



Fuente: <http://www.vanguardia.com/opinion/editorial/367700-el-rio-fonce>

Modelación del Potencial Hidroenergético en Caudales Mínimos de la Cuenca del Rio Fonce (Santander)

Riveros Sergio Andrés
Rivera Hebert Gonzalo

Modelación del Potencial Hidroenergético en Caudales Mínimos de la Cuenca del Rio Fonce (Santander)

RIVEROS Sergio Andrés

Universidad Militar Nueva Granada, Grupo IGE, Programa de Ingeniería Civil,
u1101503 @unimilitar.edu.co
Estudiante Ingeniería Civil

RIVERA Hebert Gonzalo

Universidad Militar Nueva Granada, Grupo IGE, Programa de Ingeniería Civil,
hebert.rivera @unimilitar.edu.co
Ph. D. Hidrología

Resumen: Este trabajo presenta el potencial hidroenergético de la cuenca del río Fonce en el cauce principal (cada 5 km a lo largo desde su nacimiento) y en sus principales afluentes bajo las condiciones siguientes: a) caudales mínimos multianuales y b) alturas de caídas del agua de 25m, 50m, 75m y 100 m. La metodología aplicada es la contemplada por la UPME en el Atlas del Potencial Hidroenergético de Colombia de 2015. Los resultados arrojan que el río Fonce puede ofrecer un potencial entre 35kw y 14000 kw dependiendo de la altura (entre 25m y 100m) y el área aferente a cada sitio. Copyright © L'sprit Ingenieux.

Palabras clave: Potencial hidroenergético, caudales mínimos.

Abstract: This paper presents the hydropower potential of the basin of the river Fonce in the main channel (every 5 km along since birth) and its main tributaries under the following conditions: a) Multi-year minimum flows b) heights of water falls 25m, 50m, 75m and 100m. The methodology is contemplated by the UPME in the Atlas of Hydropower Potential of Colombia 2015. The results show that the Fonce river can offer a potential between 35kw and 14000 kW depending on the height (between 25m and 100m) and the area afferent to each site. Copyright © L'sprit Ingenieux.

Keywords: hydropower potential, minimum flows.

1. Introducción:

La cuenca del río Fonce (Santander) cuenta con una gama amplia de estudios en los aspectos sociales, geológicos, ecosistémicos y un conjunto pequeño en los ámbitos meteorológicos e hidrológicos. Este trabajo aporta un grano pequeño de arena en la comprensión del potencial de energía que produciría el río bajo ciertas circunstancias.

Está claro que la energía en los ríos los produce la turbina y no el agua mismo del río; sin embargo, son importantes los valores de caudal y caída del agua, dado que ejercen la fuerza necesaria para que la turbina gire. Esta energía se estima teniendo en cuenta los siguientes aspectos: a) el coeficiente de la turbina, la fuerza de gravedad, el caudal y la altura como caída del agua en el sitio de la presa. En estudios registrados en el Atlas se muestra como Colombia puede generar seis veces la cantidad actual de energía derivada del agua.

Para el caso de la cuenca del río Fonce, la consulta exhaustiva de estudios, informes y reportes técnicos, realizados tanto por entidades nacionales (UPME; IDEAM, IPSE), como locales (CAS, Empresa de Acueducto ACUASAN, Alcaldías municipales, Gobernación) nos permite aseverar que el potencial hidroenergético del río es poco estudiado. De allí que sea importante y se justifique la búsqueda de los sitios que permitan producir energía. Además de lo anterior, gran cantidad de veredas cuentan con el servicio de energía pero no es constante a lo largo del día y en las épocas de verano el costo de la misma mantiene precios muy altos en comparación con los ingresos de los campesinos que allí habitan. En el Atlas del Potencial Hidroenergetico de Colombia se afirma que a futuro el valor de los hidrocarburos va a generar grandes costos en la generación e incluso problemas de abastecimiento, por esta razón se deben buscar alternativas renovables.

Una aproximación general pero detallada del potencial se presenta en este trabajo con el siguiente alcance: a) la información hidrológica de caudales se estimó para tramos cada 5 km en el cauce principal del río y también para los principales afluentes del río; b) se establecieron 4 tipos de caídas de agua diferentes (25m, 50m, 75m y 100m); c) se estimó mediante SIG el área aferente a cada tramo de 5 km en el cauce principal y para cada uno de los afluentes involucrados.

Este esfuerzo es el resultado del proyecto de investigación de la Universidad Militar Nueva Granada No. INV IMP 2134 de 2016, el cual fue financiado con recursos de la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad Militar Nueva Granada y desarrollado junto con la Universidad de Pamplona. El proyecto en general trata sobre la modelación de la dinámica del agua del río Fonce teniendo en cuenta la incertidumbre que existe en las variables meteorológicas e hidrológicas.

2. Material

El modelo digital de terreno fue construido a partir de Global Mapper. Con este modelo se determinaron los sitios cada 5 km a lo largo del cauce principal del río y los afluentes principales. En la figura 1 se ilustra el mapa y los sitios antes señalados.



Figura 1. Ubicación de los sitios establecidos para estimar el potencial hidroenergético del río Fonce. Elaborado por Sergio Riveros y Diego Merlo Arias.

Para cada sitio identificado se estimó el área aferente. En total resultaron 29 sitios con sus respectivos valores de áreas.

Para el caso del río Fonce fue seleccionada la estación hidrológica ubicada en San Gil y operada por el IDEAM. Los valores mínimos de las caudales comprenden el periodo temporal de los años 1955-2012, los cuales se muestran en la figura 2.

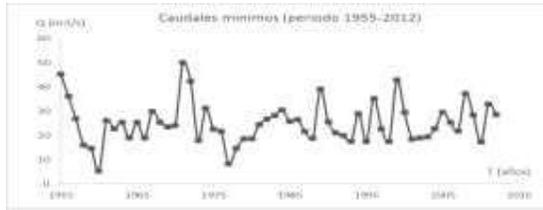


Figura 2. Valores mínimos de los caudales del río Fonce. Elaboración propia. Metodología

La estimación del potencial hidroenergetico es una valoración hidrológica que se realiza a largo plazo, lo cual significa que su validez existe sólo en tiempos largos (años) y debe contar también con información detallada del valor histórico de los caudales (Ortiz, 2004). La principal restricción radica en que los valores mínimos de caudales anuales de la serie hidrológica se tratan con el concepto de periodo de retorno, el cual en promedio representa la aparición en cierta cantidad de años de un valor de caudal determinado. Así se suele estimar el periodo de retorno para un caudal.

Los valores mínimos de caudales se estimaron con el siguiente procedimiento: a) se toma la serie de valores de caudales registrados en la estación San Gil, b) luego se estiman sus propiedades estadísticas (media, desviación estándar, coeficiente de asimetría, coeficiente de curtosis); c) posteriormente con una relación área – caudal se procede a calcular el valor del caudal en cada uno de los 29 sitios identificados para este trabajo; d) con esos nuevos valores de caudales se ajusta un modelo estadístico a la serie de datos y con el modelo se obtienen los periodos de retorno como el inverso de la probabilidad de excedencia. Toda la metodología se rige a lo establecido en el Atlas de Potencial Hidroenergético de 2015, donde se indica el procedimiento para el desarrollo de la ecuación.

3. Resultados

La caracterización estadística de la serie original de valores mínimos de caudales se presenta en la tabla 1.

Característica	Valor
Mínimo	5,3
Máximo	50
Media	25,07
Varianza	72,28
Desviación estándar	8,50
Mediana	24,35
Asimetría	0,69
Curtosis	1,04

La prueba de ajuste de un modelo estadístico teórico se llevó a cabo mediante el criterio de Chi Cuadrado; los resultados se muestran en la tabla 2 para cuatro modelos diferentes, ampliamente conocidos en hidrología.

Modelo	Kn	\bar{y}	Sy	YH
Normal	2,8238	0,0347	0,0134	0,0726
Lognormal	2,8238	0,0352	0,0142	0,0755
Pearson III	2,8238	0,0374	0,0233	0,1032
Gumbel	2,8238	0,3638	0,2964	1,2009

Siendo:

\bar{y} : Valor promedio de cada distribución.

Sy: La desviación estándar de cada distribución.

YH: El valor numérico del desfase en cada distribución.

Como se puede apreciar, el modelo que mejor se ajusta es la ley Normal. En la figura 3 se ilustra el ajuste de este modelo al comportamiento histórico de los valores mínimos de caudales.

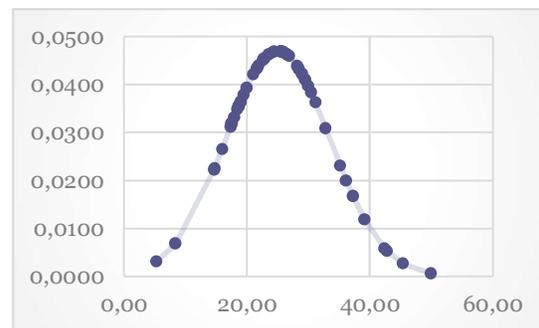


Figura 3. Comparación del modelo teórico (línea suave) contra los valores empíricos (puntos). Elaboración

Con el modelo Normal se estiman los valores de caudales a diferentes periodos de retorno. Teniendo en cuenta que en Santander se suelen aplicar periodos hasta 500 años de retorno, este valor se mantuvo en este estudio para determinar el valor del caudal esperado y este valor a que porcentaje corresponde. Los resultados se ilustran en la tabla 3.

Tabla 3. Valores de caudales en diferentes periodos de retorno.

Periodo de retorno (T)	Probabilidad (P _{max<=x})	z	Q	% Q
2	0,5	0	25,078	0,15219
5	0,8	0,8418	32,235	0,19558853
10	0,9	1,28	35,96	0,21822412
25	0,96	1,7553	40,001	0,24274096
50	0,98	2,054	42,541	0,25815501
100	0,99	2,3267	44,859	0,27041343
500	0,998	2,88	49,564	0,30075605

Estos valores son de gran importancia y serán usados para el cálculo final del potencial. Luego de esto, se calculan los caudales derivados de cada una de las áreas aferentes y se asumen los valores de H, en este caso desde 25m hasta los 100 metros que puede llegar a tener una estructura de embalse.

Para la estimación de potencial hidroenergético se aplica la ecuación, usada a partir de la investigación realizada por el UPME en el Atlas de Potencial Hidroenergético de Colombia:

Tabla 4. Estimación de Potencial

T	AREA 3				AREA 4				AREA 6			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
2	122,536	245,071	367,607	490,142	124,986	249,973	374,959	499,946	114,410	228,820	343,231	457,641
5	157,469	314,938	472,407	629,876	160,619	321,237	481,856	642,474	147,027	294,054	441,082	588,109
10	175,693	351,386	527,079	702,772	179,207	358,414	537,621	716,828	164,043	328,086	492,128	656,171
25	195,432	390,863	586,295	781,726	199,340	398,681	598,021	797,362	182,472	364,945	547,417	729,890
50	207,841	415,683	623,524	831,366	211,999	423,997	635,996	847,994	194,059	388,119	582,178	776,238
100	217,711	435,422	653,132	870,843	222,065	444,130	666,196	888,261	203,274	406,549	609,823	813,097
500	242,140	484,279	726,419	968,559	246,983	493,965	740,948	987,931	226,083	452,167	678,250	904,334

Tabla 5. Estimación de Potencial.

T	AREA 7				AREA 8				AREA 9			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
2	104,895	209,790	314,686	419,581	747,332	1494,664	2241,996	2989,328	1746,236	3492,472	5238,708	6984,944
5	134,800	269,599	404,399	539,198	960,387	1920,774	2881,162	3841,549	2244,067	4488,133	6732,200	8976,266
10	150,400	300,800	451,200	601,600	1071,533	2143,067	3214,600	4286,134	2503,774	5007,548	7511,322	10015,096
25	167,297	334,594	501,891	669,188	1191,917	2383,834	3575,751	4767,668	2785,066	5570,131	8355,197	11140,262
50	177,920	355,841	533,761	711,682	1267,604	2535,208	3802,811	5070,415	2961,917	5923,834	8885,752	11847,669
100	186,369	372,738	559,107	745,476	1327,796	2655,591	3983,387	5311,183	3102,563	6205,126	9307,689	12410,252
500	207,281	414,562	621,843	829,124	1476,785	2953,571	4430,356	5907,141	3450,696	6901,393	10352,089	13802,785

Tabla 6. Estimación de Potencial.

T	AREA 12				AREA 13				AREA 14			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
2	122,955	245,911	368,866	491,821	91,035	182,069	273,104	364,139	116,960	233,919	350,879	467,839
5	158,008	316,017	474,025	632,033	116,988	233,975	350,963	467,950	150,303	300,607	450,910	601,214
10	176,295	352,590	528,884	705,179	130,527	261,053	391,580	522,106	167,698	335,396	503,095	670,793
25	196,101	392,202	588,303	784,404	145,191	290,382	435,573	580,763	186,539	373,077	559,616	746,154
50	208,553	417,107	625,660	834,214	154,410	308,821	463,231	617,642	198,384	396,768	595,151	793,535
100	218,456	436,913	655,369	873,826	161,743	323,485	485,228	646,970	207,804	415,608	623,412	831,216
500	242,969	485,938	728,907	971,876	179,891	359,783	539,674	719,566	231,121	462,243	693,364	924,485

$$P = \gamma * Q * h * \mu \quad [1]$$

Donde,

P es el Potencial hidroenergético en kW (P, P1, P2, P3, P4)

γ es el peso específico del agua

Q es el caudal turbinado

μ es la eficiencia del sistema

h es el valor de la caída hidráulica usada desde 25 hasta 100m (h1, h2, h3, h4).

A cada valor de h corresponde uno de P: h1=25m a P1, h2=50m a P2, h3=75m a P3, h4=100m a P4.

En las siguientes tablas se muestran los resultados para el potencial en las principales áreas aferentes, pues son las que nos van a arrojar los valores de mayor interés a la hora de analizar un proyecto de este tipo. Con este fin se han retirado los resultados de las 11 áreas menores.

Tabla 7. Estimación de Potencial.

T	AREA 16				AREA 17				AREA 18			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
2	90,104	180,207	270,311	360,415	106,402	212,805	319,207	425,609	90,037	180,075	270,112	360,149
5	115,791	231,582	347,373	463,165	136,736	273,473	410,209	546,945	115,706	231,412	347,118	462,824
10	129,192	258,383	387,575	516,767	152,561	305,122	457,683	610,244	129,097	258,193	387,290	516,387
25	143,706	287,412	431,118	574,824	169,701	339,401	509,102	678,803	143,600	287,201	430,801	574,401
50	152,831	305,663	458,494	611,326	180,477	360,953	541,430	721,907	152,719	305,438	458,157	610,875
100	160,089	320,177	480,266	640,354	189,047	378,093	567,140	756,187	159,971	319,941	479,912	639,883
500	178,052	356,104	534,155	712,207	210,259	420,518	630,778	841,037	177,921	355,841	533,762	711,683

Tabla 8. Estimación de Potencial.

T	AREA 19				AREA 20				AREA 21			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
2	92,088	184,177	276,265	368,354	89,217	178,435	267,652	356,869	1130,721	2261,441	3392,162	4522,883
5	118,342	236,684	355,025	473,367	114,652	229,304	343,956	458,608	1453,075	2906,151	4359,226	5812,301
10	132,038	264,075	396,113	528,150	127,921	255,842	383,763	511,683	1621,241	3242,481	4863,722	6484,963
25	146,872	293,743	440,615	587,486	142,292	284,585	426,877	569,170	1803,382	3606,765	5410,147	7213,529
50	156,198	312,396	468,594	624,792	151,328	302,656	453,984	605,312	1917,897	3835,794	5753,691	7671,588
100	163,615	327,230	490,845	654,460	158,514	317,027	475,541	634,055	2008,968	4017,936	6026,904	8035,871
500	181,974	363,948	545,922	727,896	176,300	352,601	528,901	705,201	2234,391	4468,781	6703,172	8937,562

Tabla 9. Estimación de Potencial.

T	AREA 23				AREA 24				AREA 29			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
2	111,099	222,197	333,296	444,394	148,994	297,987	446,981	595,974	401,154	802,308	1203,462	1604,616
5	142,771	285,543	428,314	571,086	191,470	382,940	574,410	765,879	515,518	1031,036	1546,554	2062,072
10	159,295	318,589	477,884	637,178	213,629	427,258	640,886	854,515	575,179	1150,359	1725,538	2300,717
25	177,191	354,382	531,572	708,763	237,629	475,259	712,888	950,517	639,799	1279,598	1919,397	2559,196
50	188,442	376,885	565,327	753,770	252,719	505,438	758,156	1010,875	680,426	1360,852	2041,279	2721,705
100	197,391	394,781	592,172	789,562	264,719	529,438	794,157	1058,876	712,736	1425,472	2138,208	2850,944
500	219,539	439,079	658,618	878,158	294,423	588,846	883,268	1177,691	792,711	1585,422	2378,133	3170,844

Los resultados obtenidos nos indican que existe la posibilidad de desarrollar un proyecto hidroenergético en la cuenca del Río Fonce en Santander, pues se ha obtenido un potencial hidroenergético bueno teniendo en cuenta que este estudio se realizó bajo condiciones de caudales mínimos. Esto nos indica que en condiciones secas, de bajas precipitaciones se podría prestar un servicio eléctrico más regular y económico que el prestado en la actualidad, en este punto radica la importancia de la investigación llevada a cabo pues, se busca ofrecer una alternativa que mejore la calidad de vida de los habitantes del departamento de Santander y sus alrededores.

4. Conclusiones

El estudio demuestra que existe un gran potencial hidroenergético en el río Fonce aún en las condiciones de aguas bajas a largo plazo. Está claro que se trata de situaciones hipotéticas, habida cuenta que los valores mínimos de caudales fueron tratados bajo los preceptos del periodo de retorno en su interpretación clásica.

Una de las principales restricciones del presente estudio radica en que el concepto de periodo de retorno exige que el comportamiento histórico de caudales definen directamente al comportamiento futuro de éstos; ello parece ser que no será válido bajo condiciones de cambio climático.

El estudio puede ser un primer acercamiento en la modelación del potencial hidroenergético del río Fonce, aunque los retos son muy grandes a futuro.

5. Agradecimiento

Los autores expresan sus agradecimientos a la Universidad Militar Nueva Granada, a la Universidad de Pamplona, al instituto IDEAM, al instituto IGAC, a la corporación CAS, a la alcaldía de San Gil, a la empresa de acueducto ACUASAN por el apoyo brindado para la presente investigación.

6. Referencias

- UPME, IGAC. (2015). Atlas Potencial Hidroenergético de Colombia, pp 73-78.
- Nieto, A. (2015). “Modelación del potencial hidroenergético a partir del diseño con periodos de retorno en base a los caudales medios anuales en el rio Fonce- San Gil (Santander)”.
- UPME, Ministerio de Minas y Energía. (2011). Estado de la evaluación de potencial Hidroenergético de Colombia.
- UPME, (2013). Estudio para determinar la vulnerabilidad y las opciones de adaptación del sector energético Colombiano frente al cambio climático.
- IDEAM, (2008). Protocolo para la emisión de los pronósticos hidrológicos.
- CORPORACION AUNTONOMA REGIONAL DE SANTANDER, (2012). Plan de Acción (2012-2015).
- V. T. Chow, D. R. Maidment, L. W. Mays, (1964). Handbook of applied Hydrology.
- Ortiz, F. (2004). Evaluación de los Recursos Hidroenergéticos en Pequeña Escala. IEEE.

7. Autores

SERGIO ANDRES RIVEROS, Estudiante en Ingeniería Civil de la Universidad Militar Nueva Granada, desarrolla investigación científica como semillero en el proyecto de alto impacto UMNG INV IMP 2134 de 2016.

HEBERT GONZALO RIVERA, Docente Asistente en Ingeniería Civil de la Universidad Militar Nueva Granada, desarrolla investigación científica como líder en el proyecto de alto impacto UMNG INV IMP 2134 de 2016. Es ingeniero hidrólogo, Master of

Sciences en Ecología Hidrometeorológica, Ph. D. en Hidrología, cuenta con amplia experiencia docente, de investigación y ha publicado libros, artículos y escritos de opinión general.