

Mini-aprovechamiento Hidroeléctrico en el Salto Carpes de la Provincia de Misiones

FLACH, César E. ^a, FRANCO, Facundo L. ^a, KALLUS Tobías A. ^a, CABRAL, Roberto J. ^a,
BERENT, Héctor F. ^a

^a *Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM). Juan Manuel de Rosas 325, Oberá, Misiones, Argentina.*

e-mails: emanuelflach@gmail.com, facu_065@hotmail.com, tobiaskallus07@gmail.com,
robert_rjc@hotmail.com, hectorberent@yahoo.com.ar.

Resumen

El siguiente trabajo presenta el estudio del arte en lo que refiere a los micro-aprovechamientos hidroeléctricos en la Provincia de Misiones. En el mismo se destacan los principales aspectos hidrológicos, técnicos y constructivos de las obras realizadas en el siglo pasado hasta la actualidad. Además, se desarrolla un registro de datos del arroyo Once Vueltas ubicado en el departamento de Oberá Misiones, en conjunto con las mediciones y utilización de software.

Palabras Clave – *Micro-aprovechamiento Hidroeléctrico, Energías Renovables, Generación de Energía Eléctrica, Turbina Michell Banki, Generación en Isla.*

1. Introducción

La provincia de Misiones consta con numerosos recursos hídricos, gracias a su geografía y condiciones climáticas, por ello el estudio del estado del arte y análisis técnico son de gran importancia en todo pequeño proyecto hidroeléctrico a realizar.

Una buena forma de modificar la matriz energética, apostando a la energía renovable, es el aprovechamiento hidroeléctrico; por ello se toma como objeto de estudio al arroyo Once Vueltas, ubicado en la localidad de Mojón Grande – Florentino Ameghino, del cual no se registran proyectos previos.

En el pasado, el CREDMIT (Centro Regional de Desarrollo de Microaprovechamientos Hidroeléctricos) [1] realizó un resumen de todos los micro aprovechamientos instalados en Misiones, siendo un total de 12; que en la actualidad aumentan a 14 con la incorporación de Saltito I y Saltito II, ubicados en la localidad de Dos de Mayo [2]

En el presente trabajo se llevan a cabo el estudio del estado del arte, la metodología, destinados a una mini central ubicado en el camping Salto Carpes ubicado en la localidad de Mojón Grande – Florentino Ameghino en el departamento de Oberá; el cual representa al lugar de instalación futura del mini-aprovechamiento, teniendo en cuenta las normativas vigentes en la Argentina y en particular la Provincia de Misiones.

2. Estudio del Arte

2.1. Estado del Arte en Argentina

En Argentina, el 31% de la electricidad es generada a partir de energía hidráulica, y tiene un potencial hídrico que le permitirá aumentar la utilización de este tipo de energía [3]

En la Fig. 1 se puede observar los diferentes tipos y su porcentaje respecto al total, de la generación en el País.

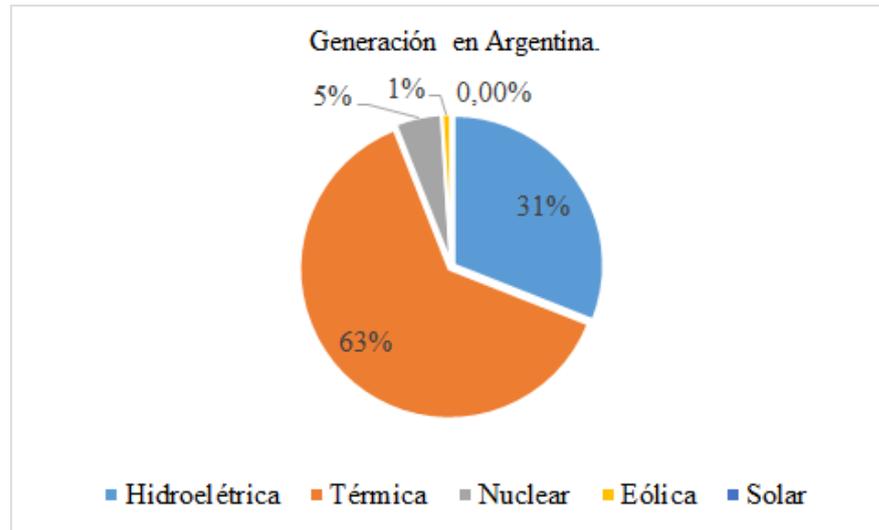


Fig. 1. Generación en Argentina.

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se puede observar los diferentes tipos de generación eléctrica de acuerdo a las diferentes regiones del país de acuerdo con [4]



Fig. 2. Generación por región en el País.

Fuente: CNEA. MATRIZ ENERGETICA NACIONAL, 2008.

Con un total de 31 represas hidroeléctricas, entre las que se destacan las 4 más importantes a seguir:

- 1- Entidad Binacional Yacyretá (Argentina-Paraguay) con una potencia instalada de 3200 MW.
- 2- Entidad Binacional Salto Grande (ciudades de Salto en Uruguay y Concordia provincia de Entre Ríos, Argentina) con una potencia instalada de 1890 MW.
- 3- La central de Piedra del Águila (Provincia de Neuquén, Argentina) con una potencia instalada de 1400 MW.
- 4- El Chocón (Provincia de Neuquén, Argentina) con una potencia instalada de 1200 MW.

En la Tabla 1 se observa la potencia instalada por Región [3]

Tabla 1 - Potencia instalada por Región.

Generación hidroeléctrica en el país [MW]		
CUYO	1129	10%
COMAHUE	4769	42,4%
NOE	218	1,9%
CEN	918	8,2%
GBA-LIT-BAS	945	8,4%
NEA	2745	24,4%
PATAGONIA	519	4,6%
TOTAL	11243	100%

Fuente: CAMMESA. INFORME ANUAL, 2017.

A medida que fueron transcurriendo los años, el país además de aumentar su demanda, logró incrementar la potencia instalada respecto a la generación hidroeléctrica. Lo mencionado se puede observar en la siguiente figura.

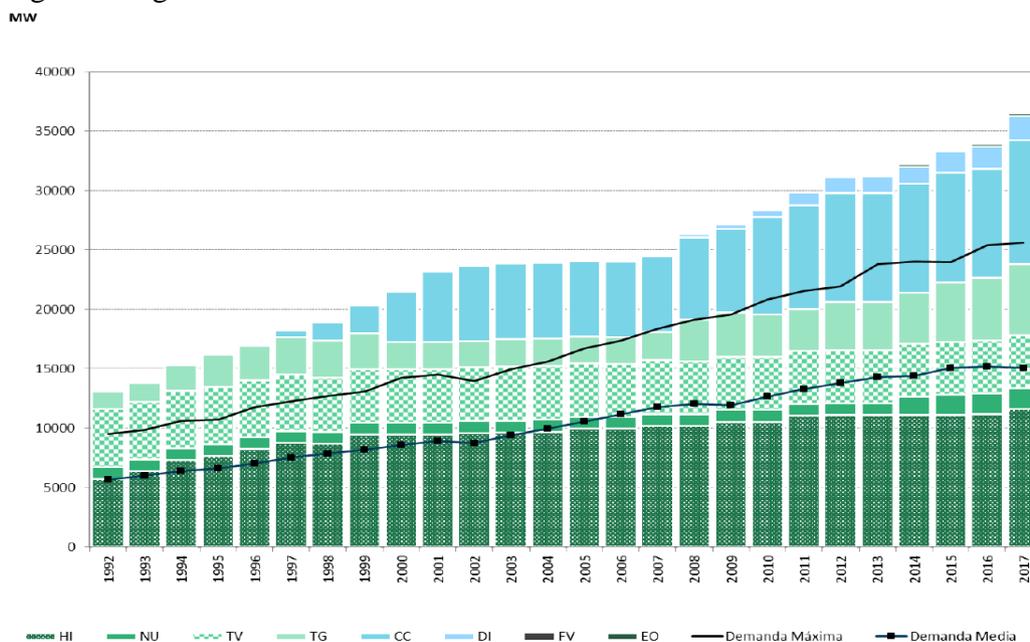


Fig. 3. Evolución de la potencia instalada por año y tipo.

2.2. Fuente: CAMMESA. INFORME ANUAL, 2017. Estado del Arte en Misiones

Con el paso del tiempo en la provincia de Misiones se fue implementando diferentes aprovechamientos hidroeléctricos, destinado a diversas funciones, como ser la alimentación de bombas, casas o escuelas; el CREDMHI (Centro Regional de Desarrollo de Microaprovechamientos Hidroeléctricos) hasta el 1989 registró los micro-aprovechamientos realizados en Misiones, los cuales se describen en la Tabla 2.

Tabla 2. Registros de microaprovechamientos.

Micro Aprovechamiento	Ubicación	Salto neto [m]	Caudal módulo [l/s]	Pot. Instalada [kW]	Tipo de Turbina
Arroyo Dorado	Oberá	16	65	8	Michell Banki
Arroyo Persiguero	Oberá	9	100	8	Michell Banki
Salto Pereyra	Caingúas	57	60	28	Michell Banki
Salto Carlitos	L.N. Alem	10	230	15	Michell Banki
Arroyo Tarumá	Guaraní	30	517	40,5	Michell Banki
Arroyo Central	General Belgrano	8,17	1330	13	Michell Banki
Sarandí Grande	Guaraní	17,5	66	24	Michell Banki
El Pesado	General Belgrano	25	78	10	Michell Banki
Arroyo Guiray	Guaraní y Caingúas	12	4434	300	Michell Banki
Salto Alegre	Caingúas	24	964	150	Michell Banki
El Tigre	Oberá	34	230	80	Michell Banki

Fuente: CREDHMI (1989).

En lo que respecta la aplicación de la generación hidroeléctrica en la provincia de Misiones, los micro-empresarios de la zona fueron destinados para abastecer a tanto a familias como a escuelas ubicadas principalmente en zonas rurales.

Además, la provincia de Misiones consta de los emprendimientos realizados en la localidad de Dos de Mayo (ver Tabla 3).

Tabla 3. Microaprovechamientos en Dos de Mayo.

Micro Aprovechamiento	Ubicación	Pot. Instalada [HP]	Tipo de Turbina
Saltito I	Dos de Mayo	470	Francis
Saltito II	Dos de Mayo	470	Francis

Fuente: Webmisionestienehistoria.com.ar.

En la

Tabla 4 se describen las obras civil-hidráulicas existentes en la provincia de Misiones.

Tabla 4. Estructura Civil-Hidráulica.

Micro Aprovechamiento	Ubicación	Represa	Conducción	Cámara de carga
Arroyo Dorado	Oberá	De pasada-interconectada (Perfil Creager)		
Arroyo Persiguero	Oberá	Embalse de regulación (Presa de suelo)		
Salto Pereyra	Caingúas	Embalse de regulación (Presa de contrafuerte)	Chapa Soldada	
Salto Carlitos	L.N. Alem	De pasada-aislada (Presa de hormigón)	Caños PVC tipo cloacal	
Arroyo Taruma	Guaraní	De pasada-aislada (Presa de hormigón)	Caños de hormigón	Hormigón Armado
Arroyo Central	General Belgrano	De pasada-aislada (Presa de hormigón)	Canal Trapecial a cielo abierto sin revestimiento	Mampostería
Sarandí Grande	Guaraní	Embalse de regulación diaria		Hormigón Armado
El Pesado	General	De pasada-aislada (Presa de		

	Belgrano	contrafuerte)		
Arroyo Guiray	Guaraní y Caingúas	De pasada-interconectada (Presa de hormigón)	Canal Trapecial a cielo abierto sin revestimiento	Hormigón Armado
Salto Alegre	Caingúas	De pasada-interconectada (Presa de contrafuerte)	Canal Trapecial a cielo abierto sin revestimiento	Hormigón Armado
El Tigre	Oberá	De pasada-interconectada (Presa de contrafuerte)	Canal Trapecial a cielo abierto sin revestimiento	Hormigón Armado

Fuente: CREDHMI (1989).

Actualmente el micro aprovechamiento El Tigre, se utiliza para el abastecimiento de la Facultad de Ingeniería de Oberá [FIO UNaM], donde el mismo fue realizado en conjunto por la Provincia de Misiones y la Facultad de Ingeniería.

A destacar se observa en la Tabla 5 las consideraciones realizadas para el desarrollo de los micro-aprovechamientos, como ser la situación de crecida de diseño respecto al caudal modulo, valor el cual es esencial para el dimensionamiento de la presa.

Tabla 5. Crecidas en micro aprovechamientos.

Micro Aprovechamiento	Ubicación	Salto neto [m]	Caudal módulo [l/s]	Crecida de diseño [m3/s]
Arroyo Dorado	Oberá	16	65	40
Arroyo Persiguero	Oberá	9	100	36
Salto Pereyra	Caingúas	57	60	27
Salto Carlitos	L.N. Alem	10	230	78
Arroyo Taruma	Guaraní	30	517	114
Arroyo Central	General Belgrano	8,17	1330	230
Sarandi Grande	Guaraní	17,5	66	37
El Pesado	General Belgrano	25	78	26
Arroyo Guiray	Guaraní y Caingúas	12	4434	650
Salto Alegre	Caingúas	24	964	150
El Tigre	Oberá	34	230	33

Fuente: CREDHMI (1989).

2.3. Legislación Actual: Generación Distribuida

Según el artículo de Micro Generadores Residenciales, Industriales y/o productivos. Ley de Balance Neto [5]

En septiembre de 2015 el Congreso Nacional sancionó la Ley N° 27.191 modificando la Ley 26.190 “*Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica*”. La nueva norma mantiene el objetivo planteado en la ley original de lograr el 8% de consumo de energía eléctrica a partir de fuentes renovables modificando el plazo para su concreción al extenderlo a diciembre de 2017. Además, establece que hacia 2025 ese porcentaje debe incrementarse al 20%. Estos objetivos representan la necesidad de incorporar alrededor de 3.000 MW de potencia renovable para el primer año objetivo y unos 10.000 MW para la meta del 2025.

En este sentido, Argentina se encuentra en un escenario prometedor para el desarrollo de las renovables a gran escala, pero se encuentra muy demorada en la promoción de la generación

distribuida (micro-generación conectado a la red), también necesaria para desplegar el potencial existente en todo el país. La incorporación de esta posibilidad abre un camino para la descentralización del sistema eléctrico en un país con una estructura de abastecimiento altamente concentrado, diseño, que, en la actualidad, genera una barrera para la incorporación de nuevas fuentes y tecnologías.

En la actualidad la Argentina no cuenta con una ley que permita a los consumidores volcar la energía renovable generada de manera distribuida a la red, habilitándolos a ser generadores.

Al día de hoy, solo 6 (seis) provincias, dentro de las cuales se encuentra Misiones, cuentan con regulaciones que autorizan volcar energía a la red por parte de los consumidores.

Cabe señalar que no existen inconvenientes técnicos ni se requieren modificaciones estructurales en las redes eléctricas para comenzar a integrar generación distribuida desde los usuarios.

A pesar de los grandes avances de las provincias y los esfuerzos por incentivar la generación distribuida a partir de fuentes renovables, una ley nacional es necesaria. Para poder contar con el enorme potencial que representa la energía distribuida debe disponerse de una normativa técnica que sea adoptada por los organismos que regulan el servicio eléctrico en las diferentes jurisdicciones del país de modo tal que las potencias y parámetros técnicos que deben cumplir los equipos a integrarse a la red sean similares en todo el país. Solo mediante una Ley Nacional se pueden armonizar los criterios técnicos y administrativos para que las empresas distribuidoras, tanto privadas como gubernamentales, faciliten la integración de micro-generación renovable a sus redes de distribución y, a su vez, establecer criterios técnicos comunes para los diferentes entes regulatorios eléctricos de cada jurisdicción.

Los Tipos de generación distribuida de fuentes renovables son las siguientes:

Mini-Hidráulica: es aquella planta hidráulica con una potencia no superior a 10MW, aunque la ley 27.191 dispone que el límite es de 50 MW [5]

Legislación Provincial

Provincia de Misiones: en agosto de 2016 la legislatura de Misiones aprobó la *Ley de Balance Neto. Micro Generadores Residenciales, Industriales y/o Productivos*. En su artículo 4, la norma establece que “para la inversión en equipamiento de generación de energía renovables, los usuarios podrán ser comprendidos con la Ley Nacional N° 25.019, la Ley N° 20.190 (léase 26.190) y su modificatoria (Ley N° 27.191), en lo que concierne a beneficios impositivos. A tal efecto la Autoridad de Aplicación incluirá en la reglamentación la metodología de gestión de implementación de la exención/o diferimiento que corresponda. De igual manera accederán a los beneficios previstos en la ley Provincial, Ley XVI – N° 97 [6]

Mediante la reglamentación se determinará los requisitos técnicos y los límites de generación que deberán cumplirse para conectar el equipamiento a las redes de distribución e inyectar los excedentes de energía a estas.

3. Mediciones y Resultados

Para cuantificar la energía disponible en el recurso hídrico se necesitó realizar una visita in situ. En ésta se relevaron, tanto, las características del terreno y posibles alternativas de generación, como también, se procedió a determinar la velocidad del curso de agua y el perfil del cauce [7]

Tabla 6. Ancho arroyo y Profundidad.

1° Medición		2° Medición	
Ancho cauce[m]	Profundidad[m]	Ancho cauce[m]	Profundidad[m]
0	0	0	0
2	1,4	2	1,5
4	1,35	4	0,85
6	0,9	6	1,5
8	0,9	8	1,6
10	1	10	1,5
12	1	12	1,55
14	1,5	14	1,55
16	1,3	16	1,75
18	0,9	18	1,4
20	0,8	20	1,8
22	0,8	22	1,7
24	0,5	24	1,2
26	0,5	26	0,65
28	0	28	0,35
		30	0

Tabla 7a-2b Distancia recorrida en t (s) y Velocidad del agua.

Medición N°	Tiempo [s]
1	70
2	65
3	53
4	57
5	77
6	74
7	65
8	57
9	57
10	58

Mediana (Tiempo) [s]	61,5
Distancia [m]	10
Vmed [m/s]	0,1626

Con la Tabla 6 es posible realizar el perfil de nivel del terreno que se muestra en la Fig. 4 y Fig. 5.

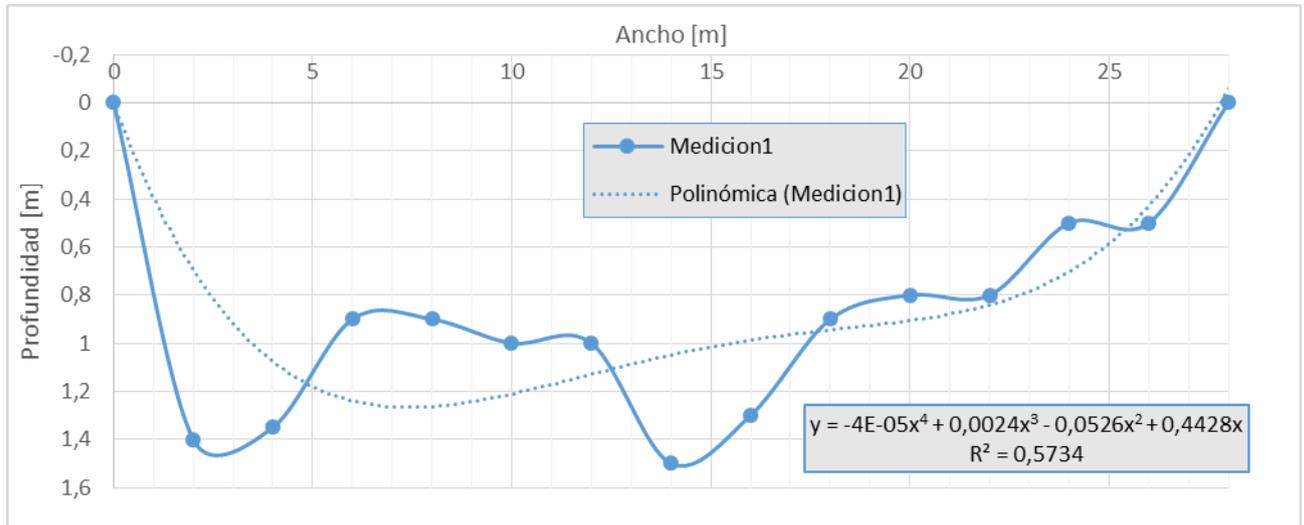


Fig. 4. Medición 1, perfil del terreno.

Fuente: elaboración propia.

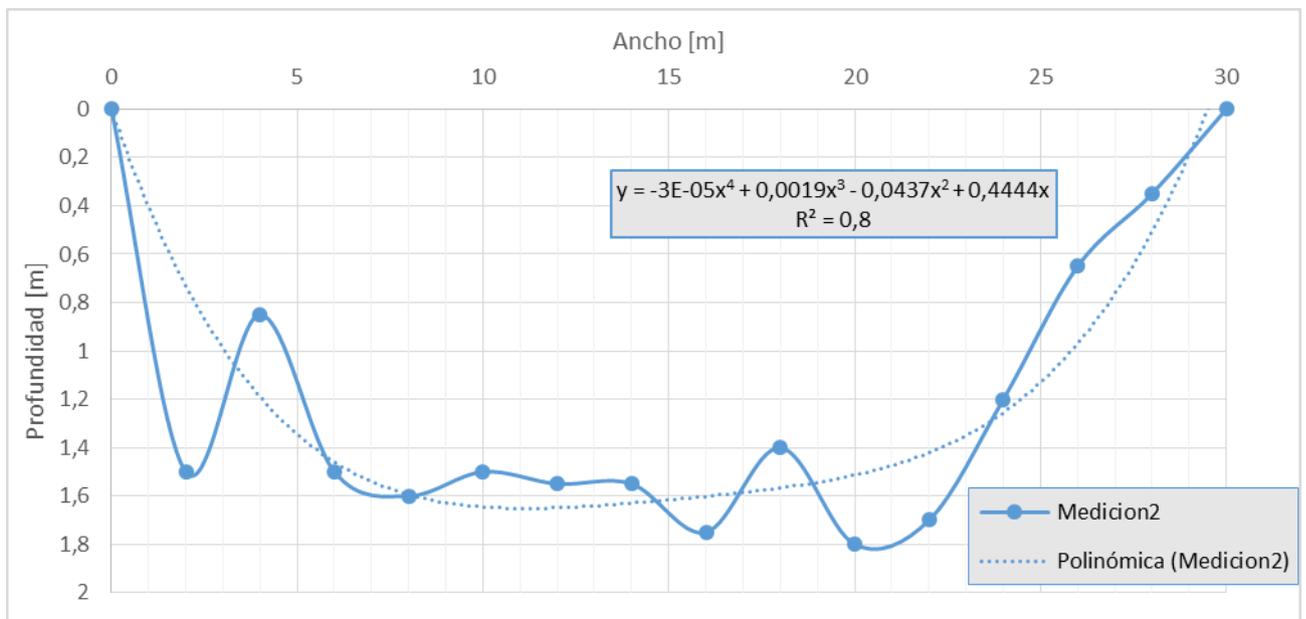


Fig. 5. Medición 2, perfil del terreno.

Fuente: elaboración propia.

A partir del software Matlab R2014a se logró determinar el área mojada o cubierta, integrando la función, a través de integración numérica, método compuesto del trapecio [8]

Los resultados obtenidos son:

- Medicion1: Área = 19,88 m²
- Medicion2: Área = 43,13m²

Utilizando estos dos últimos valores y la V_{med} de la Tabla 7 se obtiene el caudal estimado del arroyo.

$$\text{Caudal del arroyo: } Q = 5,12 \text{ m}^3/\text{s}$$

A continuación, se muestran imágenes de la visita in situ al lugar.

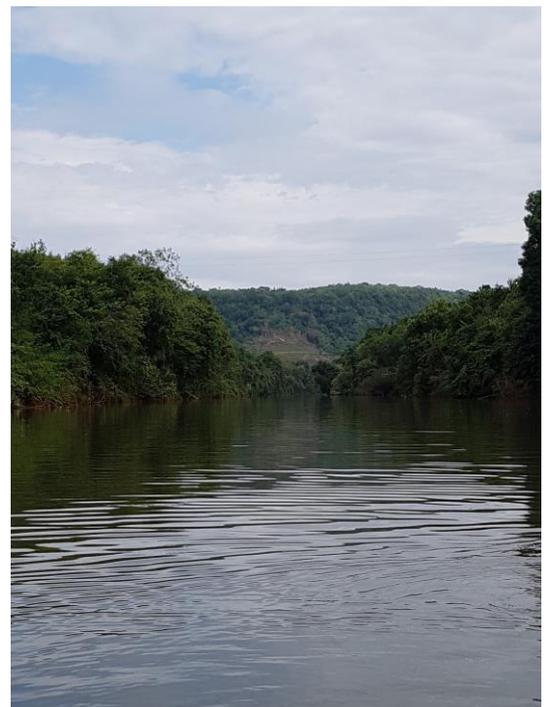


Fig. 6. Panorámica Salto Carpes.

Fuente: Elaboración propia.



(a)



(b)

Fig. 7 Perfil del arroyo (a) y medición del ancho (b).

Fuente: Elaboración propia.

Caudal Módulo

Con la participación del departamento de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería-UNaM se logró determinar las características hidrológicas de la cuenca en estudio.

Estos datos son:

- Área cuenca= 36747,5ha
- Caudal módulo=6,65 m³/s
- Caudal mínimo= 2,8m³/s



Fig. 8. Cuenca Arroyo Once vueltas

Fuente: Dr. Ing. Darío Tomás Rodríguez
Departamento de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería – UNaM.

4. Estudio Técnico

Se desarrolló, como estudio inicial, una turbina Michel Banki, partiendo de los datos característicos del mini aprovechamiento hidroeléctrico:

- Altura neta= 4m
- Caudal diseño=5,65 m³/s

El diseño de la Michell Banki arrojó los siguientes resultados:

Tabla 8. Parámetros obtenidos de la turbina.

Parámetros obtenidos de la turbina tipo Michell Banki	
Ancho rotor (B)	3,55m
N° alabes (Z)	26
Diámetro exterior (D)	0,6m
Diámetro interior (Di)	0,4m
Velocidad de giro	130 rpm
Relación D/B	0,17

Fuente: Elaboración propia.

En base a los ensayos efectuados por diferentes investigadores que se muestran en la Fig. 9, se puede deducir que, partiendo de una relación $D/B=0,17$ coincidente con nuestro diseño, el rendimiento hidráulico de la misma tendería a un valor muy inferior al 55%. Esto permite inferir que esta tecnología es inapropiada para este tipo de aprovechamiento.

REFERENCIA	D/d	D/B	z	η_h
YOKOHAMA, 1985, JAPON	0.66	4.25	26	80.60
VIGM, 1986, CCCP	0.63	3.00	24	78.00
GANZ, 1984, HUNGRIA	0.66	1.00	30	75.00
ALABAMA, 1983, USA	0.66	0.25	20	75.00
RESITA, 1983, RUMANIA	0.66	1.28	24	73.00
KTU, 1987, TRAZBON, TURKIA	0.54	0.81	24	71.30
OREGON, 1949, USA	0.66	1.09	20	68.00
VDI, 1981, ETIOPIA	0.67	3.26	36	66.00
LOS ANDES, 1973, COLOMBIA	0.62	1.87	27	60.60
ODTU, 1985, ANKARA, TURKIA	0.83	1.44	30	55.50

Fig. 9. Ensayos de diferentes turbinas Michell Banki

Fuente: Ficha Técnica Turbina Michell Banki – Soluciones ITDG

Como solución se plantea desarrollar una turbina axial, más precisamente, Hélice de alabes fijos, adecuada para el tipo de aprovechamiento hidroeléctrico en cuestión.

De forma sencilla, se detallan las características más significativas del diseño realizado.

Tabla 9. Parámetros principales turbina tipo Hélice.

Parámetros principales
Qdiseño= 2,83m ³ /s
Altura neta= 4m
N° Turbinas= 2
N° Alabes (Z)= 3
Velocidad específica (ns)= 700
Diámetro rodete= 0,8m
Diámetro cubo= 0,31m
Diámetro carcasa= 0,805m

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Parámetros Alabes de la turbina tipo Hélice.

Parámetros Alabes
Perfil NACA= 5420
m/l=0,005
L/l=0,0
t'/l=0,2

Fuente: Elaboración propia.

Siendo:

m = curvatura máxima.

l = longitud de la cuerda.

L = distancia (x) curvatura máxima.

t' =espesor máximo.

El perfil del alabe se muestra en la Fig. 10

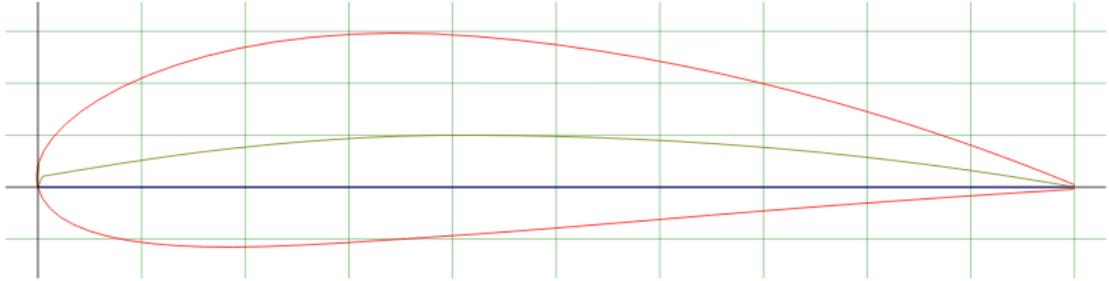


Fig. 10. Perfil del alabe.

Fuente: NACA 4 digit airfoil generator (NACA 5420 AIRFOIL);

Parámetros Distribuidor de la turbina tipo Hélice

Se empleó el método de WEINIG para el diseño. Son alabes fijos, cuya función es acelerar el flujo que ingresa al rotor.

Sus características se representan en la Tabla 11. Dimensiones alabe distribuidor.

Tabla 11. Dimensiones alabe distribuidor

a	Zd					
		0	2	4	6	8
e/td	td					
	,157	,125	,105	,09	,078	,07
,6	,078	,062	,052	,045	,039	,035
,7	,091	,072	,061	,052	,045	,040
,8	,104	,082	,069	,059	,051	,046
,9	,116	,093	,078	,067	,058	,052
	,129	,103	,087	,074	,064	,058
,1	,142	,113	,095	,082	,071	,063
,2	,155	,124	,104	,089	,077	,069

,3	,168	,134	,112	,096	,084	,075
,4	,181	,144	,121	,104	,090	,081
,6	,207	,165	,138	,119	,103	,092
,8	,233	,185	,156	,134	,116	,104
	,259	,206	,173	,148	,129	,115
,2	,285	,227	,190	,163	,141	,127

Fuente: Elaboración propia.

Siendo

La= Longitud axial distribuidor=0,285m

Le=Longitud cuerda=0,345m

Zd=N° alabes distribuidor=8

td=Paso polar=0,157m

R=radio curvatura=0,57m

Potencia Generada



Fig. 11. Potencia total generada

Fuente: Propia

5. Conclusiones

Al desarrollar el estado del arte, se logró tomar conciencia de lo importante que es aprovechar el gran potencial hidroeléctrico del País, pero sobre todo de la Provincia de Misiones, para generación de energía eléctrica mediante esta fuente renovable. Haciendo hincapié a la generación con pequeñas centrales hidroeléctricas. También al realizar el estudio del estado del arte en la provincia, se adquirieron conocimientos de experiencias pasadas acerca de las principales características de una microcentral hidroeléctrica que son muy importantes para el desarrollo de prefactibilidad del proyecto en cuestión.

Se aprecia que, la variación de caudal en Misiones es de más de 200 veces respecto al caudal modulo por causa de las crecidas, lo cual representa una complicación a la hora del diseño de las represas y la ubicación de las salas de máquinas.

Respecto a la Legislación actual de Generación Distribuida, se destaca que se incentiva a aumentar la generación hidroeléctrica en el país, sobre todo en la provincia Misiones que cuenta con regulaciones que autorizan volcar energía a la red por parte de los consumidores siempre que se cumplan los requisitos técnicos y los límites de generación para conectar el equipamiento a las redes de distribución.

Del estudio técnico se destaca la importancia de conocer cuáles son los rangos de aplicación de cada turbina hidráulica y con qué rendimiento se pretende trabajar, lo que define la eficiencia energética del sistema. Al adoptar una turbina tipo Hélice se logra generar una potencia eléctrica de 182kW con dos unidades turbina-generator.

Se continuará desarrollando más mediciones para determinar de manera más precisa los datos relevados; además se procederá a realizar el análisis técnico, económico, legal y ambiental, con el fin de poder determinar la prefactibilidad del proyecto, para un posterior estudio de desarrollo.

6. Referencias

- [1] OBRAS. Centro Regional de Desarrollo de Micro aprovechamientos hidroeléctricos (CREDMHI). Misiones, Argentina. 1989.
- [2] 41 años del complejo hidroeléctrico "Los Saltitos". MTH (Misiones Tiene Historia). Posadas, Misiones, Argentina. 2019. Disponible en: <<http://www.misionestienehistoria.com.ar/41-a%C3%B1os-del-complejo-hidroel%C3%A9ctrico-los-saltitos>>.
- [3] INFORME ANUAL.CAMMESA [Online], 2017. Disponible en: <http://portalweb.cammesa.com/memnet1/Pages/descargas.aspx>.
- [4] Matriz Energética Nacional. CNEA., 2008. Disponible en: <<https://www.cab.cnea.gov.ar/ieds/>>
- [5] Ley de Balance Neto. Micro Generadores Residenciales, Industriales y/o Productivos. Agosto 2016, artículo 4.
- [6] Los Verdes. TESTA, María Eugenia, GOMEL, Daniela. Renovables. Generación Hidroeléctrica Distribuida. Energía Limpia desde los propios usuarios. Primera Edición, Octubre de 2016.
- [7] FAO. Estimaciones del Caudal de Agua. [Online]. Available: http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6705s/x6705s03.htm#23a
- [8] César Pérez. Matlab y sus Aplicaciones en las Ciencias y la Ingeniería, pág 377.