



JIDeTEV

Jornadas de Investigación y Desarrollo Tecnológico
Extensión, Vinculación y Muestra de la Producción



JIDeTEV- Año 2021 -ISSN 2591-4219

Estado de avance del estudio de Factibilidad Técnica de una Pequeña Central Hidroeléctrica en el Complejo Hidroeléctrico Alejandro Orloff

Botz, Guillermo F. ^{a*}, Grams, Esteban D. ^a, Rebak, Eduardo I. ^a, Cabral, Roberto J. ^{a,b}, Berent, Héctor F. ^{a,c}

^a Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

^b Laboratorio de Investigación Desarrollo en Energía Eléctrica (LIDEE), Oberá, Misiones, Argentina.

^c Cooperativa Eléctrica Limitada Oberá (CELO), Oberá, Misiones, Argentina.

e-mails: guillermofedebotz@gmail.com, daniel.grams03@gmail.com, eduardoirebak@gmail.com, robert_rjc@hotmail.com, hectorberent71@gmail.com

Resumen

Este trabajo se desarrolla durante el cursado de la asignatura Proyecto Electromecánico 2, en el que se presenta el estado de avance del proyecto de estudio de prefactibilidad de una Pequeña Central Hidroeléctrica “Saltito 3”, que estará emplazada en el complejo Hidroeléctrico Alejandro Orloff en la ciudad de Dos de Mayo, provincia de Misiones, Argentina. Se realiza el estudio del potencial hidráulico de la región, con lo que en primer lugar se determinan la ubicación correspondiente de la presa, embalse, y el lugar donde se instalará la sala de Máquinas. Con esto se determina el potencial hidráulico disponible, con el que se basa tanto en la instalación de tuberías de conducción requeridas, como también en el posterior diseño de las turbinas hidráulicas acopladas a generadores eléctricos. El proyecto de la nueva central hidroeléctrica considera una sala de máquinas con el correspondiente grupo turbina-generator, los respectivos tableros y una ET con el transformador de potencia para transportar la energía generada al sistema eléctrico provincial y alimentar la demanda del centro de consumo más cercano (ciudad de Dos de Mayo).

Palabras Clave – Energías Renovables, Pequeña Central Hidroeléctrica, Generación de Energía Eléctrica, Energía Renovable, Complejo Hidroeléctrico Alejandro Orloff.

1. Introducción

El uso de energía de recursos de fuentes renovables es el fundamento para el crecimiento sostenido y preservando el medioambiente para que las generaciones venideras puedan desarrollarse y disfrutar del vivir con una calidad óptima.

Dentro de las energías renovables impulsadas y promovidas en la actualidad se encuentra la energía hidráulica de pequeña escala, que es además una de las desarrolladas en gran medida el siglo pasado en la provincia de Misiones brindando acceso a energía eléctrica a pueblos que se encontraban

aislados del sistema interconectado. En la provincia de Misiones brindando acceso a energía eléctrica a pueblos que se encontraban aislados del sistema interconectado.

Actualmente, debido a la necesidad de minimizar daños ambientales, el país se encuentra comprometido en alcanzar objetivos de cambio en su matriz energética para lograr que el 20% de esta sea en base de recursos de energía renovable para finales del año 2025, al día de hoy esto parecería una utopía, por ello y por la necesidad de energía para el desarrollo resurge los aprovechamientos hidroeléctricos a pequeña escala.

En concreto, este proyecto pretende ampliar la capacidad del Complejo Hidroeléctrico Alejandro Orloff, el cual actualmente se encuentra bajo la concesión de la Cooperativa de Agua y Energía Dos de Mayo limitada, la que cuenta con dos pequeñas centrales hidroeléctricas alcanzando un potencial de generación de 1,1 (MW).

En el presente informe se muestra el estado de avance del desarrollo y estudio de prefactibilidad de una nueva central hidroeléctrica que se encuentra aguas abajo de las centrales Saltito 1 y Saltito 2 sobre el arroyo El Saltito. Se pretende que esta central tenga la capacidad de generación superior a las actuales, enfocando en minimizar el impacto sobre el medio ambiente en su construcción y posterior puesta en funcionamiento.

1. Métodos

Para comenzar el estudio se realiza el análisis tanto de emplazamiento y los parámetros a partir de los que se comienza el diseño de la central energética.

1.1. Emplazamiento

El estudio de emplazamiento de la presa se proponen dos puntos estratégicos, uno denominado “Presa y obra de toma Saltito 3” y el otro “Opción 2: Saltito 3” como se muestra en la Tabla 1, ambos puntos se encuentra aguas debajo de las actuales presas Saltito 1 y Saltito 2.

Tabla 1. Propuesta de emplazamiento de presa [1].

Nº	Nombre del Punto de Análisis	Latitud (Sur)	Longitud (Oeste)	Altura sobre el nivel del mar
1	Presa y Obra de toma Saltito 3	27° 6'57.94"	54°36'6.04"	321
2	Opción 2: Saltito 3	27°11'54.11"	54°36'49.22"	233

Luego para la obtención del caudal medio, punto de partida para el diseño de la central hidroeléctrica, se recurre al el Ingeniero Civil José Fernández, mediante el uso de software realiza el estudio de la cuenca de ambos puntos determinando el caudal módulo de ambos.

Finalmente se decide descartar el emplazamiento del punto Opción 2: Saltito 3, debido a la topografía al instalar una presa provocaría amplias zonas inundadas, en su gran mayoría comprenden selva autóctona virgen. Con el área de cada cuenca analizada Fig. 1 se obtuvieron los resultados de caudales expresados en la Tabla 2. Luego se continúa el estudio con el punto denominado Presa y Obra de Toma Saltito 3, cuyo caudal módulo es igual a 1,90 (m³/s).

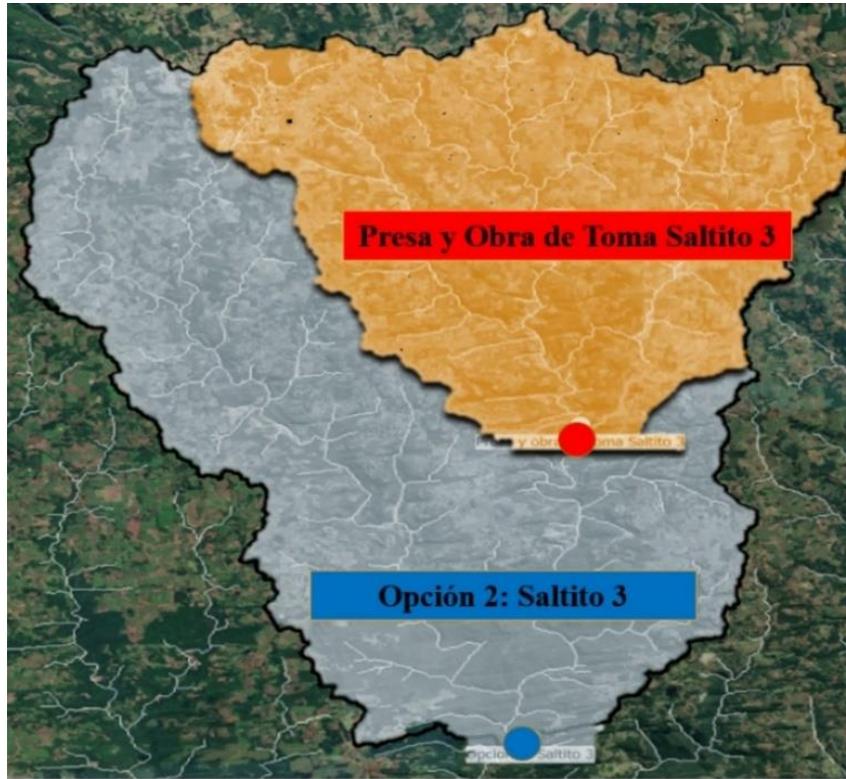


Fig. 1. Análisis de la Cuenca. [2]

Tabla 2. Caudales correspondientes a las cuencas analizadas. [1]

Nº	Nombre del Punto de Análisis	Área Cuenca (km ²)	Caudal Esp. (m ³ /s-km ²)	Caudal Modulo (m ³ /s)
1	Presa y Obra de toma Saltito 3	105,18	0,0181	1,9048
2	Opción 2: Saltito 3	267,65	0,0181	4,85

1.2. Caudal de Diseño

Para tener en cuenta el caudal de diseño de la central se tuvo en cuenta que no podrá turbinarse la totalidad del caudal módulo de agua, debido a que se deberá tener en cuenta un flujo ecológico de agua que asegure la disponibilidad de agua para animales y humano que se encuentre entre la zona aguas debajo de la presa y el lugar de restitución del agua turbinada. El flujo ecológico considerado será igual al 10%, esto basado en la legislación francesa que se adoptó como referencia lo exployado en [3]. Por lo tanto, se considera que el caudal de diseño será el 90% del caudal módulo, con lo que se utilizó la ecuación (1), reemplazando el valor de caudal módulo de 1,90 (m³/s), arroja como resultado un valor de caudal de diseño igual a 1,71 (m³/s).

$$Q_{diseño} = Q_{mod} * 90\% \quad (1)$$

donde: $Q_{diseño}$ [m³/s]: Caudal de diseño; Q_{mod} [m³/s]: Caudal módulo.

1.3. Presa y área inundada:

El diseño de la presa implica consideraciones de área inundada tratando de minimizar los impactos al medio ambiente, como así también la seguridad de presas, quedando catalogada como presa de baja altura con lo que se obtienen ventajas desde el punto de vista de certificación de la presa por el Organismo Nacional encargado en este ámbito que debe llevar el registro y aval de todas aquellas que se encuentren emplazadas dentro del territorio nacional. La Fig. 2 muestra en un mapa, en color celeste el área inundada por la presa de 12 (m) de altura y unos 250 (m) de ancho, dejando aproximadamente 38 (ha) bajo agua.

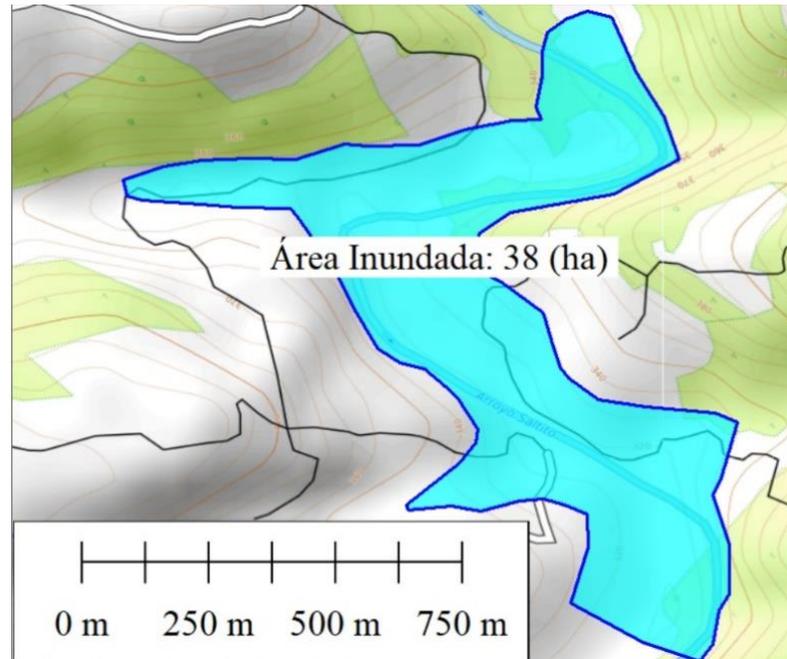


Fig. 2. Área Inundada [1].

2. Estudio Técnico

1.4. Presa y obra de toma

La realización del cierre del arroyo para la construcción del embalse y con ello generar el salto principal para su aprovechamiento hidráulico estará constituida principalmente por una presa de funcionamiento a gravedad, la misma posee espaldones estabilizadores compuesto con tierra fina y protección de talud de aguas arriba con material rocoso (rip-rap) y de aguas abajo con césped. En cuanto a la obra de toma y de alivio del aprovechamiento están ubicadas al pie de la presa, la cual está conformada de una estructura de comportamiento de gravedad que se materializa a la continuidad de la presa y en su parte central, la misma cuenta con un perfil hidrodinámico adecuado construida en hormigón.

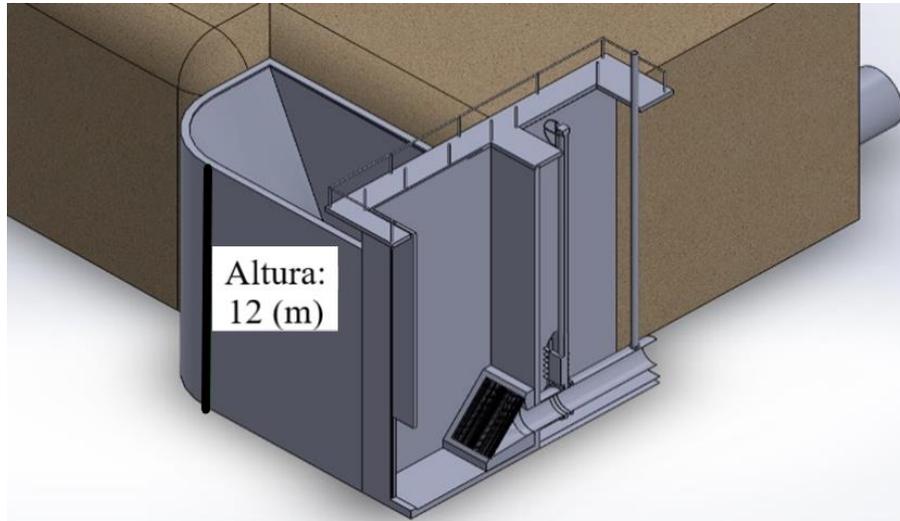


Fig. 3. Obra de captación [1].

1.5. Trazado de tubería

Para el trazado de la tubería del proyecto se estableció de forma estratégica las ubicaciones de la presa como así también de la sala de máquinas, para estas ubicaciones fueron tenidas en cuenta el caudal módulo, topográfica, área inundable y altura bruta.

El trazado tiene inicio en la obra de toma de la presa, el actual se encuentra a una altura de 324 (msnm), desde el punto inicial hasta la sala de máquinas a una altura de 284 (msnm) existe una distancia de 2,54 (km) la cual deberá recorrer la tubería forzada, en la Fig. 4 se encuentra indicado el trazado de la tubería.



Fig. 4. Trazado Tubería Forzada [1].

Como se aprecia en la Fig. 4 el trazado presenta cambios de dirección en su recorrido, lo cual es debido a la variabilidad topografía en los 2,58 (km) de longitud que tendrá la tubería. En la Fig. 5 se presenta el perfil de elevación del correspondiente al trazado de la tubería.



Fig. 5. Perfil de elevación [1].

En función de análisis topográfico, económico y técnico se optó por realizar la instalación de la tubería de forma superficial en todo el recorrido, buscando mantener una pendiente constante en todo el trazado, esto implicara movimientos de suelos como así también la elevación de la tubería en ciertos tramos mediante estructuras de hormigón.

1.6. Diseño de Tubería Forzada

La tubería permite conducir el agua desde el embalse hasta la turbina, la cual se encuentra apoyada en soportes y anclajes, los cuales ayudan a soportar la misma bajo el efecto de cargas propias, presión a la cual estará sometida y las dilataciones térmicas de la misma.

1.7. Diámetro óptimo de la tubería forzada

La determinación del diámetro de la tubería resulta un problema habitual al fijar la pérdida de carga ya que la misma implica un análisis económico de la instalación, para tal efecto si el diámetro de la tubería aumenta la pérdida de carga en la misma disminuye, en consecuencia, disminuye las pérdidas de energía teniendo un mejor aprovechamiento del recurso. La Fig. 6 representa las pérdidas de carga en función al diámetro de tubería.

El diámetro económico será aquel que reduzca a un mínimo la suma del costo de la tubería y el costo asociado a las pérdidas de energía ocasionada por la pérdida de carga de la tubería, ambos costos reducidos a un año.

Para una misma presión el espesor de pared de la tubería aumenta conforme aumenta el diámetro de la misma, con lo cual, el espesor de la tubería estará relacionado directamente con el diámetro. Para la determinación del diámetro y espesor de la tubería se definió el caudal de diseño de 1,71 (m³/s), con el cual se determinó las pérdidas de carga presentes en todo el trazado de la tubería.

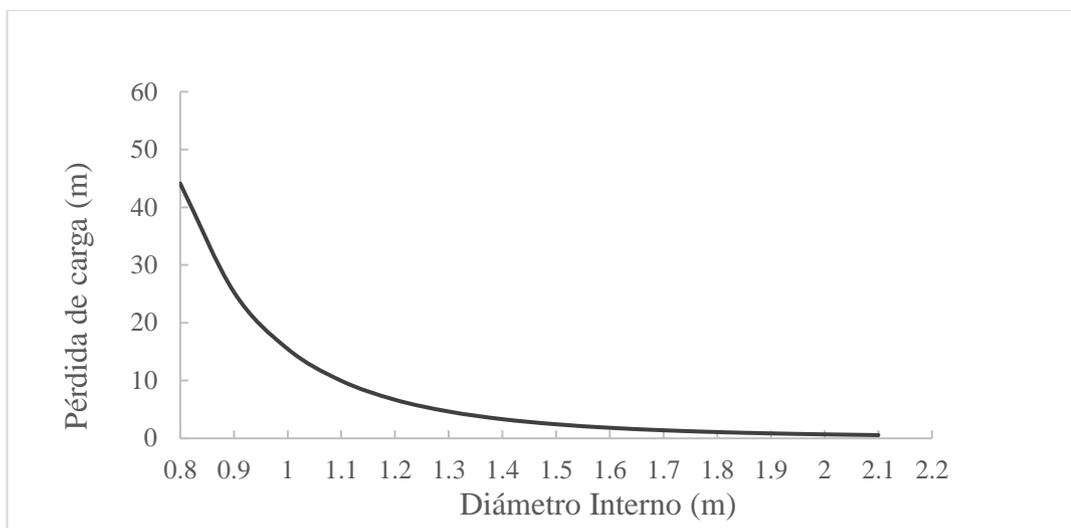


Fig. 6. Pérdida de carga en función del diámetro interno [1].

Considerando las pérdidas de carga para los distintos diámetros de tubería forzada, se determinó la potencia disponible como la energía que se pierde por efecto de la pérdida en la tubería, de esta forma se pudo estimar la pérdida anual en dólares tomando como referencia el precio medio del (MWh) en la República Argentina (Gobierno Argentino, s.f.); así como también estimamos el precio de la fabricación de la tubería forzada con acero ASTM A53 (Marketing, s.f.). Con estos datos se definió el costo de fabricación de la tubería, el costo de colocación y transporte. El tiempo de amortización de la obra considerado fue de diez (10) años. En la Fig. 7 se puede apreciar los resultados de los costos para los distintos diámetros de tuberías.

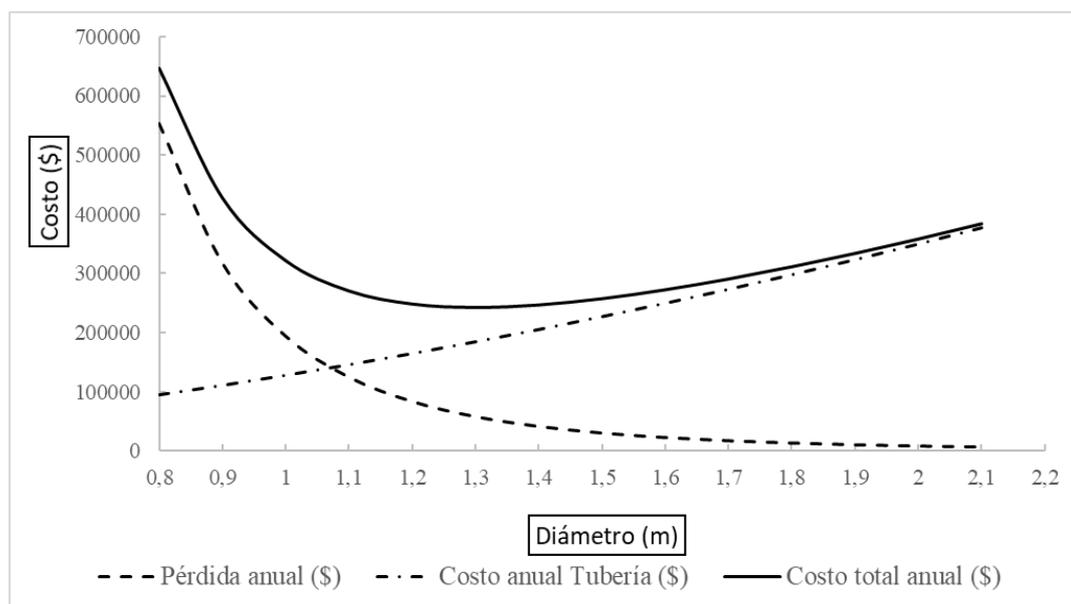


Fig. 7. Costos en función del diámetro de la tubería [1].

Como se puede apreciar en el gráfico anterior el diámetro de tubería con el cual se obtuvo un menor costo económico es 1,3 (m), con lo cual se adoptó este valor para la construcción de la tubería forzada.

1.8. Espesor de pared

El espesor de la tubería forzada necesario para soportar los esfuerzos estáticos como dinámicos estará en función del límite elástico del material, diámetro interno, presión interna y sobrepresión que puede generarse por efectos transitorios en la tubería. La tubería sometida a una presión interna debe soportar tensiones longitudinales como circunferenciales. Debido a que los esfuerzos circunferenciales son mayores que los esfuerzos longitudinales se realizara el cálculo de espesor en función de los esfuerzos circunferenciales, también se tendrá en cuenta un valor de sobre espesor por corrosión que pueda sufrir la tubería en su vida útil. La Fig. 8 muestra los datos utilizados de partida para el diseño de la tubería, y finalmente el espesor final de la misma.

Tabla 3. Espesor de Tuberías [1].

Presión interna	Diámetro Interno	Coefficiente de Construcción	Resistencia a la Tracción (ASTM A53)	Espesor por corrosión	Espesor de Tubería
0,509 (MPa)	1,3 (m)	0,8	240 (MPa)	2 (mm)	6 (mm)

1.9. Apoyos de tubería forzada

Los bloques de apoyo se utilizan para sostener adecuadamente la tubería forzada, los mismos se dimensionaron de forma que sean de bajo costo y de fácil construcción. El apoyo permite la variación de longitud de la tubería durante la dilatación, con lo cual es de vital importancia la relación existente entre el espesor de la tubería y la distancia entre los apoyos. Para el dimensionamiento de los apoyos se tuvo en cuenta las condiciones más críticas a la que puede estar sometida la tubería, donde la topográfica, tipo de suelo, longitud de tramo de tubería, cambios climáticos, etc., son algunos de los factores que se consideraron. En la Fig. 8 se esquematiza las dimensiones en metros correspondientes al apoyo de hormigón para la tubería.

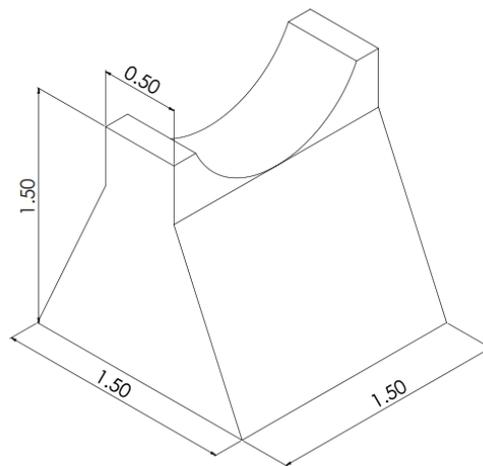


Fig. 8. Soporte de hormigón para tubería [1].

Anclajes de tubería forzada

Los anclajes son bloques de hormigón que envuelven la tubería de presión y que impiden el movimiento de la tubería y tienen el propósito de fijarla al terreno. Los anclajes de la tubería se ajustan al perfil topográfico del terreno permitiendo variar la pendiente horizontal y vertical, los mismo se instalan en aquellos puntos de la tubería donde hay un cambio de dirección, en la Fig. 9 se representa un esquema de la forma estructural de los anclajes.

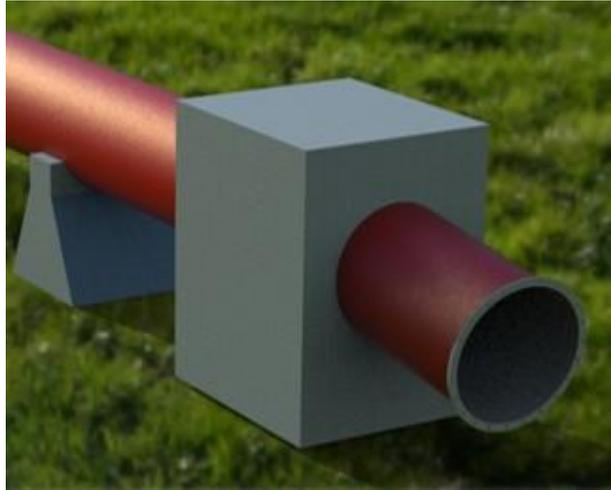


Fig. 9. Anclajes [1].

1.10. Diseño se Turbina

A continuación, la Tabla 4 muestra el caudal de diseño, se opta por la utilización de dos turbinas con sus correspondiente generador, con lo que cada uno tendrá un caudal a turbinar, esto para lograr operar de forma óptima cuando por falta de lluvias, de ocurrencia normal en la provincia, el caudal real del arroyo se encuentre por debajo del diseño, con lo que sea conveniente operar con un grupo turbina generador nada más, teniendo en cuenta que el rendimiento logrado sea mayor que en el caso de operar con ambas máquinas. Por otra parte, esta tabla también muestra altura bruta, que es medida desde la cota en el pelo de agua superior de la presa y el lugar de descarga del caudal turbinado en la sala de máquinas, las pérdidas de las tuberías de conducción y finalmente la altura neta, necesaria para el diseño de máquina.

Tabla 4. Caudales [1].

Caudal de diseño (m³/s)	Caudal a Turbinar por Turbina (m³/s)	Altura Bruta (m)	Altura de Pérdida (m)	Altura Neta (m)
1,71	0,855	52	4,65	47,35

Con los datos de caudal a turbinar por turbina y la altura neta, se utiliza el digrama de la Fig. 10, con el que se obtiene el punto de aplicación de los distintos tipos de turbinas, seleccionando finalmente una turbina del tipo Francis.

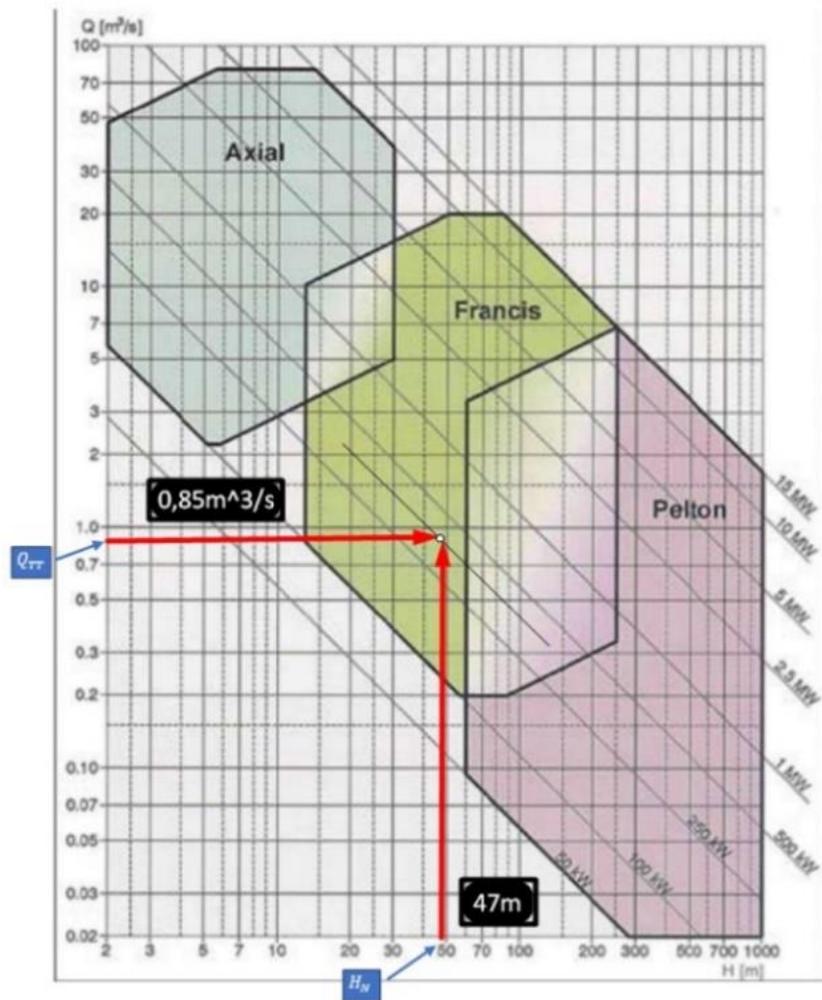


Fig. 10. Envolvente operativa de turbinas Axial, Radio axial y Tangencial [4].

Luego se procede al diseño de la turbina Francis, para ello la Tabla 5 muestra los resultados utilizados para el diseño de la turbina, de los cuales las distintas dimensiones están en referencia a la Fig. 11.

Tabla 5. Parámetros básicos de diseño de turbina Francis [1].

Revoluciones por minuto	1000
Número específico de revoluciones	155
Torque de la turbina	3562 (Nm)
Número de Alabas	13
d_i	0,505 (m)
d_r	0,517 (m)
d_3	0,416 (m)
b_0	0,086 (m)
l_i	0,144 (m)
l_e	0,088 (m)

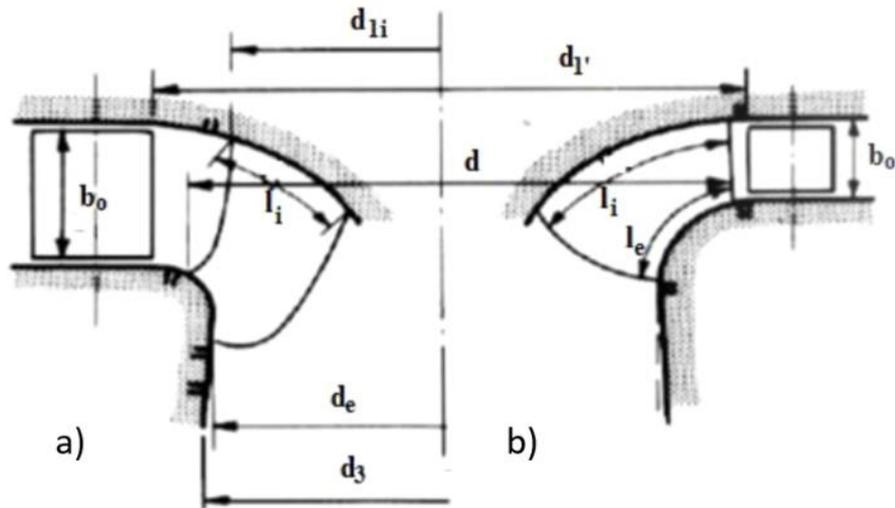


Fig. 11. Principales dimensiones de rodetes Francis a) TF Rápida b) TF Lenta. [5]

1.11. Generador eléctrico

Para transformar la energía mecánica del eje de la turbina se utilizarán dos generadores del tipo síncrono debido a su alto rendimiento, diseño reducido y confiabilidad de la marca WEG Línea GH20 Hydro, el que tiene las siguientes características.

La potencia necesaria: 2×450 (kVA).

La frecuencia de generación: 50 (Hz).

La tensión: 400/230 (V).

El número de fases: 3.

La cantidad de polos: 6.

El tipo de polos: polo saliente.

Velocidad de giro: 1000 (rpm).

Excitación sin escobillas.

1.12. Transformador eléctrico

Una vez generada la energía, esta pasa por tableros que producen las maniobras de control, además se miden los parámetros eléctricos y de funcionamiento de la central, y se intercomunican por medio de antenas y un sistema de interfaz hombre – máquina en la central Saltito 1, en la que el operario maniobra a distancia la misma. Luego la energía debe ser elevada a un nivel de tensión para su transporte en los centros de consumo.

El transformador elevador de tensión tiene como parámetro la potencia aparente total del grupo generador de $S_T = 885$ (kVA) con lo cual se selecciona una máquina que disponga de una capacidad superior inmediata de 1000 (kVA) de la marca Tadeo Czerweny cuyos parámetros y dimensiones se encuentran en Fig. 12.

IRAM 2250

Transformadores c/tanque de expansión - Relación $13,2 \pm 2 \times 2,5\%$ / 0,4 kV								
Potencia (kVA)	Pérdidas (W)		Ucc (%)	Dimensiones (mm)				Masa (kg)
	Po	Pcc		Largo	Ancho	Alto	Trocha	
• 16	100	500	4	1250	750	1250	600	400
• 25	160	600	4	1250	750	1250	600	450
• 40	200	900	4	1300	750	1300	600	600
• 63	270	1350	4	1300	750	1300	600	600
• 80	315	1500	4	1450	750	1300	600	650
• 100	350	1750	4	1450	750	1350	600	700
• 125	420	2100	4	1500	750	1350	600	750
• 160	500	2500	4	1600	750	1450	600	850
• 200	600	3000	4	1650	850	1450	600	900
• 250	700	3500	4	1650	900	1450	700	1100
• 315	850	4250	4	1650	900	1500	700	1400
• 400	1000	5000	4	1700	950	1700	700	1500
• 500	1200	6000	4	1700	1050	1700	700	1800
• 630	1450	7250	4	1700	1050	1900	800	2100
• 800	1750	8750	5	1950	1050	2025	800	2500
• 1000	2000	10500	5	2100	1100	2050	800	3200
• 1250	2300	13800	5	2200	1250	2150	1000	3700
• 1600	2700	17000	6	2400	2200	2100	1000	4300
• 2000	3000	21500	6	2500	2500	2200	1000	5300
• 2500	3300	24800	6	2700	2500	2300	1200	5900
• 3000	3750	27000	6	2800	2600	2700	1200	7200

* Modelos no contemplados en IRAM 2250

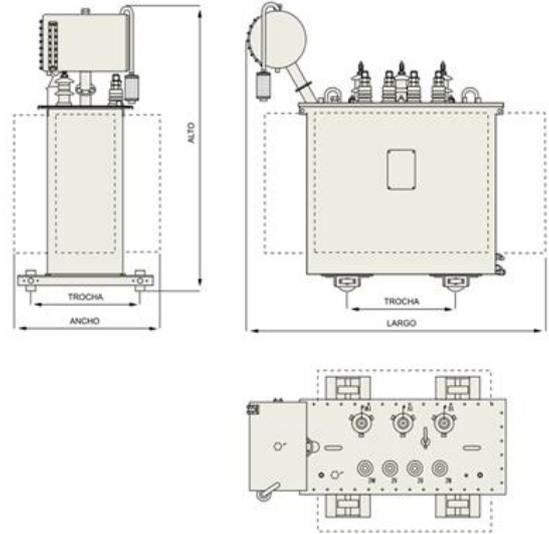


Fig. 12. Catálogo de Transformador [6].

1.13. Nexo de Conexión

Una vez obtenida la energía eléctrica en el voltaje de distribución de 13,2 (kV), se debe transportar al centro de consumo. Para ello se presentan las opciones que actualmente se encuentran en estado de estudio para inyectar la energía producida. Haciendo referencia a la Fig. 13 el punto Nexo A presenta la ventaja que se introduciría la energía a la red de distribución de la concesionaria de energía de la localidad de Dos de Mayo con lo cual la misma podría ampliar su capacidad. Por otro lado, nexo B, se encuentra a menor distancia en un Pueblo llamado Iliá, pero a diferencia del punto anterior, la concesión de energía eléctrica la tiene el ente provincial Energía de Misiones, con lo que implicaría un convenio de balance energético neto debido a que la Cooperativa compra energía de este ente.

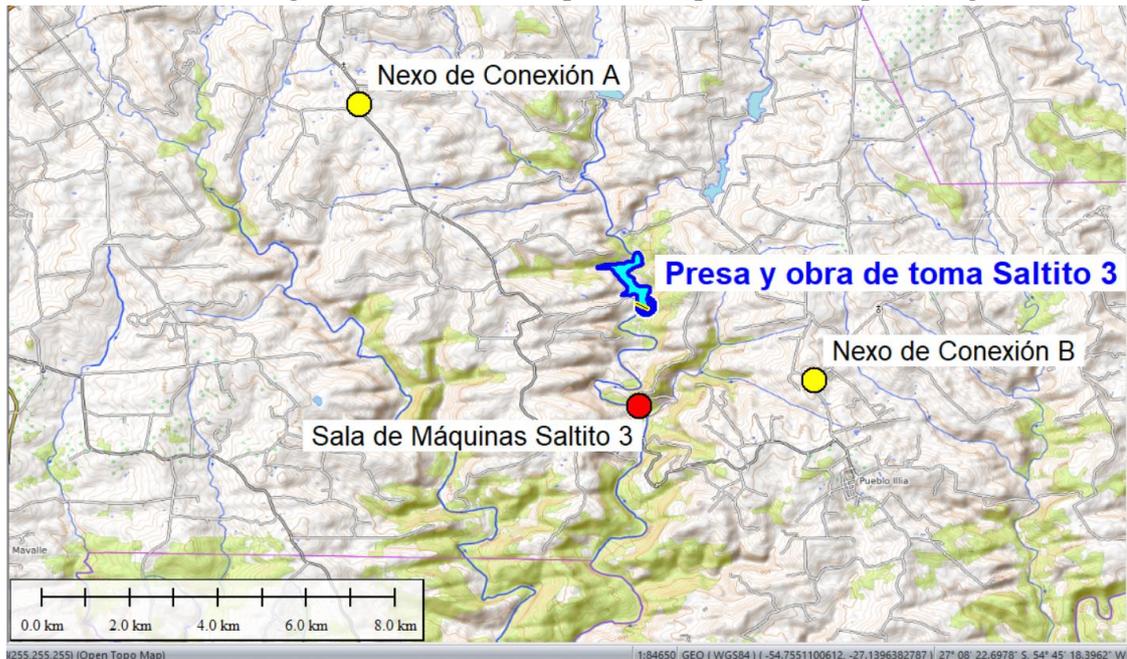


Fig. 13. Nexos de conexión de líneas [1].

3. Conclusiones

Este trabajo tiene la finalidad de presentar el estado de avance del Proyecto Electromecánico, denominado “Pequeña Central Hidroeléctrica Saltito 3”.

En primer lugar, se tuvieron en cuenta para su diseño el potencial hidráulico de la región de emplazamiento, y se tuvieron en consideración la minimización impacto sobre el medio ambiente y maximizando la energía a producir.

En función de estudios de la cuenca hídrica, se diseñó la presa que tiene como objetivo aumentar el salto bruto y ser un reservorio hídrico, para compensar las variabilidades del caudal disponible. En función de la topografía del lugar de emplazamiento, la presa de gravedad estará construida en base a recursos naturales de la zona tal como la tierra, roca, etc. Luego, para el diseño de las conducciones se buscó un trazado óptimo minimizando costos, con su correspondiente requerimiento técnicos.

En cuanto al sistema de transformación del potencial hidráulico, se obtuvo el diseño y razonamiento de utilizar dos turbinas del tipo Francis para tener una gran flexibilidad de generación cuando por cuestiones climatológicas el caudal del arroyo sea menor al de diseño, y no se justifique la operación de ambas turbinas, solo ocupar una de ellas, flexibilizando así el funcionamiento.

A su vez la energía mecánica obtenida en cada eje de las turbinas será transformada con dos generadores sincrónicos con una capacidad apta para ello. La energía generada será tratada en primer lugar en los tableros de medición, control y mando para luego elevar su nivel de tensión y así por medio de una línea de transmisión inyectar a la red de distribución del centro de consumo.

Por último, se puede mencionar en la presente muestra de estado de avance, el proyecto demuestra ser factible para su explotación energética.

4. Referencias

- [1] Elaboracion Propia, 2021.
- [2] L. y. Franco, «Datos de Aforo en Arroyo Yabebiry,» Cerro Azul, 1987.
- [3] N. Pantoja Valencia, «Estimación de caudales ecológicos mediante métodos,» UNIVERSIDAD PONTIFICIA JAVERIANA, Bogotá, Colombia, 2017.
- [4] European Small Hydropower Association, Guía para el desarrollo de una pequeña central hidroeléctrica, 2006.
- [5] C. Mataix, Mecánica de los Fluidos y Máquinas Hidráulicas, Madrid: Ediciones del Castollos S.A., 1982.
- [6] Tadeo Czerweny, «Tadeo Czerweny,» [En línea]. Available: <https://www.tadeoczerweny.com.ar/transformadores-de-distribucion/>. [Último acceso: 7 Julio 2021].
- [7] González José Antonio Carta et. al., Centrales de energías renovables: generación eléctrica con energías renovables, Madrid: Pearson Educación S.A., 2009.
- [8] Federico Coz et. al., «Manual de Mini y Microcentrales Hidráulicas,» INTERMEDIATE TECHNOLOGY DEVELOPMENT GROUP, Lima Perú, 1996.
- [9] Gobierno Argentino, [En línea]. Available: <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/planeamiento-energetico/informacion-energetica/visualizaciones>. [Último acceso: 20 Junio 2021].
- [10] Q. Marketing, «Renard Tubos y Accesorios,» [En línea]. Available: <http://tubosrenard.com/tubos/>.
- [11] J. G. Velasco, Energías renovables, Barcelona: Reverté S.A., 2012.