



Géiseres de El Tatio.

ENERGIA DEL TATIO: ¿PROYECTO ARCHIVADO?

Por RAUL ALUCEMA C.
Ing. Civil Electricista

Para nadie es un misterio que un país o grupo que controle la ENERGIA, es viable y poderosa. No obstante este aserto, este poder está íntimamente ligado con las inversiones y los recursos naturales que se posean, junto con la tecnología disponible para su explotación. En seguida, vienen los riesgos y la rentabilidad de esas inversiones y su entorno donde se desenvuelven habida consideración con un prudente período de maduración de ese proyecto.

El Proyecto del Tatio había cum-

plido con los requisitos esenciales para ser catalogado en un listado de Proyectos Viables. ¿Existirá la voluntad de quien tiene el poder de decisión para su puesta en marcha; corresponderá a una iniciativa ejecutarlo o será el Estado por intermedio de sus organismos oficiales quien patrocinará una iniciativa de fomento que cristalice esta vieja aspiración: poseer energía en una zona por excelencia minera y carente de recursos hídricos que limitan su desarrollo.

¿O es el caso que a la iniciativa no le interesa este proyecto porque

no optimiza el beneficio/costo y/o el Estado empresario tampoco optimiza su beneficio/costo político de esta iniciativa?

Todas estas interrogantes quedarán a juicio del lector para su análisis. Nosotros les entregaremos los argumentos técnicos y económicos para obtener las respuestas más justas. Esperamos una sensibilización de la verdadera proyección de este Proyecto.

En primer lugar, sentaremos la premisa que el proceso de industrialización que caracteriza el desarro-

llo de la economía mundial requiere en forma acelerada la utilización de recursos energéticos.

Estos se originan principalmente con el empleo de combustibles convencionales tales como el carbón y petróleo, considerados como recursos no renovables. En los últimos tiempos también está la energía nuclear, que tiene como limitantes sus desechos y es de público conocimiento los problemas de operación que han puesto en peligro, con imprevisibles consecuencias, la salud humana, vegetal y animal; también están los recursos hidráulicos que, para el caso chileno, son muy abundantes en la XI y XII Región.

La utilización de la energía eléctrica a lo largo del país se efectúa por intermedio de dos sistemas interconectados. El Central que abarca el servicio desde Chiloé hasta la III Región (Diego de Almagro) y el sistema interconectado del norte que suministra energía a la I y II Región. El primero se interconecta con centrales del tipo hidro-térmicas, y el segundo térmicas, siendo la principal la central termoeléctrica de Tocopilla, a base de carbón principalmente de Punta Arenas. En ambos sistemas no está presente la energía geotérmica.

La energía geotérmica, como su nombre lo indica, es la energía carbónica, propia del núcleo terrestre, que a través de las corrientes del magma y por las fisuras existentes en el medio sólido y sólido-líquido del interior de la corteza terrestre emigra hacia niveles más superficiales donde, si encuentra características geológicas favorables para su acumulación, permanece transmitiéndose a las aguas subterráneas.

Es así, como por intermedio de pozos construidos por el hombre, estas aguas salen a la superficie, transformándose en vapor, que se utiliza para la obtención de energía eléctrica.

Existe la evidencia de la existencia de numerosas cuencas geotérmicas en el mundo, sin embargo, aunque su conocimiento es muy antiguo, solamente en el transcurso de este siglo se han iniciado trabajos concretos que han permitido la utilización de esta importante fuente energética.

Los campos geotérmicos más interesantes son los de Larderello en

Italia, Weirakan en Nueva Zelanda, The Geysers en EE.UU. y los de Nueva California en México.

La naturaleza volcánica de la cordillera de los Andes hace que Chile sea una larga cuenca geotérmica de norte a sur, y que es parte del llamado "anillo de fuego del Pacífico", el que se extiende desde el Japón hasta Tierra del Fuego. Existen numerosas manifestaciones superficiales de energía geotérmica a través del país. Empero, las más promisorias y que han sido estudiadas con la colaboración de Naciones Unidas corresponden a El Tatio.

Se estima que la cuantía de los recursos mundiales, hasta una profundidad de 10 Kms, las áreas geotérmicas principales, podrían liberar una energía total de aproximadamente 10/14 kwh (térmicos). Si se supone un rendimiento de un 25%, esta energía sería equivalente a una potencia eléctrica de 60.000 MW durante un período de 50 años.

Ahora bien, aplicando este mismo supuesto para el caso chileno, se podría inicialmente suponer una central de 25 MW en forma inmediata hasta alcanzar unos 200 MW en el mediano plazo. En el largo plazo Chile podría contar con una potencia hasta 2.000 MW. Evaluación preliminar avalada por el criterio de varios especialistas.

Esta energía sería suficiente para desarrollar todas las regiones I y II, tanto en el aspecto industrial, minero y agroindustrial.

Los costos de generación en Italia, Nueva Zelanda y EE.UU. oscilan entre 6 a 9 mls. (milésimas de dólar). Los costos, según estudios de factibilidad del Tatio para una central de 25 MW, son de alrededor de 11 mls. (dólares año 1974). Este costo podría reducirse con la obtención de otros productos adicionales, como sales y la obtención de agua potable utilizando como fuentes de energía el calor de fluido geotérmico, con un costo estimado de 0,25 US\$ por determinado porcentaje de agua, adicionando de la central una planta desaladora de agua.

Después de esta breve reseña general de la energía geotérmica, echemos un vistazo más en detalle del recurso más proyectado en nuestro país, EL TATIO.

Ubicación Geográfica

El campo geotérmico "El Tatio" es un valle ubicado a 4.300 mts. de altura sobre el nivel del mar, enclavado en el altiplano, rodeado de cerros de tipo volcánico en el paralelo 22° 22", a 100 Km en línea recta al oriente del mineral de cobre de Chuquibambilla, en la II Región y a unos 5 Kms. de la frontera chilena-boliviana.

La zona tiene un clima seco con una temperatura cuyos máximos son a 10° C en invierno y a 20° C en verano durante el día. En las noches ésta descende según la temperatura a 15° C y 0° normalmente.

En el transcurso de nuestro reportaje hemos hablado de un campo geotérmico y su sentido puede interpretarse como una caldera natural.

En una caldera se caracterizan tres componentes: configuración física de su estructura, fuente calórica y fuente de agua. En un campo geotérmico estos componentes se conocen como: estructura geológica, fuente calórica y sistema hidrológico, respectivamente.

Desarrollaremos brevemente estos conceptos:

a) **Sistema Hidrológico:** Representa



La energía geotérmica tiene grandes proyecciones de desarrollo en Chile.

el conjunto de acuíferos que escurren subterráneamente formado principalmente por aguas meteóricas (aguas lluvia) precipitadas sobre la superficie de la tierra, de las cuales un porcentaje filtra hacia el interior y el resto escurre en dirección, generalmente hacia el mar regulada por las leyes de la hidrología. Para geotermia existen dos aspectos relevantes; la zona de captación de las aguas meteóricas que en forma de acuíferos atraviesan un campo geotérmico, conocida como zona de recarga; y el caudal normal de estos acuíferos, conocidos como volumen de recarga. Para nuestra "caldera natural" al sistema hidrológico viene a representar el caudal que entra a ella.

b) Fuente calórica: Todo sistema hidrológico experimenta a través de su recorrido variaciones en su temperatura debido a la transparencia de calor desde la roca conductora por la cual pasa hacia el fluido en movimiento. Esta transferencia se origina debido al calentamiento de la roca por la emisión calórica natural que proviene por conducción principalmente desde el interior de la tierra. Sabemos que bajo la corteza terrestre a cierta profundidad se encuentra una sustancia líquido-gaseosa llamada "magma", en estado de solidificación. A medida que este

proceso de solidificación se produce, se emite calor hacia la superficie, originándose una gradiente térmica que, como promedio mundial, es del orden de 3°C por cada 100 mts de profundidad.

En las áreas de volcanismo, ésta gradiente es mucho mayor.

c) Estructura geológica: La estructura geológica representa la configuración física de una caldera convencional, es decir, los límites físicos de nuestro sistema geotérmico que no tiene límites geológicos definidos y el sistema hidrológico subterráneo escurre libremente. Su velocidad dependerá, entre otras variables, de su gradiente hidráulica y de las pérdidas de carga originadas por la mayor o menor velocidad de escurrimiento.

Finalmente se puede concluir que en la estructura geológica existen tres aspectos importantes: la temperatura de la caldera natural, su presión, y su capacidad.

El sistema hidrológico de El Tatio lo constituyen, las aguas meteóricas que caen en el altiplano y que fluyen subterráneamente, cruzando en cierto momento la cadena de volcanes, donde se estima interceptan el flujo calórico proveniente de mayor profundidad para almacenarse en una estructura geológica cuyo límite oeste está constituido por una instruc-

ción ígnea antigua, llamada en la zona sur "serranías de Tucle", y hacia el norte "Lomas Lucero". El punto de encuentro, justo dentro del valle de las manifestaciones termal, es el centro Copacoya.

La estructura geológica no es curada totalmente y permite filtraciones hacia la superficie, así se explican los geyser, fumarolas, pozas de barro y agua y las filtraciones subterráneas, hacia el norte, a través de la llamada "Falla de los Geysers".

Convenio Gobierno de Chile - Naciones Unidas

En enero de 1967 se firmó en Santiago un Convenio entre el Gobierno de Chile y el Fondo Especial de las Naciones Unidas (PNUD). En este instrumento se acordó prospectar los recursos geotérmicos de la provincia de Tarapacá, hoy I Región y provincia de Antofagasta, hoy II Región, en un área de 108.000 Km² y que se extiende desde el límite de Chile hasta la planicie desértica ($69^{\circ} 30'$).

El convenio de la referencia tuvo como objetivo probar la existencia de recursos geotérmicos en la zona mencionada y que permitiese a Chile asegurar una inversión que permitiera explotar en forma comercial estos recursos.

Este convenio terminó el año 1974, y al suscrito le correspondió formar parte del equipo de la contraparte chilena, representada por Conicyt y autoridades de Corfo y por el PNUD, su representante Gerardo Eboli.

Todos los antecedentes de las prospecciones, incluyendo un estudio de factibilidad técnico económico fue entregado a Corfo en el año 1975.

Fue así, como desde la fecha indicada (1979) la tuición y desarrollo del proyecto quedó bajo la responsabilidad para concretar la realidad técnica-económica de la utilización de los recursos geotérmicos, a la contraparte chilena, representada por Corfo.

Los resultados de este Proyecto, se pueden resumir como sigue:

1°. Se prospectó la zona de El Tatio, II Región y Puchuldiza y Suriri, I Región.

2°. Los estudios más completos fueron en la zona de El Tatio, extendiéndose los estudios explorativos al sur de El Tatio, que incluye la zona del volcán Putana, que forma parte de la hoya hidrográfica de El Tatio y que se presume es muy promisorio en cuanto a la factibilidad de ubicar ricos yacimientos de vapor geotérmico, susceptible de transformarlos en energía eléctrica y subproductos, entre ellos, el agua.

3°. El convenio también estableció la obligación de la formación de personal técnico, tanto en la perforación de pozos como en la técnica de ubicación de yacimientos geotérmicos, objetivo que fue cumplido cabalmente.

4°. Este convenio, en su primera fase, presentó resultados concretos probando la existencia de energía geotérmica suficiente, para concluir que es factible una central de 25 MW, que generaría energía suficiente para satisfacer las necesidades energéticas del Salar de Atacama y la zona de San Pedro y alrededores. Esto implica que el factor limitante de agua y energía de la zona se vería fuertemente impulsado por los recursos energéticos geotérmicos a la luz de los estudios técnicos y tecnología disponible en el mundo. Es así como se obtendría energía barata en relación a aquellas de origen de hidrocarburos y termonuclear. El futuro desarrollo de esta energía se vería complementado con las proyecciones petroleras y mineras del sector.

5°. Los estudios de factibilidad técnico-económico de Naciones Unidas y por otra parte, otro estudio de factibilidad que el suscrito realizó con un equipo de ingenieros de alta competencia para Codelco el año 1974, nos dieron como resultado que es factible técnica y económica la construcción de una central de 25 MW.

Como antecedentes concretos de estos estudios se partió con la información de la perforación de siete pozos, en una zona de 1 Km² de superficie comparada con los 28 Km² que forma el campo geotérmico de El Tatio. Además de los estudios geofísicos y químicos y de otra naturaleza disponibles, constituyendo la

base para evaluar el potencial geotérmico de Tatio.

De estas informaciones concluimos:

5.1. Que el proyecto de explotación de El Tatio, probó la existencia práctica, en su primera fase la existencia real de 16,6 MW de un total de siete pozos perforados.

5.2. Que de estos siete pozos, solamente 2 dieron resultados por encima de un promedio mundial y uno de ellos tiene un promedio inferior. Los restantes (4) sólo uno está perdido porque en su hoyadura se encontró una falla geológica. El saldo (3) puede recuperarse con técnicas que hoy ya son de dominio de los especialistas.

Es así como recuperando los pozos existentes (3) ya con los actuales en producción normal, obteniendo un potencial energético disponible de 25 MW.

Este bloque de energía, es económica como primera fase de explotación comercial de El Tatio.

Capacidad de Producción de Yacimiento El Tatio

Los valores de descarga calórica natural, estimada por los especialistas, es del orden de 58.500 K Cal/seg para El Tatio. Para efectos comparativos se listan descargas naturales y potencia instalada en otros países.

Podemos decir en propiedad, que una planta de 25 MW en El Tatio, sería el mínimo de capacidad instalada.

Si tomamos el valor de caudal natural dado por Navarro de 450 lt/seg, con temperatura de 250° C (Entalpía = 467 BTU/Lb) es posible cuantificar una potencia del orden de 39 MW.

En resumen, podemos concluir que el campo geotérmico de El Tatio es un yacimiento de agua caliente presurizada que está contenida en dos formaciones geológicas funda-

mentales (Ignimbrita y Volcánicas del Río Salado).

Su capacidad de producción natural es del orden de los 39 MW (450 lts/seg de agua de 250° C) y su reserva de agua caliente almacenada es de 93×10^{10} lbs.

Para una Central Geotermoeléctrica de 25 MW, la vida útil mínima estimada del campo, sin considerar recarga ni evolución entálpica, es de 36 años para un factor de carga de 100% y de sobre 42 años para uno de 85%.

Vida útil de un pozo de Producción

La vida útil de un pozo de producción depende:

- Del vaciamiento del campo.
- Del ritmo de depositación de sales en las vecindades del pozo.
- Del ritmo de depositación de sales en las tuberías del pozo.

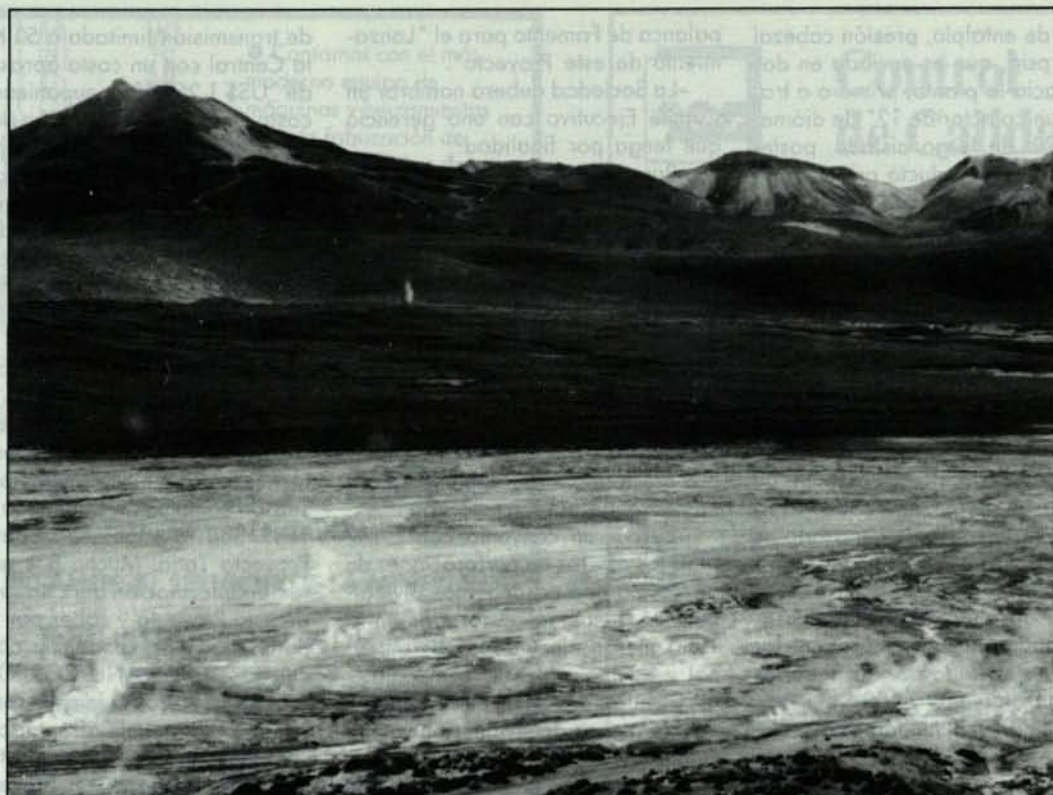
Vaciamiento del campo

Se refiere al tiempo que demora un yacimiento en agotarse.

En resumen, se puede decir:

- a) Que existe la certeza que con las actuales prospecciones y sondajes, incluidos los 6 pozos en producción se puede instalar una central de 25 M/W, siendo su capacidad natural de 35 MW, considerando 450 lt/seg como caudal natural de descarga, el cual es calentado por la fuente calórica a una temperatura de 250° C.
- b) Que las reservas de agua caliente almacenadas de alta temperatura es del orden de 93×10^{10} lbs.
- c) Que adicionalmente existe como reserva el caudal de recarga y el volumen de agua almacenada en el sistema hidrológico conectado con el yacimiento geotérmico.
- d) Que el caudal medio de producción de los pozos, para la central de 25 HW, tiene en su cabezal (WHP) entre 60-140 psig con una entalpía de 450 BT4/lb y una máxima presión de descarga del orden de 300 psig.

País	Campo	Descarga (K Cal/ seg)	Potencia Observaciones (MW)
Japón	Matskawa	5.000	20 Instalada
Japón	Otoke	20.000	12 Instalada
N. Zelandia	Wairaki	100.000	192 Instalada



Un fenómeno natural que puede contribuir al desarrollo económico de la zona norte.

Definidas las condiciones del campo geotérmico, el sondaje, la construcción de los pozos de producción se define la central geotérmica, más adecuada.

También es necesario definir las diferentes alternativas ya estudiadas si vamos a producir solamente energía eléctrica o vamos a extraer otros productos como producciones marginales verbigmia, agua y sales.

Para darnos una idea de la magnitud de las inversiones que deberán hacerse en este Central, presentamos a título informativo, una de las tantas alternativas viables en este tipo de construcción de Centrales. Ver Fig N° 5.6

CONCLUSIONES

Para poder definir la potencia de la Central, es necesario considerar, entre otros, los siguientes factores:

1. Proyección de la demanda de Energía. Es necesario fijar los criterios de los futuros clientes: Minería, Agroindustria y cuantificar su demanda.

2. Capacidad energética del campo geotérmico de El Tatio.

- 2.1 La investigación del campo geotérmico de El Tatio, realizada por el comité Geotérmico dependiente de Corfo, permite estimar con los antecedentes existentes del orden de 75 MW. La etapa ya concluida del convenio NU-CORFO, proporciona antecedentes para una central de capacidad 25 a 30 MW, que está respaldada por 2 estudios de factibilidad técnico-económica; una del convenio NU-CORFO, año 1975 y el otro de Codelco, encargado al ingeniero Raúl Alucema, año 1974.

- 2.2 Los pozos de producción perforados y probados tienen una capacidad energética que oscila entre 5 a 6,3 MW, dependiendo del ciclo de trabajo que se adopte para la central.

Los especialistas mundiales, recomiendan que el tamaño óptimo de una central geotérmica es de 55 MW.

Considerando la experiencia y el conocimiento de otros países, indica que conviene partir con una unidad para posteriormente ampliarla.

- 2.3 Como existen unidades de centrales standarizadas todos los especialistas recomiendan partir con la

construcción de una unidad del orden de 25 a 30 MW, que es el rango de una potencia que tiene importancia comercial.

- 2.4 En la elección del tamaño, será preciso o también definir, si se busca una solución de producción mixta: Electricidad y agua.

- 2.5 Un esquema que presenta una alternativa de una central de 25 MW compuesta por una turbina de alta presión y una turbina de condensación en el mismo eje, ciclo con evaporación intermedia y condensación, enfriamiento en ciclo cerrado con torre de refrigeración de convección, transmisión de dos fases del agua/vapor desde los pozos a la Central, separación en dos etapas a dos presiones diferentes, y descarga del agua salobre desde la central hasta las pilitas de decantación, se indica en un esquema tentativo de la Fig. 5.5

El estudio de esta alternativa, puesta en vía de ejemplo, es:

- a) Producción de Masa y Energía

Se consideran 7 pozos en total, de los cuales 5 mantienen la producción y 2 de reserva. Cada pozo deberá producir 515 K ph de masa, 450

BTU/lb de entalpía, presión cabezal de 132 psig, que es enviada en dos fases hacia la planta, primero a través de un colector de 12" de diámetro y 820' de largo aislado, posteriormente por un ducto principal de 30" de diámetro y 8.200' de largo aislado térmicamente.

El caudal descargado con 430 BTU/lb de entalpía (20 BTU/lb, pérdida de la cañería) contra dos separadores de alta de 42" de diámetro, operando a 108 psig.

El vapor separado es enviado a la turbina de alta. El agua obtenida del separador de alta es enviada a 2 separadores de baja, también de 42" de diámetro, operando a 15 psig. El vapor de baja separado es enviado a la turbina de baja. La presión de descarga de la central es de 5,5" Hg absolutas en el condensador. El agua obtenida del separador de baja es enviada por dos tuberías de 8" de diámetro y 100' (pies) de largo hacia 2 silenciadores permanentes.

2.6 El proyecto de El Tatio no solamente es atractivo en la producción de Electricidad, sino también en recuperar el agua de procedencia geotérmica, lo que constituye el hecho de que encontrándose ellas a alta presión y temperatura, su destilación es posible, sin recurrir excesivamente el costo del agua obtenida a partir del agua de mar.

Por lo tanto, no se deberá solamente limitarse a recuperar exclusivamente a los condensados obtenidos a la salida de la turbina de baja presión, sino a toda el agua del proceso. Sería una técnica desperdiciar una gran cantidad de agua que se estaría perdiendo con un alto contenido energético sin utilidad para nadie. Esto último es grave particularmente cuando se trata de regiones desérticas y cualquier tipo de actividad económica que se quiera desarrollar, el agua y la energía constituyen parámetros relevantes.

2.7 Un programa tentativo sucinto para desarchivar el Proyecto de El Tatio sería el siguiente:

—Formar en forma definitiva una Sociedad Mixta entre el Sector Minero de la zona, los actuales accionistas de la Sociedad El Tatio y CORFO, siendo esta última institución la

palanca de Fomento para el "Lanzamiento de este Proyecto".

—La Sociedad deberá nombrar un Comité Ejecutivo con una gerencia que tenga por finalidad:

—Buscar los Fondos de Inversión y poner Proyecto en marcha. Este proyecto, tendría por ejemplo a las etapas de concreción indicadas en el cronograma de la Fig.

—Buscar un convenio con algún Instituto de Investigación o universidades para efectuar pruebas e investigaciones complementarias del proyecto, especialmente lo relacionado con los gases no condensables que afectarían las turbinas y la planta anexa desaladora de agua.

—Buscar un convenio con ENAP para los efectos de perforaciones de pozos, porque no debemos olvidar, que los pozos ya perforados en El Tatio fueron ejecutados por personal y equipos de esta compañía.

—Recuperar con técnicas adecuadas tres pozos de producción ya ejecutados.

—Recuperar, si es posible los equipos de perforación empleados en El Tatio en el convenio NU-CORFO y/o su reemplazo colocando una orden por estos materiales, en el mercado mundial.

—Financiar los gastos mínimos de operación del antiguo Comité Geotérmico de CORFO para continuar con los estudios básicos y experimentales complementario del Proyecto y procurando en la formación del personal calificado de la Central y de la Investigación Básica.

Las tareas indicadas son las indispensables y existen muchas otras, tan importantes como las indicadas someramente. No debemos olvidar que estamos trabajando en un Proyecto único en el mundo. La explotación de un recurso a más de 400 metros sobre el nivel del mar y además pretendemos extraer agua dulce.

2.8 Costos de Inversión

Los costos estimados de este proyecto serían del orden de US\$ 30.000.000, y que se incluye la infraestructura de pozos, la central, la subestación eléctrica y las obras civiles de la central.

En el cálculo de la inversión estimada se ha considerado una línea

de transmisión limitada a 50 Km. de la Central con un costo aproximado de US\$ 1.250.000, suponiendo un costo de US\$ 25.000 por Km de línea de transmisión de 110 kv y si se incluye una subestación de bajada de 110 kv a 23 kv con sus correspondientes estructuras, equipos de protección, alimentadores y obras civiles de dicha subestación, sería esta inversión del orden de US\$ 1.000.000.

Todas estas cifras son indicativas, ellas han sido ponderadas de los estudios de factibilidad existentes a nivel del año 1974 y por supuesto la tecnología y el costo de equipos han sufrido cambios de esa época al año 1989. Son 15 años que se detuvo el Proyecto Tatio. Mucho nos gustaría recibir información del Estado actual de este Proyecto y saber por qué se perdió la rica experiencia obtenida con el convenio NU-CORFO. Será que nuestra propia idiosincrasia nos conlleva solamente afrontar proyectos monumentales y el Proyecto de El Tatio solamente es un Proyecto de soñadores. Acaso nuestro ingenio no nos permite extraer de las entrañas de la tierra esa energía dormida para transformarla en Dinámica transformando una tierra desértica en oasis, verde y apagando la sed de sus habitantes con agua libre de contaminantes.

La respuesta a este viejo sueño de muchos, para transformarlo en realidad depende de Ud., estimado lector.

La revista de la Sociedad Nacional de Minería, pone en vitrina un Proyecto, que a nuestro juicio, es VIABLE y de imprevisibles Proyecciones hacia el futuro. Ojalá que en los albores del siglo 21, tengamos energía barata, libre de interrupciones, y en forma permanente. Así consideramos que estamos haciendo Patria, porque nos preocupa que nuestros recursos naturales se exploten para bien de todos, mejorando la calidad de vida de ese sector de habitantes al Altiplano.

Finalmente, permítasenos hacer un desafío, haciendo de este reportaje una alegoría, diciendo que **El Tatio es como aquella ánfora sumergida que sale a flote para hacer florecer una zona rica en minerales, energía y sales preciosas ¿y por qué no como Cigro-industria?**