los calculados por métodos convencionales, utilizando cantidades de obra y precios unitarios a nivel de Estudios de Factibilidad.

La Figura 4 muestra gráficamente las desviaciones de los distintos presupuestos respecto a los Presupuestos Base. Seis de los siete proyectos analizados presentan una desviación menor al 25% respecto al Presupuesto Base.

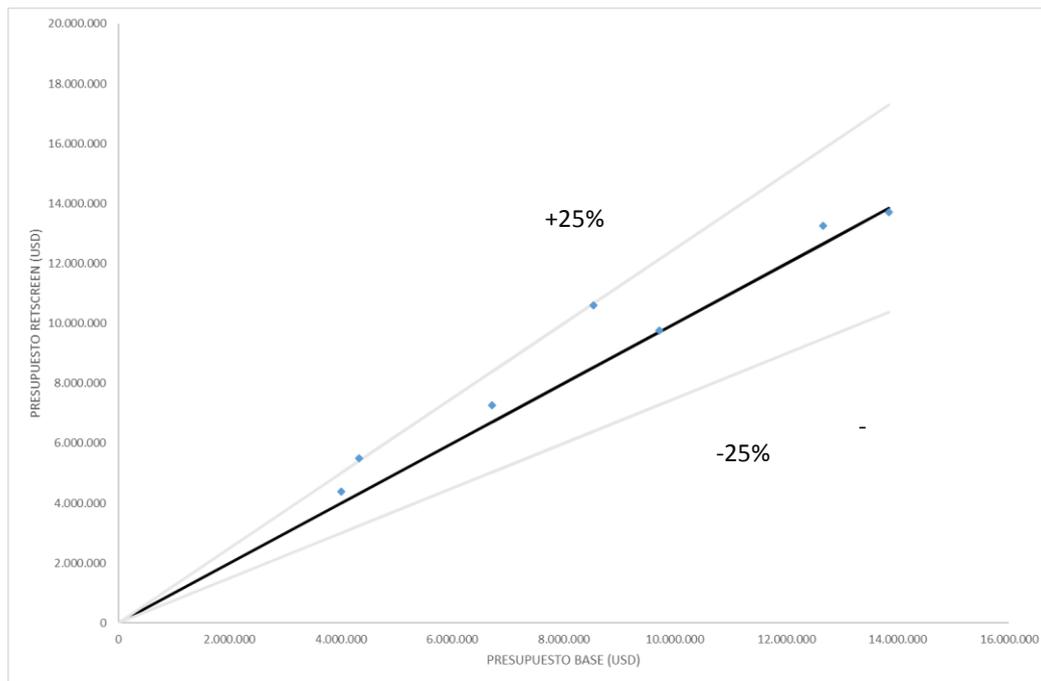


Figura 4 | Diferencias totales entre presupuestos.

En cuanto a las diferencias por capítulos no se observa ninguna tendencia en particular, ya que para el mismo capítulo pero para diferentes proyectos, las diferencias pudieron ser positivas o negativas. No obstante, esta falta de un patrón definido entre capítulos no afectó el presupuesto final calculado. Se observó que las diferencias entre capítulos se compensaron de tal forma que el resultado final fuera similar al del Presupuesto Base.

Los proyectos analizados presentan esquemas distintos de aprovechamiento, incluyendo estructuras como captaciones tipo tirolesas, balsas de regulación o materiales diferentes para las tuberías. No se observó que esto influyera determinantemente en el resultado. No obstante, los proyectos con esquemas a filo de agua compuestos fundamentalmente por presa de derivación, tubería de presión y casa de máquinas, presentan una diferencia menor con los Presupuestos Base, como es el caso del PH Semuc (+5%) y PH Lourdes (-1%).

Si bien los datos de partida para el Método 1 de RETScreen son en su mayoría mediciones directas de las estructuras, como el largo de la presa o la longitud de la tubería, existen otros factores subjetivos que influyen en el resultado. Así, para el caso de los caminos de acceso y la línea de transmisión, deberá especificarse la dificultad del terreno por donde discurre su alineamiento. De acuerdo al manual del software (NRC, 2004), la dificultad del terreno en los caminos de acceso (A) es un parámetro que varía entre 1 y 6, y cuyo valor seleccionado repercute al cuadrado en el presupuesto de los accesos. Así, un kilómetro de caminos de acceso en un terreno con A=1 se estima en USD 15.000,00, mientras que otro con A=6 se estima en USD 531.000,00, para proyectos en Guatemala bajo las premisas de este estudio. La selección de uno u otro factor dependerá del proyectista ya que dicho manual no especifica cuándo utilizar uno u otro valor

5. CONCLUSIONES

Tomando en cuenta que la precisión de los Estudios de Prefactibilidad es menor que la de los Estudios de Factibilidad y que los presupuestos tienden a variar en $\pm 25\%$ entre una etapa y otra, los resultados sugieren que, para el rango de potencias estudiadas, RETScreen es una herramienta con una precisión suficiente para estimar presupuestos de Prefactibilidad de proyectos hidroeléctricos ubicados en Guatemala. La precisión medida como la diferencia entre los presupuestos de Factibilidad y los presupuestos calculados con RETScreen, muestran que en general RETScreen sobreestima el presupuesto directo del proyecto en una media de 11% respecto al presupuesto de Factibilidad.

Bibliografía

- Alvarado-Ancieta, C.A. (2009), Estimating E&M powerhouse costs, International Water Power and Dam Construction, pp. 21-25. <http://www.waterpowermagazine.com/features/featureestimating-em-powerhouse-costs/>.
- Banco de Guatemala. *Tipo de cambio*. En <http://www.banguat.gob.gt/cambio/> consultado el 14/09/15
- Bank of Canada. *Exchange rate*. En <http://www.bankofcanada.ca/rates/exchange/> consultado el 14/09/15
- Canal de Isabel II de 2014 – (CISII, 2014). *Base de Precios de Canal de Isabel II - Cuadro de Precios N°1*. Madrid. CISII.
- CEPAL (1976). *Curvas de costes de obras de proyectos hidroeléctricos. Anexo 2-A*. México. Comisión Económica para América Latina – CEPAL.
- Gordon, J. (1989). *Black boxing hydro costs*. en Invited presentation for World Bank staff at the hydropower cost seminar organized by Independent Project Analysis Inc., Washington.
- Accorgroup, S.A., 2014. *Estudio de Factibilidad del Proyecto Hidroeléctrico Semuc*. Ciudad de Guatemala. Grupo Inversa.
- Accorgroup, S.A., 2014. *Estudio de Factibilidad del Proyecto Hidroeléctrico Lourdes*. Ciudad de Guatemala. Grupo Inversa.
- QANAT, 2014. *Estudio de Factibilidad del Proyecto Hidroeléctrico Hidro Gualán*. Ciudad de Guatemala. Qanat Ingeniería de Guatemala, S.A.
- HE, 2014. *Estudio de Factibilidad del Proyecto Hidroeléctrico La Mejana*. Ciudad de Guatemala. Hidroeléctrica del Encino, S.A.
- HM, 2014. *Estudio de Factibilidad del Proyecto Hidroeléctrico Masá*. Ciudad de Guatemala. Hidroeléctrica Mazá, S.A.
- HSL, 2014. *Estudio de Factibilidad del Proyecto Hidroeléctrico San Luis*. Guatemala. Hidroeléctrica San Luis, S.A.
- EF, 2014. *Estudio de Factibilidad del Proyecto Hidroeléctrico Talcanac*. Ciudad de Guatemala. Energía del Futuro, S.A.
- Merrow, E. & Shangraw, R. (1990). *Understanding the costs and schedules of World Bank supported hydroelectric projects*. Washington, The World Bank.
- Ministerio de Energía y Minas de Guatemala. Dirección General de Hidrocarburos. *Histórico diarios internacionales*. En <http://www.mem.gob.gt/viceministerio-de-mineria-e-hidrocarburos-2/direccion-general-de-hidrocarburos/precios/precio-combustible-nacional/> consultado el 14/09/15
- Ministerio de Trabajo y Previsión Social de Guatemala. *Salario mínimo en 2014*. En <http://www.mintrabajo.gob.gt/index.php/salariominimo.html> consultado el 14/09/15
- Natural Resources Canadá – NRC (2004). *Clean Energy Project Analysis. RETScreen Engineering & Cases Textbook. Small Hydro Project*. Analysis Third Edition. Minister of Natural Resources Canada
- Natural Resources Canadá – NRC (2005). *Clean Energy Project Analysis. RETScreen Engineering & Cases Textbook. Introduction To Clean Energy Project Analysis* Third Edition. Minister of Natural Resources Canada
- Nova Scotia Road Builders Association – NSRBA (2012). *Suggested rental rates for construction equipment*. Dartmouth, Nova Scotia. NSRBA.
- STATISTICS CANADA. *Gasoline and fuel oil, average retail prices by urban centre*. En <http://www.statcan.gc.ca/tables-tableaux/sum-som/l01/cst01/econ154a-eng.htm> consultado el 14/09/15.
- STATISTICS CANADA. *Minimum wage in Canada since 1975* en <http://www.statcan.gc.ca/pub/11-630-x/11-630-x2015006-eng.htm> consultado el 14/09/15