

Agua para el Poopó

Joaquín (a) Giordano Bruno MCMLVII

Diciembre de 2023

Actualizado en diciembre de 2024

Montevideo, República Oriental del Uruguay

neschii@gmail.com

<https://t.me/aguaparaelPoopo>

Resumen

El documento explora métodos para transportar agua al lago Poopó utilizando energía eólica y tecnologías no contaminantes. Inspirado por la ingeniería romana, se proponen dos estrategias principales para superar las dificultades topográficas y las alturas extremas entre la costa del Océano Pacífico y el lecho del lago Poopó, situado a 3686 metros sobre el nivel del mar. La primera propuesta consiste en la instalación de estaciones de bombeo a intervalos regulares para manejar la presión y asegurar que el agua termine fluyendo. La segunda propuesta sugiere agregar un sistema de vasos comunicantes que permita el flujo natural del agua tras un tramo inicial de bombeo intensivo. Ambos métodos buscan minimizar la lucha contra la gravedad y maximizar el uso de energías renovables, particularmente mediante el uso de molinos eólicos de eje vertical. Se discuten las características técnicas necesarias para la implementación, las dificultades esperadas y se plantea la posibilidad de llevar a cabo ambas propuestas en paralelo para evaluar su efectividad a largo plazo.

Palabras Clave

- Lago Poopó
- Energía eólica
- Acueductos romanos
- Sistemas eólicos de bombeo directo
- Tuberías de alta presión
- Vasos comunicantes
- Energías renovables
- Ingeniería hidráulica
- Sostenibilidad ambiental

Propuesta 1:

Instalación de 30 estaciones de bombeo distribuidas a lo largo de la distancia requerida, utilizando tuberías de PVC-O capaces de soportar altas presiones. Cada estación de bombeo se encarga de un tramo de 200 metros de elevación para reducir la presión máxima y mantener la seguridad y eficiencia del sistema.

Propuesta 2:

Descomposición del problema en dos tramos: uno inicial de bombeo hasta un tanque a 3686 metros, seguido de un sistema de vasos comunicantes entre ese tanque y otro similar a orillas de lago Poopó. Este enfoque requiere un control preciso para evitar la entrada de aire en el acueducto y asegurar su permanente llenado completo.

Referencias

1. ARTE Reportaje - Bolivia: los huérfanos del lago Poopó
2. YouTube: Ingeniería Romana Cap 2 - Acueductos I
3. Molecor: Características de las tuberías de PVC-O
4. Nord Stream: Diseño y operación de gasoductos de alta presión

Este documento propone soluciones innovadoras y sostenibles para la crisis hídrica del lago Poopó, destacando la importancia de la ingeniería y la tecnología en la mitigación de los efectos del cambio climático y la preservación de recursos naturales.

Cómo llevar agua al lago Poopó utilizando energía del viento y sin contaminar.

[ARTE Reportaje - Bolivia: los huérfanos del lago Poopó](#)

Como antecedente, podemos citar a los romanos. Preferentemente ellos hacían que el agua fluyera en bajada y, en nuestro caso, para llenar el lago Poopó tendremos que hacer que el agua suba hasta alturas considerables:

[Así construían los romanos sus acueductos - YouTube](#)

«Los ingenieros romanos conocían perfectamente sistemas de elevación y de bombeo del agua para vencer a la gravedad. Sin embargo, en un acueducto de estas características, este sistema era completamente impensable.

Los ingenieros sabían que era mucho más inteligente aprovecharse de la fuerza de la gravedad que enfrentarse a ella.»

[Ingeniería Romana Cap 2 - Acueductos I - YouTube](#)

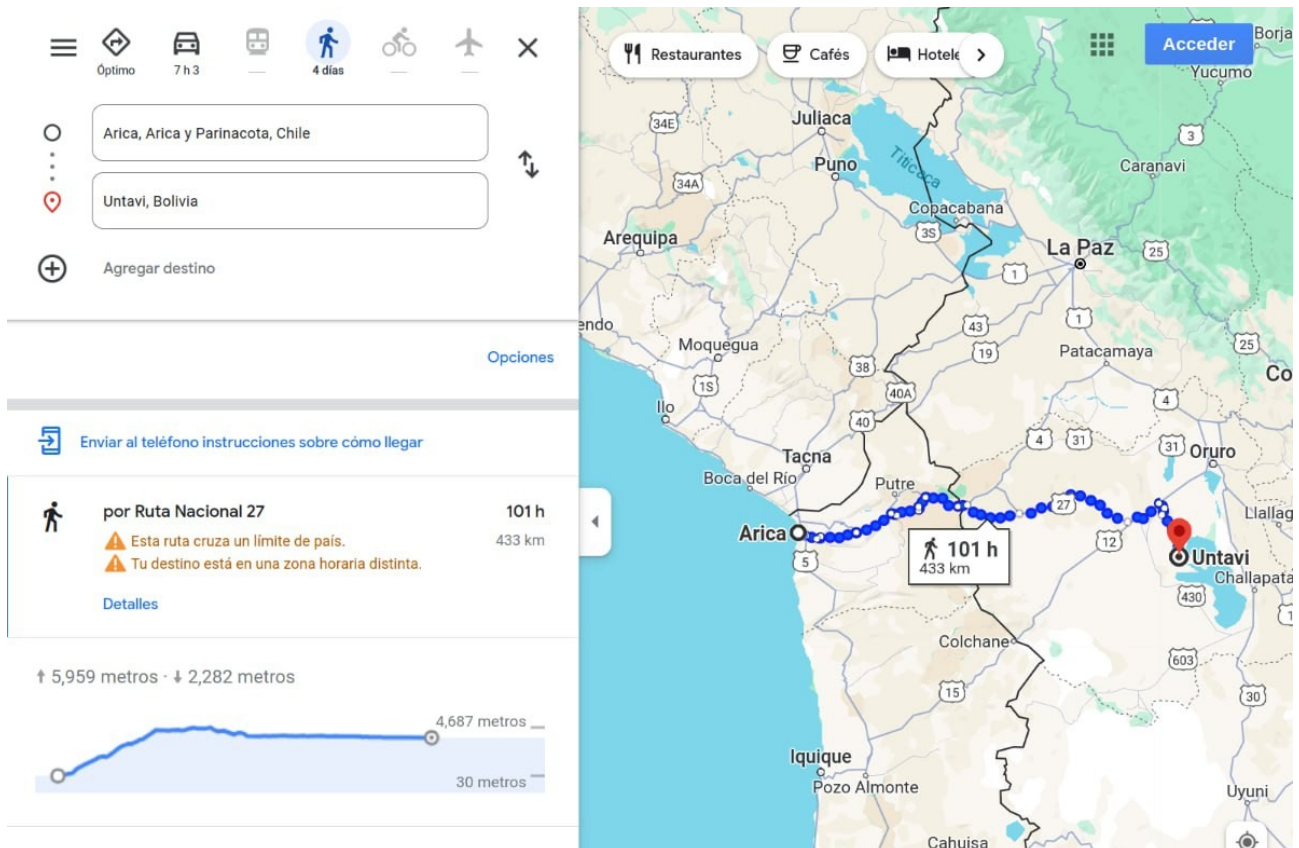
También en este caso, para llevar agua de mar al lago Poopó utilizando un acueducto, sería muchísimo más complicado perforar montañas ya que el lecho del lago Poopó está situado a 3686 m de altura y para llegar desde la costa del Océano Pacífico saliendo del paralelo de Arica en Chile, habría que atravesar montañas con altura máxima de aproximadamente 6000 m.

La máxima presión que tendría que soportar el caño, ducto o manguera, sería:

You have: 6000000 mmH2O
You want: bar
* 588.399
/ 0.001699527

Estamos ante una presión de casi 588 bar que es de las que hay que respetar.

Tal como nos enseñaron los romanos, habrá que estudiar la topografía del camino para determinar el recorrido óptimo.



Propuesta 1.

Podríamos instalar 6 estaciones de bombeo, una cada 1000 m de altura. Con ello, salvando la diferencia de alturas, la máxima presión andaría por debajo de los 100 bares en cada tramo, viendo que los 6000 m de columna de agua ejercen menos de 600 bares.

Habría que instalar también, un sistema de control para evitar enviar agua cuando en una de las estaciones de bombeo se llene el depósito transitorio por el motivo que sea.

El mayor rango de producto

Las tuberías TOM® de PVC-O son capaces de soportar las más altas presiones: hasta PN25 bares (305 psi).

- => DN: desde 90 mm / 4" hasta 1200 mm / 48"
- => PN: hasta 25 bares / 365 psi - 305 psi / 21 bares
- => Todas las normativas internacionales aplicables
- => Proyectos especiales para mayores diámetros

Características de las tuberías de PVC-O Diámetro y rango de presión

Si usáramos estas tuberías que soportan 21 bar como máximo, podríamos partir en 5 la distancia de 1000 m y así tendríamos que instalar un total de 30 estaciones intermedias de bombeo cada una de ellas con su correspondiente depósito a presión atmosférica con una separación de 200 m de altura cada 2 contiguas.

Si usáramos los caños que soporten 220 bares de máxima presión, alcanzaría holgadamente con 4 tramos de 1500 m de largo cada uno.

Una vez que el agua llegue al punto de mayor altura del acueducto, la señora gravedad dejará de oponerse y se pasará de nuestro lado como aliada.

Propuesta 2.

Hay que buscar la forma, cómo enseñaron los romanos, de luchar lo menos posible contra la gravedad, así que otra opción es descomponer el problema en 2. Un primer tramo que será contra la maldita gravedad y un segundo tramo que será con la bendita gravedad a favor, utilizando un sistema de vasos comunicantes.

El primer tramo consistirá en llenar un primer tanque, por ejemplo de 2 m de profundidad, dispuesto sobre la ladera de la montaña más cercana al mar y apoyado exactamente a la misma altura que, junto al lago, esté apoyado un segundo tanque de por ejemplo 1 m de profundidad, que será el de desborde.

Para armar un sistema de vasos comunicantes entre el primer tanque y el tanque de desborde, se instalará un acueducto de diámetro a determinar, perfectamente sellado para que no entre aire y que se deberá llenar totalmente con agua mientras se deja salir el aire por una válvula regulable dispuesta en el punto más alto de toda la cañería.

La acción del llenado será en contra de la maldita gravedad y por única vez habrá que bombear desde la altura a la que esté el primer tanque hasta los 6000 m, tanta agua como sea necesaria para llenar completamente la cañería sin aire.

Una vez que el acueducto quede totalmente lleno y que luego que comience a salir agua y sólo agua, se cierre la válvula purgadora, se deberán abrir simultáneamente ambos extremos del acueducto.

De esa manera el agua comenzará a entrar por el extremo del acueducto inmerso en el primer tanque, mientras desborda el tanque situado junto al lago Poopó.

La bendita gravedad, infructuosa pero provechosamente, intentará igualar los niveles de agua en ambos tanques por lo que, cómo el tanque de desborde tiene menos altura que el primer tanque, el agua desbordará y asunto arreglado.

La posición de equilibrio estable será cuando en caso de no entrar más agua al primer tanque, los niveles quedarán iguales entre sí en el valor que tenga el del tanque de desborde.

También debemos calcular la energía necesaria para hacer lo que queremos contando con obtener del viento la potencia suficiente.

Mi preferencia es utilizar molinos eólicos de eje vertical tipo panémona que sean directamente bombeadores. Pero eso quedará a libre elección de quien se decida a realizar lo que propongo.

Es más. Si yo tuviera plata de sobra que alcanzara, instalaría lo que describe la propuesta 1 y en paralelo lo que describe la propuesta 2, sólo para dentro de 50 o 100 años con los desempeños a la vista poder determinar cual de los 2 resultó mejor y dio menos trabajo.

Es sencillo el cálculo de la energía necesaria para llevar el agua montaña arriba.

Cómo se había visto, en la propuesta 1 la conexión constará de 30 tramos intermedios con un tanque al final exceptuando el último que elevará el agua los últimos metros y la dejará caer por tubería de bajada.

```
You have: 200000 mmH2O
You want: bar
          * 19.6133
          / 0.050985811
```

Si usamos los caños que no soportan más de 21 bar, tendremos que utilizar tramos de 200 m, por lo que cada tramo constará de un tubo ascendente de al menos 200 m de largo, con una fuente de agua en el extremo inferior junto a un molino eólico directamente bombeador y un depósito para descargar el agua en el otro extremo. Todos los molinos trasvasarán agua desde la fuente inferior a la siguiente. Si como se ve en el mapa hay que subir hasta los 5959 m, habrá que montar 30 molinos eólicos directamente bombeadores. Seguramente habrá que afinar más los números por la variación en la fuerza «g» de la gravedad, la densidad del aire, la presión atmosférica y todo lo que varíe con la altura sobre el nivel del mar que consideremos. Esa sintonía fina quedará para más adelante.

Ahora consideraremos molinos eólicos directamente bombeadores, funcionando en condiciones similares, es decir, salvo el que haga que llegue agua al Poopó, los otros molinos eólicos directamente bombeadores, trasvasarán agua desde un depósito a cierta altura a otro depósito situado 200 m más arriba.

Por cada 10 m^3 o sea cada 10000 l que tengamos que elevar 200 m, vamos a tener que obtener del viento 19,6 MJ.

You have: $10000 \text{ kg} * 9.8 \text{ m/s}^2 * 200 \text{ m}$
You want: MJ
* 19.6
/ 0.051020408

Si queremos que 10 m^3 de agua se eleven los 200 m necesarios en 1 hora, necesitamos una potencia de casi 5,5 kW:

You have: $10000 \text{ kg} * 9.8 \text{ m/s}^2 * 200 \text{ m} / 3600 \text{ s}$
You want: kW
* 5.4444444
/ 0.18367347

Aunque creo que la eficiencia energética será mucho mayor, aplicando el factor de planta de los electrogeneradores eólicos estimado en 33%, concluimos que necesitaremos molinos eólicos directamente bombreadores de 18 kW de potencia nominal, dejando una generosa holgura.

Está difícil para que se construya algo así. La humanidad ya casi no tiene mentalidad romana y los que tienen guita suficiente como para hacerlo, salvo algunos pocos, no acostumbran a financiar cuestiones que no tengan retorno monetario. Y esto no parece tener retorno monetario. Además, también habría que contar con el beneplácito de los hermanos chilenos.

Para la opción 2 habrá que utilizar caños similares a los que se usaron en la construcción del Nord Stream que, aparentemente soportan hasta 220 bares, aunque nunca sea puesto en funcionamiento.

Un elemento clave del diseño de la Línea 1 es que el sistema funcionará sin una estación compresora intermedia, lo que reducirá los costos operativos y las emisiones de CO2. El gas recorre una distancia completa de 1200 kilómetros gracias a la presión de 220 bares generada en la estación compresora de Portovaya, cerca de Vyborg. La tubería tiene un diámetro interno constante de 1153 mm (aprox. 45 pulgadas), pero el sistema fue diseñado para tener tres secciones de presión de diseño diferentes (220 bar, 200 bar y 177,5 bar) y espesores de pared de tubería (en mm 34,4; 30,9; 26,8; o en pulgadas 1,35; 1,21; 1,055;

respectivamente) correspondientes a la caída de presión del gas durante el largo viaje de Rusia a Alemania. Al diseñar cada sección de acuerdo con las presiones cambiantes, Nord Stream pudo ahorrar en la cantidad de acero utilizado y, por tanto, en el coste de la tubería.

Nota: Las traducciones son del «translate» de google.

Nord Stream completa el gasoducto submarino más largo del mundo.

A key design element for Line 1 is that the system will operate without an intermediate compressor station, which will lower operational costs and reduce CO2 emissions. Gas travels the full 759 mi distance thanks to the 220 bar pressure generated at the Portovaya compressor station near Vyborg. The pipeline has a constant internal diameter of 1,153 mm (approx. 45 in.), but the system was designed to have three different design pressure sections (220, 200, and 177.5 bar) and pipe wall thicknesses (34.4, 30.9 and 26.8 mm; or 1.35, 1.21 and 1.055 in., respectively) corresponding to the gas pressure drop over the long journey from Russia to Germany. By designing each section according to the changing pressures, Nord Stream was able to save on the amount of steel used, and thus the cost of the pipe.

Si aceptamos que el costo del Nord Stream 2 fue U\$12.000.000.000 para los 1230 km de largo con gran parte de la instalación a profundidad respetable, cada uno podrá estimar a su buen saber y entender el costo de instalar un caño similar para subir el agua hasta los 6000 m, siendo que la presión ejercida por la columna de agua será estrictamente descendiente a medida que la columna sea cada vez menor.

Nord Stream - El proyecto propuesto.

The proposed Project comprises the planning, construction, operation and future decommissioning of up to two additional natural gas offshore pipelines through the Baltic Sea spanning from Russia to Germany, each with a transport capacity in the order of 27.5 billion cubic metres (bcm) of natural gas per year and with similar properties to that of the existing two Nord Stream pipelines: 48 inch steel pipes

with internal flow coating and external corrosion protection coating and concrete weight coating, an inner pipe diameter of 1,153 mm, segmented pipe wall thicknesses along the pipeline route corresponding to decreasing design pressures in the range of 220 bar, 200 bar, and 177.5 bar, and total pipeline length of around 1,250 km.

Si el caño soportara 220 bar, alcanzaría con instalar 3 tramos, cada uno con su molino eólico directamente bombeador para bombear agua cuesta arriba.

You have: 2200000 mmH2O

You want: bar

* 215.7463

/ 0.0046350737

Al igual que el Nord Stream, a medida que nos acercamos al extremo superior, se irá pudiendo utilizar caño menos resistente a razón de unos 10 bares cada 100 m. Con esto vemos que si el extremo de descarga se dispone a 2200 m, en la salida la presión del agua será prácticamente nula.

Aunque la distancia curvilínea hay que calcularla, basándonos en el mapa podemos estimar que rondará entre 450 Km y 550 km. Una ventaja que tiene la propuesta 1 es que se podría instalar tubería mucho menos costosa en la zona de descenso o hasta se podría cavar una zanja para que el agua fluyera gracias a la señora gravedad. Todos los molinos eólicos directamente bombeadores estarán conectados con el depósito al cual manden el agua. De esta manera se podrá detener el bombeo cuando en el depósito ya no entre más agua y entonces el molino eólico directamente bombeador cesará de bombear, esperando recibir la señal de «dale» cuando en el depósito entre más agua. El último de los molinos directamente bombeadores recibirá la señal que le llegue del lago Poopó.

También seguramente habrá que enfrentarse a los que se opongan sin fundamento. Ese es un riesgo con el que es necesario aprender a convivir. Tal vez la gente que vive en las cercanías del lago Poopó acepten que el lago se vuelva a llenar aunque sea con agua de mar.

Tal como todos sabemos, «Lo que natura non da, hay que conseguirlo con palanca». Por eso, si el agua no llega sola, hay que obligarla a llegar, causando el menor daño posible.

También se está secando el lago Titicaca que actualmente es un lago de agua dulce aunque se cree que otrora fue de agua salada.

19 de septiembre de 2023

Sequía extrema en el Titicaca

El cambio climático está afectando drásticamente al lago más alto del mundo, el Titicaca, y amenaza a las comunidades de que viven de la agricultura y la ganadería en Bolivia. No llueve y las altas temperaturas evaporan más agua del lago; una catástrofe para quienes la necesitan para vivir y ven que sus hijos deben emigrar a la ciudad.

NATURALEZA Y MEDIO AMBIENTE - BOLIVIA

El Lago Titicaca, el lago navegable más alto del mundo y fuente de vida para las comunidades Aymara en los altiplanos bolivianos, enfrenta una grave amenaza debido al calentamiento global y la sequía persistente. Las autoridades bolivianas han declarado una alerta por la disminución crítica del nivel del agua, lo que ha afectado la forma de vida de quienes dependen de sus aguas.

Por: [Sandrine Exil](#)

Bolivia: el lago Titicaca, bajo amenaza por la extrema sequía - América Latina

Otrosí aclaro que aunque el lago Poopó podrá volver a estar lleno de agua, por la intermitencia del viento será muy difícil poder estimar exactamente el plazo en que se llenará. No será cuestión de abrir la canilla y esperar que se llene.

Muchas gracias.

Joaquín (a) Giordano Bruno MCMLVII.