

ESTUDIO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL RIO CAUCA CON UNA POSTERIOR EVALUACIÓN TÉCNICA DE LA PCH PATICO LA CABRERA

Daniel Enrique Noguera Chaparro 503950, Mariana Isaacs Benitez 503985
Programa de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de Colombia
Bogotá D.C., Colombia

Resumen- El presente artículo expone los resultados de un estudio comparativo realizado a la pequeña central hidroeléctrica Patico la Cabrera con el fin de analizar los lineamientos hidráulicos, hidrológicos y mecánicos usados en el momento de su diseño con el propósito de determinar el estado de estos lineamientos al día de hoy, en aras de reconocer la viabilidad de producción energética de un proyecto de esta envergadura en zonas apartadas del territorio nacional. Esta idea nace de incentivar una idea amigable con el medio ambiente, de costos relativamente reducidos y que se pueda establecer en zonas no interconectadas del territorio nacional debido a la no cercanía a zonas interconectadas, basados en lo anterior se realizó una recopilación de información cartográfica e hidrológica de la zona de estudio proporcionada por el IGAC y el IDEAM respectivamente, el análisis de los datos usados para el diseño y construcción de la PCH Patico la Cabrera, los estudios ambientales y las ventajas económicas en relación a los métodos más usados para la generación de energía se basan en la información existente de diferentes trabajos enfocados en este campo de investigación, esto permitió establecer lineamientos comparativos y explicativos de los procesos y elementos hidrológicos e hidráulicos usados en una PCH operante de lo cual se pudo determinar que los aspectos ambientales que rigen la cuenca del río Cauca son óptimos a la fecha para el correcto funcionamiento de la pequeña central hidroeléctrica constatando la viabilidad técnica de este proyecto.

Abstract- This paper presents the results of a comparative study carried out at the small hydroelectric plant Patico la Cabrera in order to analyze the hydraulic, hydrological and mechanical guidelines used at the time of its design in order to determine the status of these guidelines per day of today, in order to recognize the feasibility of energy production of a project of this magnitude in areas remote from the national territory. This idea originates from encouraging an environmentally friendly idea, with relatively low costs and that can be established in non-interconnected areas of the national territory due to the non-proximity to interconnected areas, based on the above, a collection of cartographic information was carried out and Hydrological analysis of the study area provided by the IGAC and IDEAM respectively, analysis of the data used for the design and construction of the Patico la Cabrera SHP, environmental studies and economic advantages in relation to the most used methods for generation Of energy are based on the existing information of different works focused on this field of research, this allowed to establish comparative and explanatory guidelines of the processes and hydrological and hydraulic elements used in an operative PCH of which it was possible to determine that the environmental aspects that govern The Cauca river basin are optimal to date for the correct operation of the small hydroelectric power station, confirming the technical feasibility of this project.

Palabras Claves: Cuenca, Hidrología, Actualización, análisis.

I. INTRODUCCIÓN

Esta investigación desarrollo una evaluación técnica de la central Hidroeléctrica Patico la Cabrera cuyo propósito fue la revisión de sus equipos electromecánicos, incluyendo un análisis del ciclo hidrológico de la cuenca del río Cauca y un estudio hidráulico los cuales hacen posible que Patico la Cabrera cuente con una capacidad operacional de 1.48 MW.

Dicho lo anterior podemos afirmar que el proyecto Patico la Cabrera cuenta con una capacidad de generación de energía mucho menor en comparación con centrales de gran envergadura y renombre como lo es la central hidroeléctrica de Chivor, ubicada en el municipio de Santa María en el departamento de Boyacá, Chivor cuenta con un embalse capaz de albergar 569.64 millones de metros cúbicos de agua con una capacidad de generación eléctrica de 1000 MW aproximadamente¹, debido a su producción

¹ (AES Chivor, 2014)

eléctrica Patico es catalogada como una PCH (Pequeña Central Hidroeléctrica), puesto que su capacidad de generación no supera los 20MW².

Con respecto al párrafo anterior es importante establecer que existen pronósticos negativos en cuanto a las reservas petrolíferas en el mundo, la contaminación, los impactos ambientales que generan los procesos de obtención de energía más usados y la creciente demanda energética, debido a esto en los últimos años se han impulsado una serie de alternativas que puedan suplir dicha demanda energética sin intervenir negativamente el ambiente, esta iniciativa cuenta con un gran apoyo en el sector colombiano por parte de empresas y universidades lo que ha llevado a que estos estudios se intensifiquen y producto de ellos se deriven una serie de interrogantes que abarcan preguntas como ¿Cómo fabricar productos energéticamente eficientes? ¿Cómo reemplazar los recursos energéticos tradicionales y que además este reemplazo sea amigable con el medio ambiente? ¿Cómo diseñar estructuras de generación de energía más amigables con el medio ambiente?, para dar respuesta a estas preguntas se han estudiado sistemas basados en energía solar, energía eólica, biomasa y sistemas de energía hidráulica implementados a pequeña escala como lo son las PCHs³. Las PHCs o pequeñas centrales hidroeléctricas son sistemas de generación con una baja capacidad que a partir de la energía del flujo del agua sin necesidad de grandes represamientos tiene la característica de abastecer a pequeños asentamientos humanos, gracias a estas características sus implementaciones están presentes en la mayoría del mundo⁴.

Colombia es un país cuya hidrografía es rica y abundante, ya que además de contar con el acceso al océano Pacífico y Atlántico cuenta con cinco vertientes hidrográficas, la vertiente del Caribe, la vertiente del Pacífico, la Vertiente del Orinoco, la vertiente del

Amazonas y por último la vertiente del Catatumbo, gracias a estas series de características hidrográficas el sistema interconectado de generación eléctrica tiene cerca de 10000 MW de capacidad instalada de generación, con una composición de 80% en plantas hidroeléctricas y 20% en termoeléctricas⁵, de igual forma en diferentes zonas del país se encuentran montajes de PCHs en los cuales se han instalado turbinas hidráulicas en pequeñas derivaciones sobre los cauces de los ríos e incluso se han implementado en las redes de distribución (PCH Santa Ana del Acueducto de Bogotá).

Cabe señalar que los proyectos PCHs tienen una gran importancia en cuanto a sistemas de generación de energía novedosos, sostenibles y ambientalmente amigables y es en este punto donde se realizará una evaluación del funcionamiento a la pequeña central hidroeléctrica Patico La Cabrera con el fin de establecer los puntos a favor de la PCHs ya operantes.

II. *MATERIALES Y MÉTODOS.*

Pese a que Colombia es un país con una gran variedad de recursos hídricos los cuales son administrados con el fin de suplir las demandas energéticas del territorio nacional los valores de cobertura energética alcanzan valores de un 96.7 % en contraposición a lo anterior es importante reconocer que tan solo dos ciudades cuentan con una cobertura del 100% (la isla de San Andrés y Bogotá), basados en esto y en la suspensión de los proyectos de PCHs en el territorio nacional en la década de los 70s se procede a realizar una investigación con el propósito de realizar una actualización de la parte hidrológica, hidráulica y mecánica de la Pequeña Central Hidroeléctrica Patico La Cabrera y poder determinar la viabilidad de este tipo de proyectos.

² (Quintero)

³ (Sierra Vargas , Sierra Alarcon , & Guerrero Fajardo, 2011)

⁴ (Sierra Vargas , Sierra Alarcon , & Guerrero Fajardo, 2011)

⁵ (Sierra Vargas , Sierra Alarcon , & Guerrero Fajardo, 2011)

Para esto se acuden a diferentes informes mecánicos e hidrológicos de este tipo de estructuras, de igual forma para tener una estimación correcta de los caudales y la delimitación de la cuenca la información hidroclimatológica y datos cartográficos de la cuenca alta del río Cauca fueron proporcionadas por el IDEAM y el IGAC respectivamente, sumado a esto un ex funcionario de CEDELCA apporto información de la PCH Patico la Cabrera con pleno conocimiento y autorización que su uso fue para fines académicos.⁶

a. Localización:

El estudio se llevó acabo en el proyecto Patico el cual está ubicado en el municipio de Coconuco, departamento del Cauca a 20 km aproximadamente al oriente de Popayán y corresponde al aprovechamiento hidroeléctrico del río Cauca en el tramo comprendido entre la confluencia del río Grande y la actual bocatoma de la central hidroeléctrica Florida II. Se ubica a lo largo del río Cauca entre las coordenadas X=755.100, Y=1'064.875 (Sitio de captación) y X=758.360, Y=1'064.210 (Casa de Máquinas).⁷

b. Estudios Topográficos:

La cartografía consultada corresponde a los mapas número 364 365 a una 1:100000 y 365 IIA a una escala de 1:25000 proporcionados por el Instituto de Geografía Agustín Codazzi, gracias a esto se obtuvo las características morfométricas de la cuenca PCH Patico la Cabrera.

c. Caracterización de la cuenca:

El proyecto Pequeña Central Hidroeléctrica Patico – La Cabrera aprovecha las aguas del río Cauca, teniendo como zona de aporte la parte alta de la cuenca, desde el nacimiento hasta el punto de captación. De acuerdo a un análisis basado en la cartografía de la zona se

pudo determinar que esta parte de la cuenca abarca un área de 459 km² aproximadamente.

A lo largo del desarrollo del proyecto se presentan:

- ✓ Margen derecha del Río Cauca: 2 quebradas.
- ✓ Margen izquierda del Río Cauca: 9 quebradas entre las cuales se destacan, quebrada Honda y quebrada Patico.

Estas quebradas presentan una gran importancia a nivel ecológico ya que aportan sus caudales aguas abajo de la bocatoma contribuyendo en la recuperación del caudal que se ha captado y en la conservación del caudal ecológico requerido ambientalmente.

d. La Características Morfométricas generales son:

Características morfométricas de la cuenca

Características Morfométricas de la cuenca PCH patico la Cabrera					
Descripcion	Unidades	Valor			
Area	km ²	459			
Perimetro	km	83			
Indice de Compacidad		1.1			
Longitud del Cauce Principal	km	44			
Cota Inicial del rio	msnm	3250			
Cota menor rio	msnm	2230			
Pendiente media del rio		3.59%	4%	23.2	m/km
Largo de la cuenca	km	30			
Ancho promedio (B)	km	17.5			
Indice de Forma		0.58			

e. Caudales multianuales

Caudales multianuales de la Cuenca

ENE	FEB	MAR	ABR	MA Y	JUN	JUL	AG O	SEP	OCT	NOV	DIC
9.32	9.09	9.58	11.02	12.24	13.62	15.42	13.87	10.65	10.77	11.43	10.79

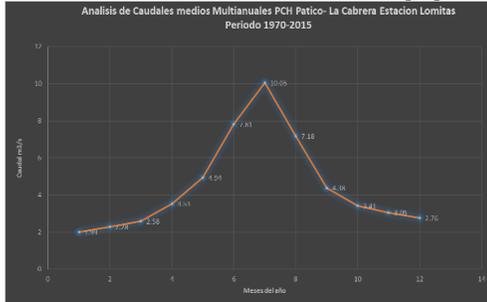
⁶ (CEDELCA, 1996)

⁷ (CEDELCA, 1996)

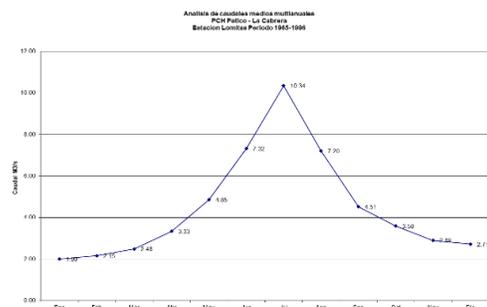
f. **Análisis de Caudales medios mensuales multianuales Estaciones Lomitas, Puente Aragón y Julumito:**

- **Lomitas**

Curva caudales medios multianuales fuente propia



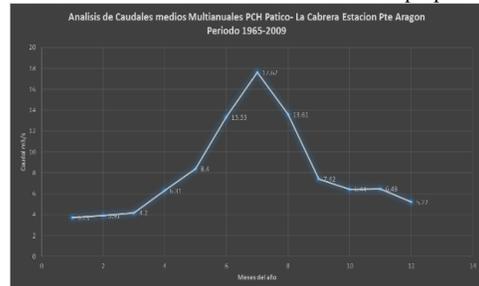
Curva caudales medios multianuales fuente CEDELCA



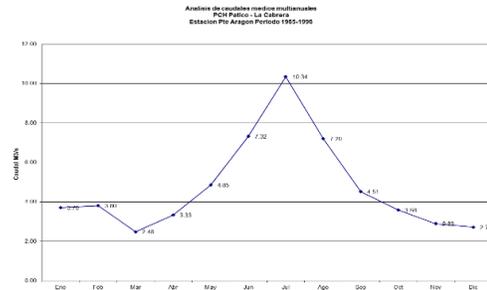
- ✓ Se observa una concordancia en el mes en el cual se presentan los caudales medios mensuales máximos (Julio).
- ✓ Se evidencia una disminución en el caudal medio mensual máximo pasando de valores de 10.34 m³/s correspondiente al periodo de 1965-1996 a 10.05 m³/s correspondiente al periodo 1970-2015.

- **Puente Aragón**

Curva caudales medios multianuales fuente propia



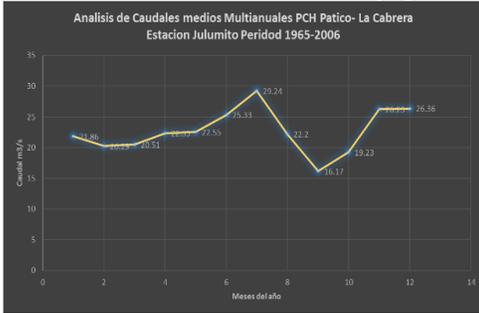
Curva caudales medios multianuales fuente CEDELCA



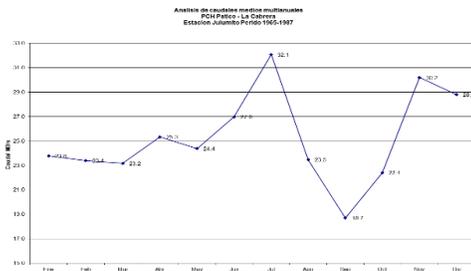
- ✓ Es apreciable un aumento considerable del caudal máximo correspondiente al periodo 1965-2009 de 17.62 m³/s en relación al máximo presentado en el periodo 1965-1996 que fue de 10.34 m³/s.
- ✓ Existe una leve variación en los meses posteriores a febrero en el periodo 1965-1996 esta variación es una disminución en los caudales aforados en la estación puente Aragón con valores de 3.8 m³/s en el mes de febrero, luego en el mes de marzo este valor disminuyó a 2.48 m³/s y tuvo un aumento en los meses anteriores al mes de julio con valores que oscilaron entre 3.3 m³/s a un máximo de 10.34 m³/s, si tomamos como referencia estos valores se puede apreciar que en el periodo 1965-2009 existe un aumento considerable de los valores ya que en el mes de marzo no se presenta una disminución de los caudales con respecto al mes de febrero siendo 4.2 m³/s el valor de marzo y en los meses anteriores al mes de julio este valor llegó a alcanzar límites de 6.31 m³/s, 8.4 m³/s 13.3 m³/s ninguno por debajo a los valores correspondientes al periodo 1965-1996, esta tendencia se mantiene hasta el mes de diciembre.

- Julumito

Curva caudales medios multianuales fuente propia



Curva caudales medios multianuales fuente CEDELCA



- El mes en el cual se presenta el mayor caudal medio multianual es Julio para ambos periodos sin embargo existe una disminución en el periodo de 1965-2006 con respecto a 1965-1987 con valores que van de 32.1 a 29.24 m³/s esta disminución de caudales se aprecia en todos los meses.
- Pese a existir una disminución en los caudales en el periodo 1965-2006 los caudales medios multianuales presentan una similitud en su comportamiento en relación al periodo analizado.

g. Curva de duración de caudales

Con base en la historia de hidrologías correspondiente a cada estación se establecieron los valores máximos y mínimos de los caudales, creando así un rango para cada variación de caudal el cual comienza con los valores mínimos llegando a abarcar los valores máximos, se estima la cantidad de veces que estos rangos se repiten y a esto se denomina frecuencia, esta frecuencia nos indica la

cantidad de veces que se presentaron una serie de caudales en el periodo evaluado.

h. Comparación Frecuencias Acumuladas

Comparación de frecuencias acumuladas

Comparación Frecuencias Acumuladas			
Estación	Periodo	Frecuencia Acumulada	Años de estudio
Lomitas	1970-2015	522	45
	1965-1996	324	31
Puente Aragón	1965-2009	536	50
	1965-1996	384	31
Julumito	1964-2006	505	50
	1965-1987	276	22

En la anterior figura se puede observar que existe una variación en la cantidad de caudales estudiados en los periodos correspondientes a las estaciones en estudio, esto se debe a la variación que existe entre los años de estudios en los diferentes periodos lo cual nos indica que los valores y graficas cuyos años de estudios son superiores nos van a arrojar una mayor confiabilidad con respecto a los demás y de igual forma brindaran un análisis ajustado al presente.

i. Análisis de las curvas de duración de caudales

Variación de las curvas de duración de caudal en los diferentes periodos analizados

Variación de las curvas de duración de caudal en los diferentes periodos analizados				
Estación	Periodo	Ecuacion	% Frecuencia a Evaluar	Cudales Por frecuencia
Lomitas	1970-2015	$Y = -3.348 \cdot \ln(x) + 1.3844$	10%	Caudal m ³ /s 9.09
	50%		Caudal m ³ /s 3.71	
	100%		Caudal m ³ /s 1.38	
	1965-1996	$Y = -3.2 \cdot \ln(x) + 1.4911$	10%	Caudal m ³ /s 8.86
	50%		Caudal m ³ /s 3.71	
	100%		Caudal m ³ /s 1.49	
Puente Aragón	1965-2009	$Y = -4.848 \cdot \ln(x) + 3.5997$	10%	Caudal m ³ /s 34.76
	50%		Caudal m ³ /s 6.96	
	100%		Caudal m ³ /s 3.60	
	1965-1996	$Y = -6.555 \cdot \ln(x) + 2.0031$	10%	Caudal m ³ /s 17.09
	50%		Caudal m ³ /s 6.54	
	100%		Caudal m ³ /s 2.00	
Julumito	1964-2006	$Y = -6.864 \cdot \ln(x) + 14.364$	10%	Caudal m ³ /s 30.17
	50%		Caudal m ³ /s 19.12	
	100%		Caudal m ³ /s 14.36	
	1965-1987	$Y = -9.382 \cdot \ln(x) + 15.19$	10%	Caudal m ³ /s 36.79
	50%		Caudal m ³ /s 21.69	
	100%		Caudal m ³ /s 15.19	

Se tomaron los valores correspondientes al 10% 50% y 100% de la frecuencia acumulada en cada estación tomando como referencia los periodos de 1970-2015 vs 1965-1996 para la estación de lomitas, 1965-2009 vs 1965-1996 estación Puente Aragón y 1964-2006 vs 1965-1987 estación Julumito, de lo cual se concluyó.

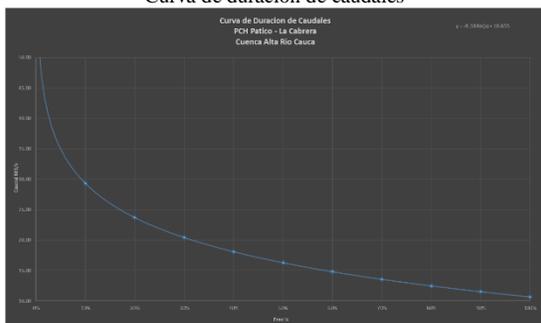
- ✓ En la estación lomitas para una frecuencia acumulada del 10% se evidencia un aumento en el caudal de 0.23 m³/s lo cual indica que hubo un aumento de los caudales que oscilan

entre 9 m³/s y 10 m³/s, pero esta tendencia al alza no es constata ya que para una frecuencia acumulada del 100% se observa una disminución de 0.11 m³/s en relación al periodo de 1965-1996.

- ✓ En la estación Puente Aragón para una frecuencia acumulada del 10% se observa una disminución en el caudal de 2.33 m³/s al 2009 lo que nos deja en evidencia que la frecuencia de caudales que van en el orden de 15 m³/s a 17m³/s sufrió una disminución a este año, sin embargo, hubo un aumento con respecto a los caudales cuya frecuencia es del 100% y están a valores cercanos de 1m³/s a 5m³/s.
- ✓ En la estación Julumito se evidencia una disminución en las frecuencias acumuladas del 10% 50% y 100% con valores de 6.62m³/s, 2.57m³/s y 0.83m³/s respectivamente, si bien esto indica que la intensidad de los caudales medios ha disminuido se puede afirmar que no tiene una incidencia negativa considerable en la PCH Patico – La Cabrera puesto que Julumito es la estación en estudio que se encuentra más alejada de la zona de captación de Patico.

j. Curva de duración de caudales PCH Patico La Cabrera

Curva de duración de caudales



De este análisis obtenemos que el caudal medio del río Cauca para el proyecto PCH Patico – La Cabrera a la fecha es 14.67 m³/s.

Valores medios de caudal

Valores Medios de Caudal	
Frec %	Caudal m ³ /s
50%	14.67

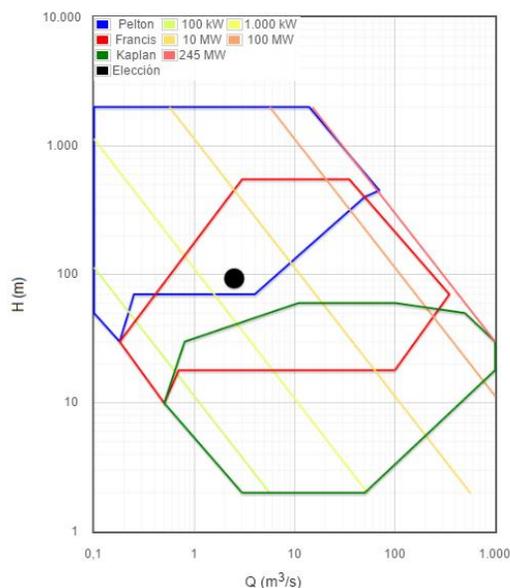
k. Análisis Curva de duración de potencias

Tabla duración de potencias

Q _i - Q _{i+1}	Q _m (m ³ /s)	Potencia relativa (kW)	Frecuencia	Frecuencia %	Duración %	Energía kWh x 10 ²
22 - 21	21.5	15956	2	0.4%	0.4%	5368.8
21 - 20	20.5	15252	0	0.0%	0.4%	5119.1
20 - 19	19.5	14506	0	0.0%	0.4%	4869.4
19 - 18	18.5	13764	1	0.2%	0.6%	4629.5
18 - 17	17.5	13020	1	0.2%	0.8%	4389.9
17 - 16	16.5	12276	2	0.4%	1.1%	4240.7
16 - 15	15.5	11532	1	0.2%	1.3%	4091.6
15 - 14	14.5	10788	1	0.2%	1.5%	3942.5
14 - 13	13.5	10044	4	0.8%	2.3%	3793.5
13 - 12	12.5	9300	6	1.1%	3.4%	3644.4
12 - 11	11.5	8556	5	1.0%	4.4%	3495.4
11 - 10	10.5	7812	11	2.1%	6.5%	3346.3
10 - 9	9.5	7068	11	2.1%	8.6%	3197.3
9 - 8	8.5	6324	23	4.4%	13.0%	3048.3
8 - 7	7.5	5580	20	3.8%	16.9%	2899.4
7 - 6	6.5	4836	32	6.1%	23.0%	2750.5
6 - 5	5.5	4092	35	6.7%	29.7%	2601.6
5 - 4	4.5	3348	59	11.3%	41.0%	2452.7
4 - 3	3.5	2604	117	22.4%	63.4%	2303.8
3 - 2	2.5	1860	101	19.3%	82.8%	2154.9
2 - 1	1.5	1116	76	14.6%	97.3%	2006.0
1 - 0	0.5	372	14	2.7%	100.0%	1857.1

3 - 2	2.5	1860	101	19.3%	82.8%	134843.6
2 - 1	1.5	1116	76	14.6%	97.3%	95139.6

Abaco características de una turbina



Una vez establecida la altura y el caudal con los cuales va a trabajar la PCH Patico – La Cabrera se hizo uso del software Global Hidráulica alimentado por una altura de 92m y un caudal de 2.5 m³/s cuyo propósito fue el de determinar qué tipo de turbina se empleó en la Pequeña Central Hidroeléctrica,

arrojando como resultado el uso de una turbina Francis⁸.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se estableció que existe una variación positiva en el caudal medio de la cuenca ya que existió un aumento de un 3.6% en relación al periodo analizado, esta variación significa un aumento en el caudal medio de valores de 14.16 m³/s a 14.67m³/s, lo que representa que la cuenca del río Cauca perteneciente a la PCH Patíco – La Cabrera aun cuenta con el caudal necesario para operar y satisfacer las necesidades planteadas en el momento de su diseño y construcción.

Basados en la actualización del ciclo hidrológico se pudo determinar que, si bien existe una variación en los caudales en algunas estaciones de estudio pertenecientes a la cuenca, esta variación en todos los casos no es desfavorable, es decir existe un aumento en el caudal pese a las variaciones climatológicas que existieron en el transcurso del tiempo.

Es importante reconocer que si bien existió un aumento en el caudal medio de la cuenca no es el común denominador en todas las estaciones ya que Julumito presenta una disminución de hasta 6.62m³/s en relación al periodo analizado en el momento del diseño (1965-1987), este valor en Julumito no tiene una incidencia directa en el proyecto ya que la distancia a la cual se encuentra esta estación de la zona de estudio es considerablemente alta.

A través del estudio hidráulico se estableció que la turbina necesaria debería operar con un caudal de 2.5m³/s con el fin de obtener una potencia de 1860kW anualmente, debido a que el caudal medio de la cuenca obtenido a través

del estudio hidrológico es de 14.67m³/s nos permite afirmar que la turbina va a operar sin falencias por suministro de caudal.

De acuerdo al análisis mecánico se pudo concluir que una turbina tipo Francis es la ideal para garantizar la generación de una potencia de 1860kw, de lo anterior y en base a los datos de diseño proporcionados por CEDELCA se pudo determinar que este tipo de turbinas es la que se encuentra operante en la PCH Patíco – La Cabrera.

La eficiencia en la aplicación de un estudio hidrológico está directamente relacionada con la continuidad de los datos registrados por las estaciones estudiadas y por la cercanía a la cual se encuentren del proyecto, si al momento del análisis se evidencia que una estación carece de la información necesaria para el periodo de análisis es necesario buscar otra estación y relacionar los datos de estas con el fin de suplir el déficit de información que pueda tener alguna estación y determinar el comportamiento de la cuenca de una manera más acertada.

Del anterior estudio se pudo determinar que a pesar que Patíco La Cabrera se encuentra operante desde hace varios años las características de la cuenca a la fecha permiten que esta siga operando sin ningún contratiempo por lo cual se puede decir que proyectos como las Pequeñas Centrales Hidroeléctricas son una alternativa viable para reducir el déficit energético en el cual se encuentran algunas zonas apartadas del país recordando que este tipo de proyectos necesitan una inversión relativamente baja y generan un impacto ambiental mitigable.

Después de corroborar que las condiciones y los equipos usados en la construcción y diseño de la PCH Patíco – La Cabrera a la fecha no

⁸ (Global Hydraulic Software, 2016)

requieren de ninguna modificación para su correcto funcionamiento se puede dejar en manifiesto la eficiencia de esta pequeña central hidroeléctrica, por esta razón es necesario reconsiderar la alternativa de retomar la idea que se planteó en la década de los 70s cuyo propósito era incrementar la participación de PCHs en zonas no interconectadas y con una baja densidad poblacional, esto ayudaría a reducir el déficit de energía en estas zonas.

Debido a que la PCH es una estructura cuyo suministro de agua proviene directamente del río Cauca y con el todos sus sedimentos o material de arrastre es importante realizar un mantenimiento constante y periódico con el fin de prolongar la vida útil de su estructura en general y no alterar su funcionamiento.

Es importante establecer un canal de comunicación con la comunidad cuyo propósito será el de establecer un sentido de pertenencia con la Pequeña central hidroeléctrica y generar una conciencia la cual va permitir la conservación de la cuenca con la cual está siendo suministrada la PCH.

Según los estudios realizados para la precipitación se puede destacar que, al tener las precipitaciones de cincuenta años consecutivos, la exactitud con respecto a los valores medios será más acertada, por esto sería importante hacer una proyección de precipitación a 30 años futuros.

Las estructuras a nivel general fueron diseñadas según las características obtenidas hidrológicamente, sin embargo, el desarenador fue sobredimensionado ya que un asentamiento indígena exigió que este tuviera unas dimensiones específicas para poder beneficiarse de este recolectando sus residuos.

Ante una creciente de caudal de hasta 100 años no se producirá desbordamiento del caudal y

el área aledaña no se verá afectada por inundaciones, puesto que en el evento de inundación la central abrirá las compuertas y estas permitirán la entrada solo del caudal requerido, el cual fue de 14.5 m³/s

Se recomienda, reintegrar el mayor flujo de agua desperdiciado por procesos de limpieza de materiales sólidos. Con el fin de disminuir el impacto generado por el proyecto.

Se diseñaron dos compuertas radiales con el fin de establecer una suplencia en caso de mantenimiento no detener la generación, se usó este tipo de compuertas debido a que pueden direccionar la fuerza producto del empuje del agua y usarla en su manipulación.

El régimen hidrológico colombiano está ligado a ciertas variables macro-climáticas. Por esto es de gran importancia aprovechar el recurso hídrico al máximo.

Las estructuras diseñadas fueron planteadas utilizando las principales características de las series históricas de lluvias y caudales. En especial las relacionadas con los eventos extremos para almacenamiento de la serie de caudales.

BIBLIOGRAFÍA

- AES Chivor. (2014). *AES Chivor Somos Energía* . Obtenido de La Central Hidroeléctrica de Chivor : <http://www.chivor.com.co/qui/SitePages/La%20Central%20Hidroel%C3%A9ctrica%20de%20Chivor.aspx>
- CEDELCA. (1996). *Hidrología PCH Patito La Cabrera*.
- Global Hydraulic Software. (26 de Octubre de 2016). *Criterio de selección de turbinas*. Obtenido de

http://www.globalkfp.es/APP_demo/vistaSeleccio.php

Quintero, J. E. (2013). *Investigación en pequeñas centrales hidroeléctricas*. (Universidad Libre de Colombia) Recuperado el 07 de Septiembre de 2016, de <http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista-12/ar9.pdf>

Quintero, E. T. (s.f.). *Investigaciones en pequeñas centrales hidroeléctricas en Colombia*. Obtenido de <http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista-12/ar9.pdf>

Sierra Vargas , F. E., Sierra Alarcon , A. F., & Guerrero Fajardo, C. A. (08 de 11 de 2011). *Pequeñas y microcentrales hidroeléctricas: Alternativa real de generación eléctrica*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/264239546_Pequeñas_y_microcentrales_hidroeléctricas_alternativa_real_de_generación_eléctrica