

## **Avances en el estudio de Factibilidad Técnica de una Pequeña Central Hidroeléctrica en el Departamento de 25 de Mayo**

Idsi, Victor.<sup>a\*</sup>, Palchasty, Gabriel<sup>a</sup>, Szydlowski, Jorge<sup>a</sup>, Ziegler, Cristian<sup>a</sup>, Cabral, Roberto J.<sup>a, b</sup>  
Benitez, Sebastian<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>b</sup> LIDEE, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

e-mails: [idsivictor@gmail.com](mailto:idsivictor@gmail.com), [cristianziegler18@gmail.com](mailto:cristianziegler18@gmail.com), [szydlowskijorgeantonio@gmail.com](mailto:szydlowskijorgeantonio@gmail.com),  
[gapalchasty@gmail.com](mailto:gapalchasty@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 ubicada sobre el Arroyo Saltito, que estará emplazada en el departamento de 25 de Mayo, provincia de Misiones, Argentina. Se realiza el estudio del potencial hidráulico de la región, con lo que en primer lugar se podrá determinar la ubicación correspondiente de la presa, área inundada, y la ubicación de la sala de Máquinas. Una vez conocido el potencial hidráulico disponible, se continuará con el estudio de tuberías de conducción requeridas y canales de derivación, también en la posterior selección de las turbinas hidráulicas acopladas a los generadores eléctricos y en el diseño de la estación transformadora con sus respectivos componentes electromecánicos concluyendo con el análisis del posible punto de inyección a la Sistema Interconectado Provincial.

**Palabras Clave** – Energías Renovables, Pequeña Central Hidroeléctrica, Generación de Energía Eléctrica Renovable.

### **1. Introducción**

Utilizando energías provenientes de recursos renovables nos encamina hacia un crecimiento sostenido incentivando y preservando el medio ambiente para todas aquellas generaciones que están por venir permitiendo que puedan disfrutar de una calidad de vida óptima.

La energía hidráulica a pequeña escala está siendo impulsada y promovida nuevamente en la actualidad. Anteriormente fue muy utilizada en la generación de energía eléctrica para los pueblos o comunidades alejadas de la red eléctrica Provincial y actualmente es vista como una opción a suplir las grandes demandas de energía eléctrica utilizando recursos renovables que esta provincia nos ofrece.

Este proyecto pretende aumentar la matriz energética de la Provincia por lo tanto en este informe se mostrará el estado de avance del desarrollo y estudio de prefactibilidad de una nueva central hidroeléctrica ubicada sobre el Arroyo Saltito en el departamento de 25 de Mayo, aguas debajo de los aprovechamientos hidroeléctricos Saltito 1 y Saltito 2 del complejo Hidroeléctrico Alejandro Orloff en la ciudad de Dos de Mayo.

## 2. Desarrollo

Para comenzar el estudio se realiza el análisis tanto de emplazamiento y caudales

### 2.1. Emplazamiento

El estudio de emplazamiento de la presa se proponen un punto estratégico, el mismo nos permite obtener un gran salto utilizando una presa de poca altura y aprovechando el propio desnivel del terreno. También se evitará inundar grandes áreas ya que el cauce del arroyo se encuentra “Encajonado”. La ubicación de este punto se observará en la Tabla 1.

**Tabla 1. Propuesta de emplazamiento de presa**

<b>N°</b>	<b>Nombre del Punto de Análisis</b>	<b>Latitud (Sur)</b>	<b>Longitud (Oeste)</b>	<b>Altura sobre el nivel del mar</b>
1	Presa y Obra de toma Saltito	27° 13'30"	54°35'36"	211

### 2.2. Medición de caudales

Para la obtención del caudal, se realizaron distintas mediciones sobre el Arroyo Saltito utilizando el Molinete de Woltman siguiendo los procedimientos estandarizados en el libro de Capacitación para Hidromensores. Estas mediciones nos arrojarán resultados que se verán reflejados en la Tabla 2.

**Tabla 1. Propuesta de emplazamiento de presa**

**Tabla 2. Medición de caudales.**

<b>Medición N°</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>	<b>Área transversal (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>
1	0,925	4,625	5,1
2	0,981	4,8	4,9

### 2.3. Análisis de la cuenca

Para la obtención del caudal modulo el cual será el punto de partida para el diseño de la central hidroeléctrica, se recurre el departamento de Ingeniería Civil y mediante el uso de Software Qgis se realiza el estudio de la cuenca y se determinará el caudal modulo. Estos resultados obtenidos se verán reflejados en la Tabla 3.

**Tabla 3. Caudales correspondientes a las cuencas analizadas.**

<b>N°</b>	<b>Nombre del Punto de Análisis</b>	<b>Área Cuenca (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Caudal Esp. (m<sup>3</sup>/s-km<sup>2</sup>)</b>	<b>Caudal Modulo (m<sup>3</sup>/s)</b>
1	Presa y Obra de toma Saltito	300,15	0,0181	5

#### 2.4. Caudal de Diseño

Se deberá tener 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 aguas abajo de la presa. El caudal ecológico considerado será igual al 15%, esto basado en la legislación Nacional que se adoptó como referencia. Por lo tanto, se considera que el caudal de diseño será el 85% del caudal módulo, con lo que se utilizó la ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, reemplazando el valor de caudal módulo de 5 (m<sup>3</sup>/s), arroja como resultado un valor de caudal de diseño igual a 4,25 (m<sup>3</sup>/s).

$$Q_{diseño} = Q_{mod} * 85\% \quad (1)$$

donde:  $Q_{diseño}$  [m<sup>3</sup>/s]: Caudal de diseño;  $Q_{mod}$  [m<sup>3</sup>/s]: Caudal módulo.

#### 2.5. 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 presa seleccionada con la asesoría profesional será de 10 metros de altura la misma estará confeccionada en hormigón y por otra parte en tierra. Con esta altura se inundará aproximadamente 99,3 hs. Figura 2.

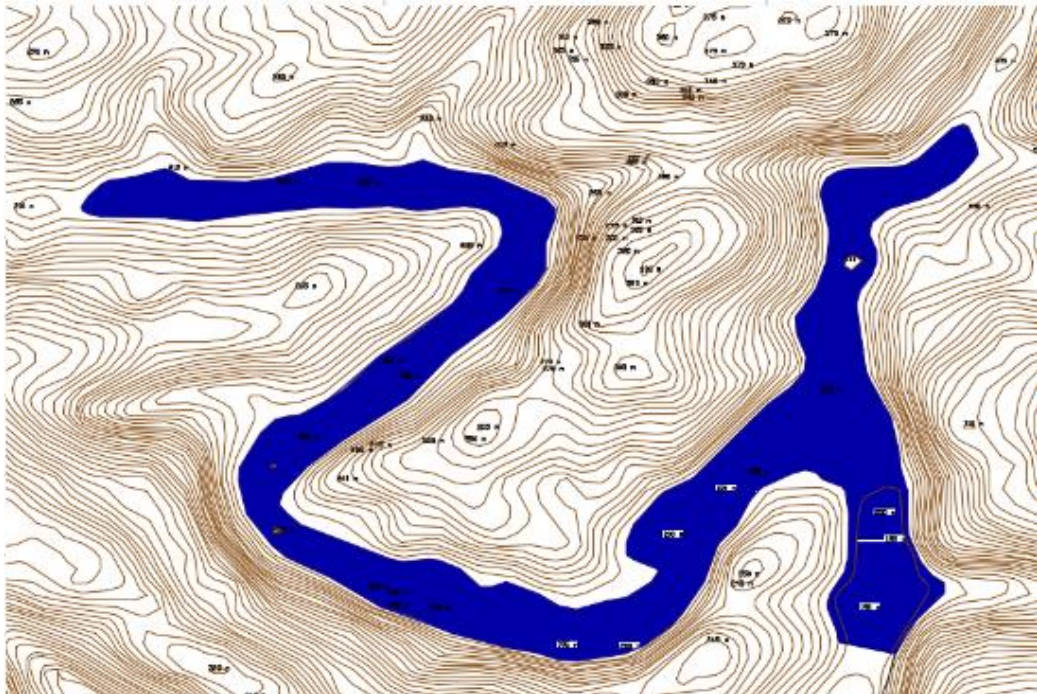


Fig. 2. Área inundada debido a la presa de 10 metros de altura.

### 3. Estudio Técnico

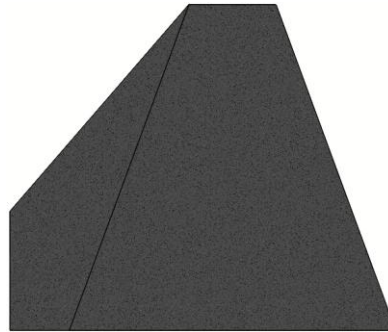
#### 3.1. Selección de la presa.

Debido a la poca altura que presenta por el desnivel del arroyo, se optara por realizar el cierre del mismo para crear un embalse y además generar el salto principal para el aprovechamiento. El cierre estará constituido por una presa de gravedad, compuesta de mampostería, hormigón, piedra y tierra. Mediante el uso de estos materiales, el peso de la presa por sí sola es capaz de resistir la presión horizontal del agua empujando contra ella.

Con los cálculos realizados se podrá dimensionar el tipo de presa seleccionada. El tipo de presa y sus datos más relevantes se verán reflejados en la Tabla 4.

**Tabla 4. Presa y sus especificaciones.**

<b>Tipo de presa</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Alto (m)</b>	<b>Base menor (m)</b>	<b>Base mayor (m)</b>
<i>Presa de gravedad</i>	170	10	4	15

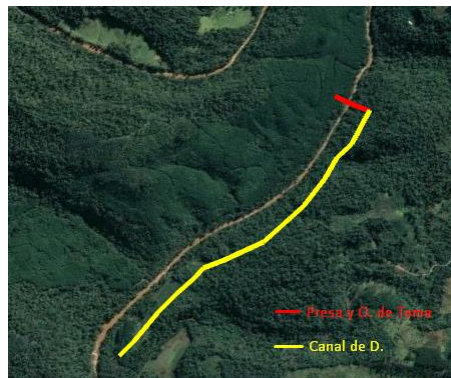


**Fig. 3. Forma de Presa**

#### 3.2. Canal de derivación

Como se mencionó en el ítem anterior sobre el poco desnivel del arroyo se deberá tener una presa de 10 metros, pero también se utilizará un canal de derivación siguiendo la curva de nivel del terreno. Esto permitirá disminuir los costos en metros de tubería. El canal saldrá de la obra de toma ubicada en la presa y llegará hasta la cámara de presión permitiendo obtener un mayor salto. Figura 3.

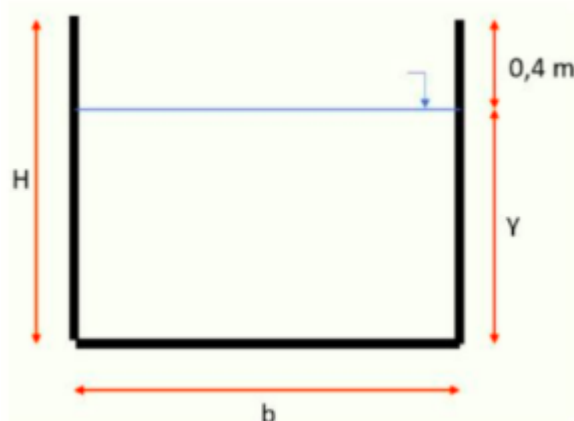
Este canal estará construido en tierra será del tipo recto y seguirá las curvas de nivel del terreno. En la Tabla 5 se verán reflejados las especificaciones del canal de derivación y en la Figura 4 el tipo de canal.



**Fig. 4. Ubicación del canal de derivación.**

**Tabla 5. Canal de derivación especificaciones.**

<i>Tipo de canal</i>	<i>Largo (m)</i>	<i>Alto "H" (m)</i>	<i>Base "b" (m)</i>	<i>Altura del fluido "Y" (m)</i>
<i>Rectangular</i>	1530	1,8	3	1,4



**Fig. 5. Tipo de canal de derivación.**

### 3.3. Cámara de presión

Se deberá utilizar la cámara de presión para conducir el agua desde el canal de derivación hasta las tuberías forzadas. Esta cámara estará compuesta por su pared frontal de hormigón y las paredes laterales de mampostería, hormigón y tierra. En su pared frontal tendrá compuertas que permitirán el paso del fluido a las tuberías, en base a cálculos realizados se reflejarán las especificaciones de esta cámara de presión en la Tabla 6.

**Tabla 6. Cámara de presión especificaciones.**

<i>Tipo de cámara</i>	<i>Ancho Pared frontal (m)</i>	<i>Alto (m)</i>	<i>Espesor pared frontal(m)</i>
<i>Rectangular</i>	6.5	2,3	1,5

#### 3.3.1. Compuertas de la cámara de presión

Cada tubería tendrá su propia compuerta la misma permitirá interrumpir el paso del fluido hasta las turbinas. Estas compuertas de acero tendrán sus propias guías y sistemas de accionamiento. Con los cálculos realizados se reflejarán en la Tabla 7 las especificaciones de las mismas.

**Tabla 7. Compuertas de la Cámara de presión especificaciones.**

<i>Tipo de compuerta</i>	<i>Ancho (m)</i>	<i>Alto (m)</i>
<i>Rectangular con guías</i>	3,3	3,3

### 3.4. Tubería Forzada

Para la conducción del fluido hasta la casa de máquinas se utilizarán tuberías. Las mismas se calcularon para soportar un golpe de ariete debido a un cierre brusco, caso más desfavorable para las tuberías. Con estos cálculos se podrán seleccionar tuberías donde en la Tabla 8 veremos las especificaciones.

**Tabla 8. Tuberías forzadas especificaciones.**

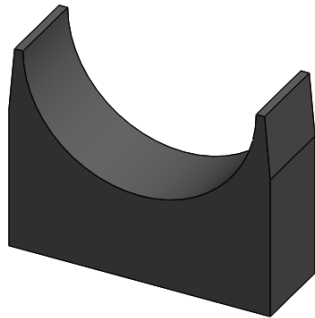
<b>Tipo de tubería</b>	<b>Diámetro (m)</b>	<b>Espesor (cm)</b>	<b>Longitud total (m)</b>
<i>Circular de Acero</i>	<i>0,622</i>	<i>0,4</i>	<i>115</i>

### 3.5. Anclajes y apoyos de las tuberías

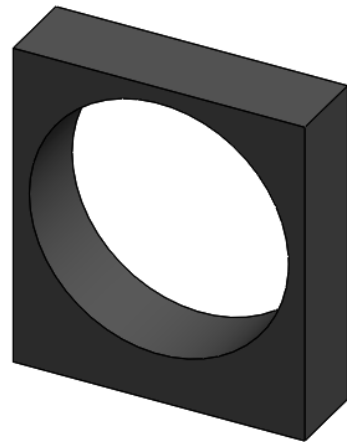
Los apoyos se utilizan para sostener al suelo la tubería forzada, se dimensionaron para que sean de bajo costo y de fácil construcción.

El apoyo permite la variación de longitud de la tubería durante la dilatación. 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, entre otros son algunos de los factores que se consideraron. Estos apoyos se verán en la Figura 6.

Los anclajes, los cuales son bloques de hormigón que envuelven la tubería forzada, además impiden el movimiento de la misma 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, por otro lado, los mismo se instalan en aquellos puntos de la tubería donde hay un cambio de dirección. Estos anclajes se verán en la Figura 7.



**Fig. 6. Apoyos.**



**Fig. 7. Anclajes.**

### 3.6. Selección de turbinas

En la determinación de las turbinas a utilizar, se optará en principio utilizar tres turbinas para así poder equilibrar el funcionamiento de la central con las variaciones del caudal. Esto se decide en base a la información obtenida de los Aprovechamientos Hidroeléctricos Saltito 1 y Saltito 2 aguas arriba del punto de estudio, donde poseen un menor caudal ( $Q=1,3 \text{ m}^3/\text{seg}$ ,  $H_b=60 \text{ m}$ ) y funcionan con 2 turbinas del tipo Francis. Debido a esto y a los análisis efectuados de caudales, se optó utilizar dos turbinas de base en los periodos de caudal normal o estiaje y en los periodos de crecida utilizar las 3 al mismo tiempo. Por otro lado, debido al embalse que se genera por la presa la tercera turbina también podrá ser utilizada durante el periodo de caudal normal o estiaje en los horarios donde la prestataria del servicio eléctrico lo crea conveniente (Generación de Punta).

Se seleccionarán las turbinas con los diagramas correspondientes en base a datos obtenidos en mediciones y por software, estos datos se verán reflejados en la Tabla 9. En la figura 8 se tendrá el ábaco correspondiente al seleccionamiento.

**Tabla 9. Datos de selección de turbinas. [1]**

<i>Caudal de cada turbina (<math>\text{m}^3/\text{s}</math>)</i>	<i>Altura Bruta (m)</i>
1,4	35

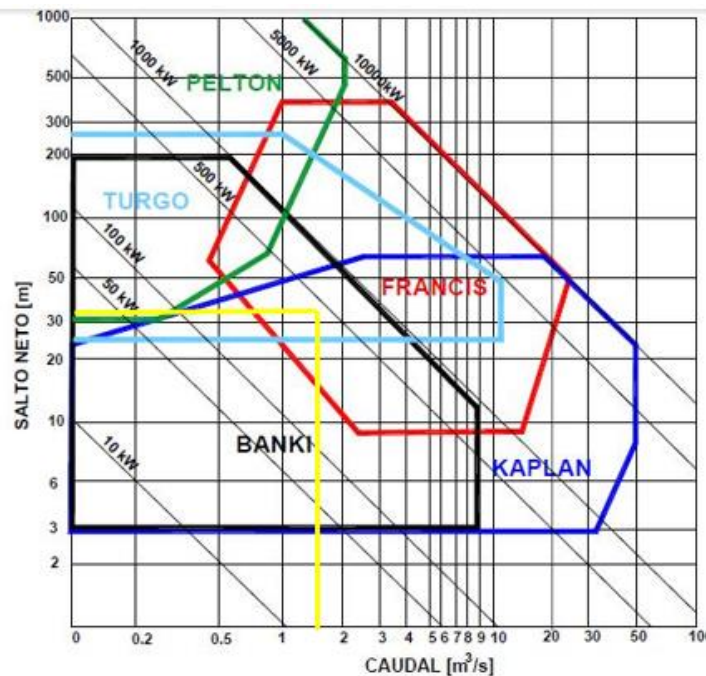


Fig. 8. Selección de turbina.

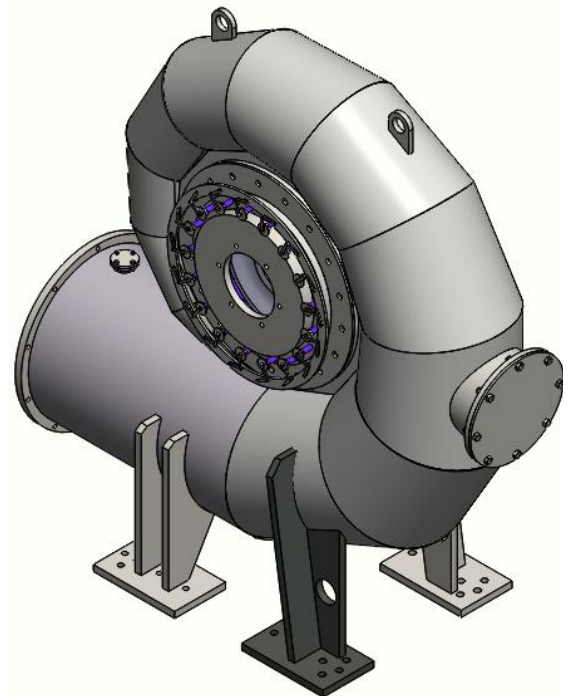
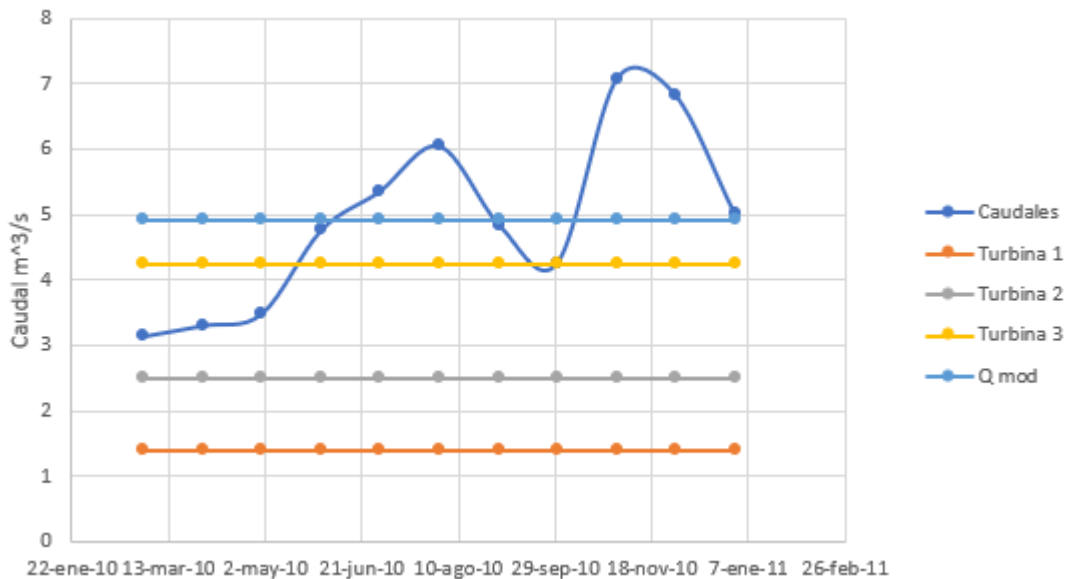


Fig. 9. Esquema de una Turbina Francis [Ref].

Con los datos obtenidos de potencias gracias a la Cooperativa eléctrica de Dos de Mayo, se logro realizar un estudio de caudales del Arroyo Saltito y una aproximación de los caudales aportados por otros afluentes aguas abajo de la central Saltito 1 y Saltito 2. Esto permitió la elaboración de curvas de caudales y la zona de trabajo de las turbinas, lo cual permite la verificación en la elección de las tres turbinas y sus tiempos de funcionamiento lo cual se verá en la Figura 10.



**Fig. 10. Curva de caudales.**

### 3.7. Potencia Bruta disponible

Conocida el tipo de turbina a utilizar, se determinará la potencia bruta disponible. Esta potencia depende de ciertos parámetros determinados anteriormente y de un factor (K) que corresponde al tipo de turbina, en este caso la turbina seleccionada es una del tipo Francis. La potencia bruta disponible y los datos necesarios para hallarla se verán reflejados en la Tabla 10.

**Tabla 10. Potencia Bruta Disponible.**

Caudal de cada turbina (m <sup>3</sup> /s)	Altura Bruta (m)	Factor K	Potencia Bruta Disponible (Kw)
1,4	35	8	400

Cada turbina tiene una potencia bruta disponible de 400 KW, como se tendrán tres turbinas la potencia total será de 1200 KW.

### 3.8. Selección de generadores

Se seleccionarán generadores síncronos con una tensión de salida de 400 V los cuales generarán en 50 Hz una potencia de 400 kVA.



### 3.9. Análisis del punto de Inyección de la energía.

Para el análisis del punto de Inyección, se deberá tener en cuenta la línea más cercana de energía eléctrica. Por un lado, se podrá inyectar a la red de 13,2 kV del Pueblo Illia, dicha línea sería de 12,2 kilómetros aproximadamente o bien a la red de 33 kV sobre la Ruta Provincial N 9 con una longitud de 12,5 kilómetros aproximadamente. En la Figura 9 se podrán observar ambas opciones.



Fig. 10. Esquema del tendido eléctrico.

#### 4. Conclusión

Este trabajo tiene la finalidad de presentar Avances en el estudio de Factibilidad Técnica de una Pequeña Central Hidroeléctrica en el Departamento de 25 de Mayo.

En primer lugar, se tuvieron en cuenta para su diseño el potencial hidráulico de la región, la minimización impacto sobre el medio ambiente y maximización 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 actuar de reservorio hídrico, esto 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 además de los materiales comerciales necesarios. Para el diseño de las conducciones se buscó un trazado optimo minimizando costos por esto se busca conducir el fluido por canales.

En cuanto al sistema de transformación del potencial hidráulico, se optó por utilizar turbinas del tipo Francis para tener una gran flexibilidad de generación cuando por cuestiones climatológicas el caudal fluctúa.

A su vez la energía mecánica obtenida en cada eje de las turbinas será transformada con generadores sincrónicos. 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.

#### 5. Referencias

- [1] [https://datos.gob.ar/dataset/energia-redes-distribucion-electrica/archivo/energia\\_c8c0c8ff-5597-46d0-8b49-bbacd1560f29](https://datos.gob.ar/dataset/energia-redes-distribucion-electrica/archivo/energia_c8c0c8ff-5597-46d0-8b49-bbacd1560f29)
- [2] [https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html#%C2%BFC%C3%B3mo\\_Elegir\\_el\\_Tipo\\_de\\_Turbina](https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbinas-hidraulicas.html#%C2%BFC%C3%B3mo_Elegir_el_Tipo_de_Turbina)
- [3] C. Mataix, Mecánica de los Fluidos y Máquinas Hidráulicas, Madrid: Ediciones del Castollo S.A., 1982.
- [4] J. G. Velasco, Energías renovables, Barcelona: Reverté S.A., 2012.
- [5] Agua, Energía y Otros Servicios Comunitarios de Dos de Mayo Ltada.