



Ingeniería Industrial

ISSN: 1025-9929

fondo_ed@ulima.edu.pe

Universidad de Lima

Perú

Robilliard Chiozza, Claudine
Generación de electricidad a partir de energía geotérmica
Ingeniería Industrial, núm. 27, 2009, pp. 185-205
Universidad de Lima
Lima, Perú

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=337428493011>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Proyectos empresariales industriales

Generación de electricidad a partir de energía geotérmica

Claudine Robilliard Chiozza

Ingeniería Industrial n° 27, 2009, ISSN 1025-9929, pp. 185-205

RESUMEN: Por siglos, los recursos geotérmicos han sido utilizados por diferentes civilizaciones, principalmente para baños calientes minerales, tratamientos y otros fines medicinales. En 1904, los italianos fueron los primeros en usar el vapor geotérmico para generar electricidad. Actualmente, muchos países aprovechan sus recursos geotermales, siendo Estados Unidos y Filipinas los mayores productores de electricidad a partir de energía geotérmica. El Perú cuenta con potencial de generación eléctrica geotérmica. Este proyecto plantea la instalación de una central en una zona geotérmica rural de Tacna denominada Borateras, en el sector Río Maure.

Palabras clave: generación / geotérmica / geothermal / energía / electricidad

Geothermal power generation

ABSTRACT: For centuries, diverse civilizations around the world have used geothermal resources mainly for medicinal purposes, such as mineral hot baths and hydrothermal therapy. In 1904, Italy was the first country to use geothermal steam to generate electricity. Nowadays, several countries benefit from using geothermal resources, being U.S. and Philippines the main producers of geothermal power. Peru has geothermal power generation potential. This project presents the installation of a power plant in Borateras, Río Maure, a geothermal zone located in Tacna.

Keywords: generation / geothermal / energy / electricity

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto estudia la implementación de una central de generación eléctrica a partir de energía geotérmica. Se formula y evalúa la idea del negocio determinándose la viabilidad técnica y económica del proyecto, estableciendo preliminarmente la posibilidad de llevarlo a la práctica.

La iniciativa por desarrollar este tema se generó a partir de la preocupación mundial actual por la búsqueda de energías alternativas limpias y renovables, para reemplazar las fuentes de energía tradicionales, contaminantes y no renovables.

En cuanto a la realidad nacional peruana, durante el año 2008 se declaró de interés nacional el desarrollo de nueva generación eléctrica mediante el uso de los Recursos Energéticos Renovables (RER), mediante el Decreto Legislativo 1002 del 2 de mayo del 2008. Se fomenta el uso de los RER, recursos energéticos tales como la biomasa, el eólico, el solar, el geotérmico y el mareomotriz.

La energía geotérmica es el calor que proviene de las capas internas de la tierra. Esta puede ser aprovechada por medio de pozos de extracción del agua geotermal similares a aquellos utilizados en las explotaciones petroleras. Dicha energía puede ser utilizada con diversos fines, como la calefacción de los hogares, la acuicultura, la generación eléctrica, entre otros.

Desde hace siglos, los recursos geotérmicos han sido utilizados principalmente para baños calientes minerales, tratamientos y otros fines medicinales en diversas regiones del mundo. Los italianos, en 1904, fueron los primeros en usar el vapor geotérmico para generar electricidad, con un sistema de 5 kilowatts, en un pueblo llamado Larderello, donde la energía eléctrica de origen geotermal se sigue obteniendo hoy en día.

En la actualidad, muchos países han seguido esta tendencia, aprovechando sus recursos geotermiales. Estados Unidos y las Filipinas son los mayores productores de electricidad a partir de la energía geotérmica. Sus instalaciones representan un 30% y un 20% de la capacidad de generación geotérmica instalada total (aproximadamente 10 GW en el 2007), respectivamente.

El Perú cuenta con potencial de generación eléctrica aprovechando la energía geotérmica presente en su territorio. Las zonas con mayor potencial se encuentran en las laderas de la cordillera de los Andes, especialmente en la zona sur del país.

Este proyecto plantea la instalación de la planta en una zona geotérmica rural de Tacna llamada Borateras, en el sector Río Maure. Existe demanda para la electricidad generada; el cliente principal inicial podría ser la distribuidora local Electrosur S.A.

La tecnología seleccionada es la generación eléctrica con una turbina de vapor con condensación y la planta tendría una capacidad instalada de potencia efectiva de 10 MW.

2. DISPONIBILIDAD DE INSUMOS

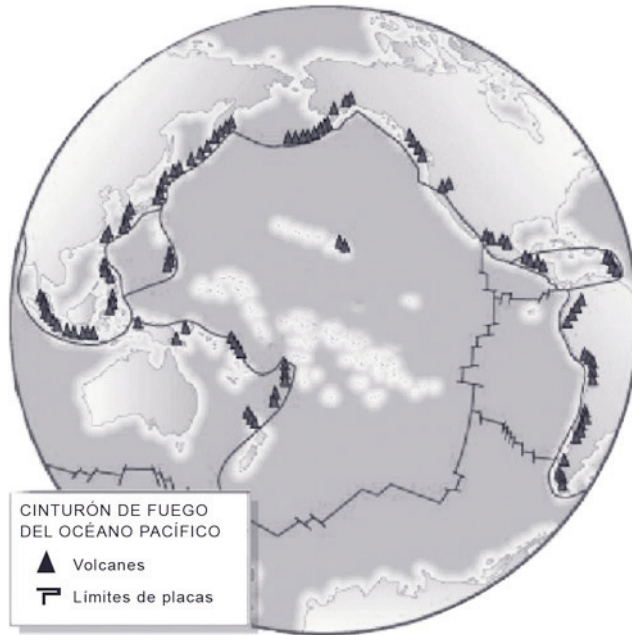
2.1 La energía geotérmica

En general, la palabra geotermia se refiere a la energía térmica natural existente en el interior de la Tierra. En la práctica, se le denomina así al estudio y utilización de la energía térmica que es transportada a través de la roca o de fluidos; se desplaza desde el interior de la corteza terrestre hacia sus niveles superficiales, dando origen a los sistemas geotérmicos.

El origen de los sistemas geotérmicos está relacionado con el movimiento de las placas tectónicas oceánicas y continentales, las cuales al chocar o separarse constituyen regiones geológicamente activas en las cuales se presentan los fenómenos de subducción de placas o de placas divergentes.

En el caso del Perú, nuestro territorio se encuentra sobre el Círculo de Fuego del Pacífico, región caracterizada por el choque y separación de placas tectónicas, que originan sistemas geotérmicos.

Imagen 1
Círculo de fuego del Pacífico



Fuente: Kalipedia.

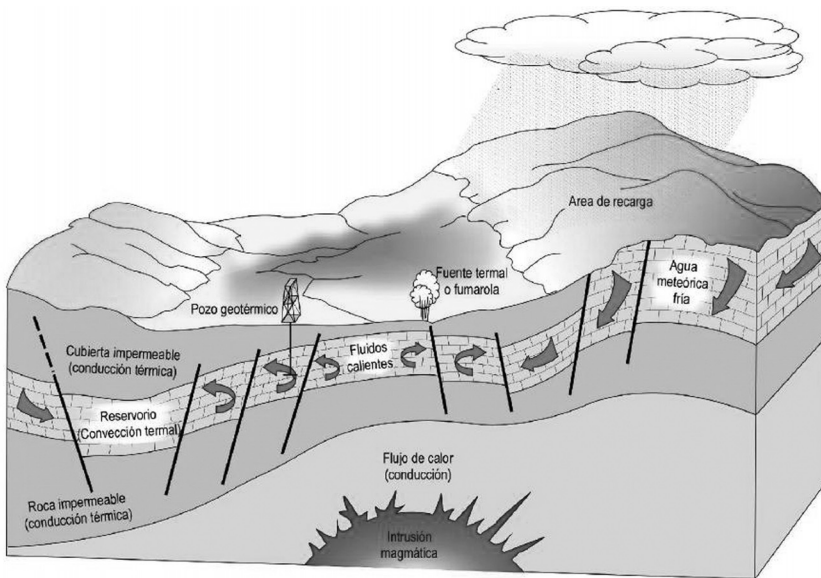
2.2 Sistemas geotermales

Un sistema geotérmico está constituido por tres elementos principales: una fuente de calor, un reservorio y un fluido, el cual es el medio que transfiere el calor. La fuente de calor puede ser tanto una intrusión magmática a muy alta temperatura ($> 600^{\circ}\text{C}$), emplazada a profundidades relativamente pequeñas (5-10 km) o en sistemas de baja temperatura.

El reservorio es un volumen de rocas calientes permeables del cual los fluidos circulantes extraen el calor. Generalmente el reservorio está cubierto por rocas impermeables y se encuentra conectado a un área de recarga superficial a través de la cual el agua meteórica puede reemplazar los fluidos que emergen del reservorio a través de las fuentes termales o que son extraídos mediante pozos.

El fluido geotermal es agua en la mayoría de los casos de origen meteórico, ya sea en fase líquida o en fase gaseosa, dependiendo de su temperatura y presión. La figura que se muestra a continuación es una representación simplificada de un sistema geotérmico ideal.

Imagen 2
Sistema geotérmico ideal



Fuente: Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR, Pisa, Italia.

2.3 Potencialidad del recurso en el Perú

El Perú posee unas 300 manifestaciones de aguas termales de entre 49°C y 89°C, situadas a lo largo de la cordillera occidental y, en menor número, en los valles intraandinos y la zona oriental, que son consideradas aptas solo para el calentamiento de agua y calefacción.

Existen opiniones diversas sobre el potencial geotérmico del Perú expresadas por diferentes instituciones internacionales en las últimas décadas. Según datos del Geothermal Energy Association, en el país

existe un potencial de generación eléctrica a costo moderado de 1.000 MW. Por otro lado, en 1999 se publicó el informe “Database of Geothermal Resources in Latin American & the Caribbean”, elaborado para Sandia National Laboratories, que recopila información de los recursos geotermales de Latinoamérica y el Caribe. Este informe estima que el Perú cuenta con un potencial geotérmico de generación eléctrica de 2.990 MW.

En este mismo estudio se determina que en la región Tacna, específicamente en Borateras, Río Maure, existe un potencial geotérmico de por lo menos 5 MW, que con una adecuada explotación podría alcanzar varias decenas de megavatios más. A su vez, se realizaron estudios preliminares en dicha región con la cooperación del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). La visita del experto internacional doctor Truesdell, de acuerdo con los avances obtenidos del estudio, afirmó que se podría contar con un alto margen de seguridad, con un potencial geotermal para la instalación de una planta geotérmica de 5 a 10 MW en Borateras.

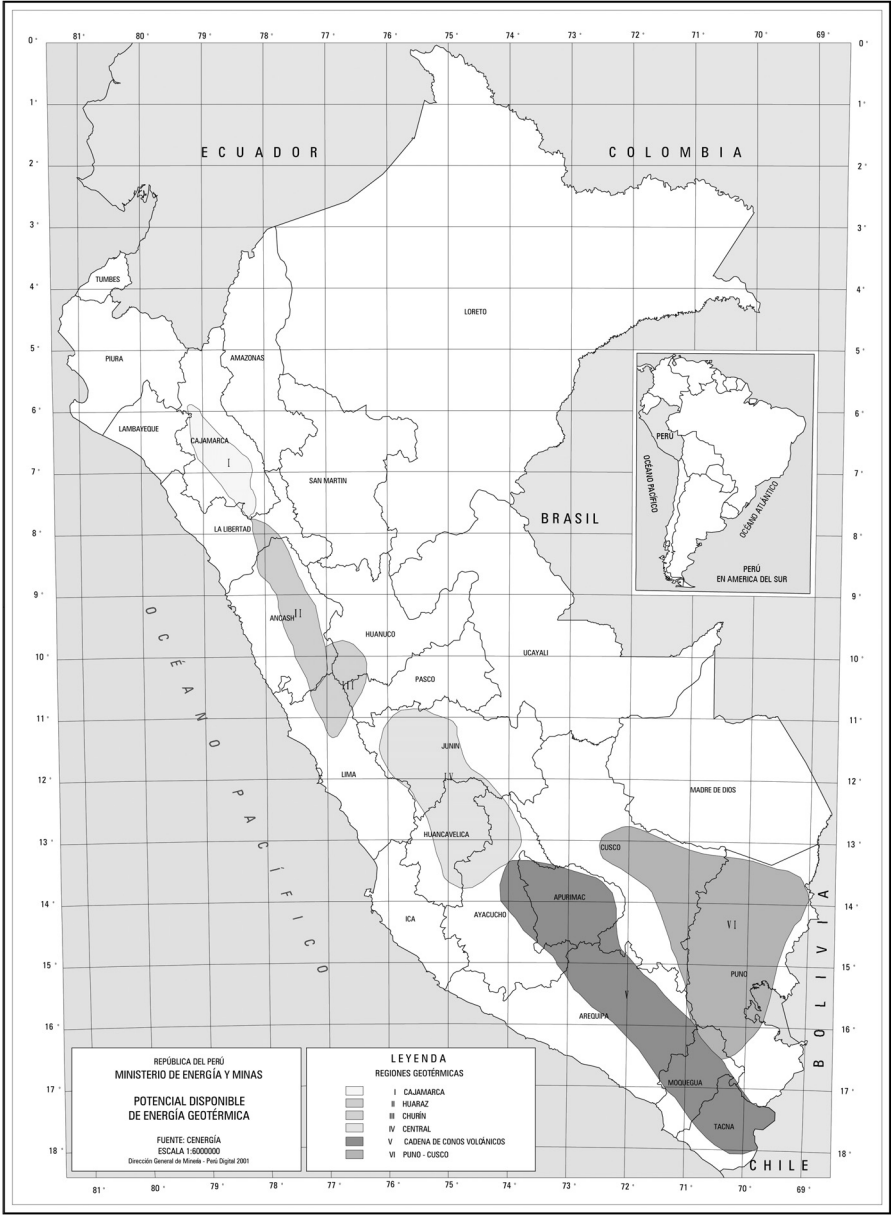
3. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

3.1 Análisis de macrolocalización

De las seis regiones geotermales del Perú, establecidas por el Ministerio de Energía y Minas (MEM), se seleccionó la más apta para el proyecto, teniendo en cuenta que la temperatura y el caudal de la fuente geotermal son los factores esenciales para la selección macro de la localización de la planta. Ello se debe a que estos dos parámetros van a determinar que la generación de electricidad sea posible y rentable.

Por lo tanto, el análisis de macrolocalización indica que la región V, Cadena de Conos Volcánicos, con las mayores temperaturas de reservorio, de entre 45°C y 190°C, es la más apta para el desarrollo del proyecto de generación eléctrica, dado que cuenta con el mayor potencial energético.

Mapa 1
Potencial disponible de energía geotérmica por regiones



Fuente: Ministerio de Energía y Minas y Centro de Conservación de Energía y del Ambiente.

3.2 Análisis de microlocalización

Al igual que en el análisis de macrolocalización, los factores cruciales son la temperatura del reservorio y el potencial de generación eléctrica. Por ello, para iniciar la evaluación se seleccionaron las zonas de la región V, Cadena de Conos Volcánicos, que cuentan con las mejores condiciones en esos dos aspectos.

Cuadro 1
Zonas seleccionadas de la región V

Zonas geotérmicas	Temp. de reservorio (°C)	Potencial (MW)
I. Borateras (lote Challapalca)	204-240	5-10 (*)
II. Calacoa (lote Calacoa)	180-190	(**)
III. Calientes (lote Tutupaca)	180-240	5
IV. Callazas (Lote Tutupaca)	180-240	(**)
V. Chivay (Lote Arequipa)	170-190	2-4

(*) Inicialmente (**) No estimado
Elaboración propia.

Se realizó un análisis de microlocalización utilizando el método de ‘ránking de factores’. Se analizaron múltiples factores, siendo los determinantes los siguientes:

Cuadro 2
Factores determinantes para el ránking

Factores de microlocalización	
A	Potencial de generación eléctrica
B	Cercanía al sistema interconectado
C	Servicio de transporte y flete
D	Disponibilidad de mano de obra
E	Riesgo sísmico y volcánico

Elaboración propia.

Como resultado de la aplicación del método, se concluyó que los factores de mayor importancia son el potencial de generación eléctrica y la cercanía al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), y se determinó que la Zona I (Borateras) es la más apta para el proyecto, dado que cuenta con las mejores calificaciones.

4. ESTUDIO DE MERCADO

4.1 Definición del producto

El producto de la planta es la energía eléctrica generada a partir del aprovechamiento de la energía geotérmica. La electricidad es la forma de energía más utilizada en la actualidad, es de primera necesidad y perfectamente reemplazable o sustituible por electricidad de las mismas características, generada a partir de otra fuente energética.

En el caso particular de la planta de generación eléctrica a partir de energía geotérmica, se cuenta con varias ventajas, entre ellas: la confiabilidad, la independencia, el hecho de que es relativamente inagotable, la menor emisión de contaminantes, el no depender del costo de mercado de los hidrocarburos, la flexibilidad para el traslado, el ocupar un área menor y la contribución al desarrollo de zonas rurales.

Adicionalmente, existe la posibilidad de utilizar las aguas residuales calientes como forma de energía para otros procesos.

4.2 Demanda para el proyecto

Se efectuó un análisis del sector eléctrico en la zona de influencia del proyecto (departamentos de Moquegua y Tacna). Se estimó que los potenciales clientes del proyecto, debido a su alto consumo eléctrico, podrían ser la minera Southern Perú Copper Corporation (SPCC) y la distribuidora local de ambos departamentos: Electrosur S.A. Debido a que SPCC cuenta con una relación comercial a largo plazo con otra generadora eléctrica, se eligió como cliente potencial a Electrosur S.A.

Se espera que el proyecto genere un aumento en la demanda de Electrosur y solo reemplace parte de su consumo actual (253 GW.h), representando aproximadamente un 28% del requerimiento eléctrico de la distribuidora.

5. INGENIERÍA DEL PROYECTO

5.1 Tecnologías existentes y procesos de producción

Dependiendo de las características del recurso geotérmico, la generación de electricidad se realiza principalmente mediante:

a) Turbinas de vapor convencionales

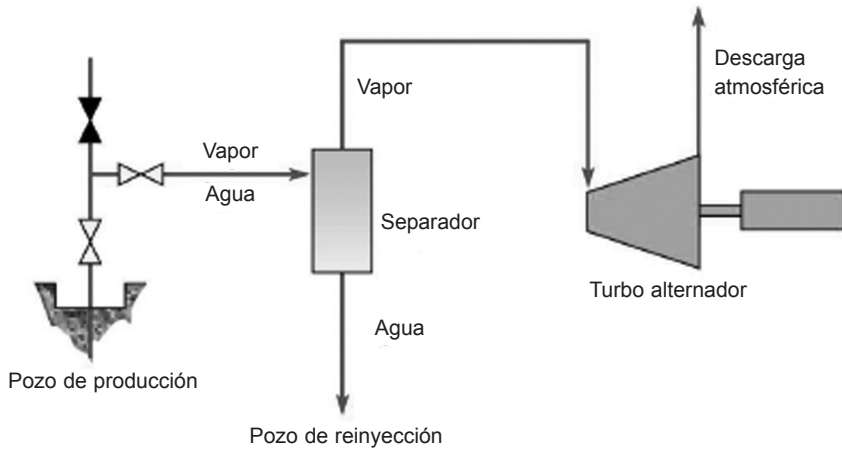
Las turbinas de vapor convencionales requieren fluidos a temperaturas de por lo menos 150°C y pueden tener descarga atmosférica o descarga de condensación.

- Las turbinas con escape atmosférico:
 - Son más simples y de menor costo.
 - El consumo de vapor (a la misma presión de ingreso) por kilowatt-hora producido es casi el doble comparado con las unidades de condensación.
 - Son de rápida construcción e instalación.
 - Usualmente disponibles en tamaños pequeños (2,5-5 MW).
- Las unidades de condensación:
 - Cuentan con más equipos auxiliares, más complejos.
 - Requieren el doble del tiempo para su construcción e instalación.
 - El consumo específico de vapor de las unidades de condensación se aproxima a la mitad de las unidades de descarga atmosférica.
 - Tamaños de entre 55-60 MW de capacidad son muy comunes, y recientemente se han construido e instalado plantas de 110 MW.

b) Plantas binarias

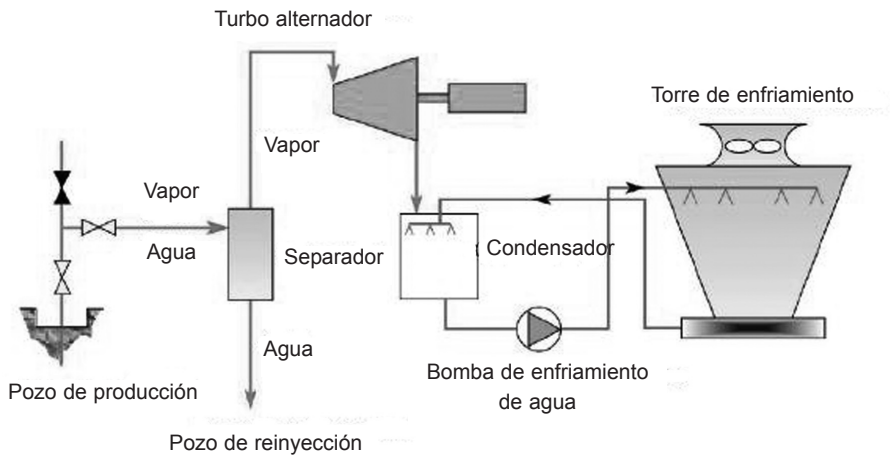
Generan electricidad a partir de fluidos de temperatura baja a media. Las plantas binarias utilizan un fluido secundario, que tiene un bajo punto de ebullición y una alta presión de vapor a bajas temperaturas, en comparación con el vapor de agua. Este sistema puede diseñarse para utilizar fluidos geotermales con un rango de temperatura entre 85°C y 170°C .

Diagrama 1
Turbina de vapor convencional con descarga atmosférica



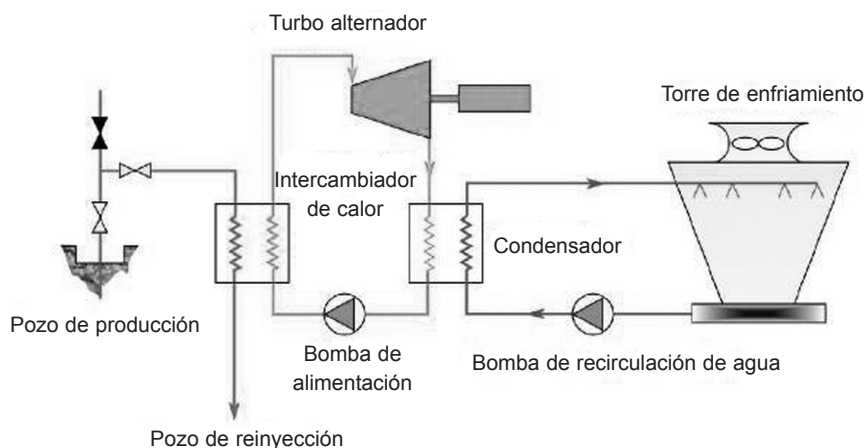
Fuente: Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR, Pisa, Italia.

Diagrama 2
Turbina de vapor convencional con unidades de condensación



Fuente: Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR, Pisa, Italia.

Diagrama 3
Turbina de vapor binaria



Fuente: Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR, Pisa, Italia.

5.2 Selección de tecnología

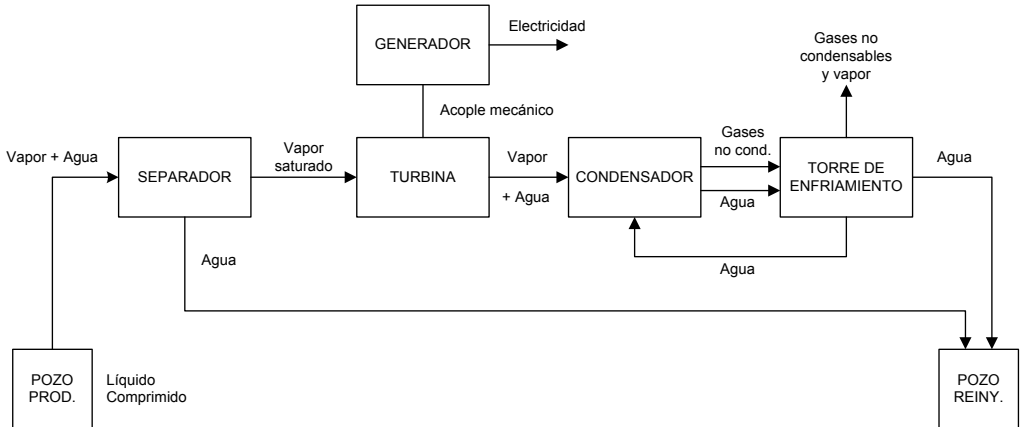
Como se explicó, la temperatura del reservorio es crucial para determinar qué tipo de tecnología se debe utilizar. En el proyecto en estudio, la temperatura de reservorio de la zona de Borateras se encuentra entre los 204°C y 240°C. Por ello, se concluye que la tecnología más adecuada es la que utiliza turbinas de vapor convencionales.

En cuanto a la decisión de utilizar sistemas de descarga atmosférica o de condensación, se cree que las más convenientes son las últimas, debido a las mencionadas ventajas de eficiencia e impacto ambiental. Al tomar esta decisión se requerirá un incremento en la inversión en la planta y una disminución en la inversión en pozos de extracción (se requiere la mitad), así como mayor tiempo de instalación.

5.3 Proceso de producción

A continuación se presenta un diagrama de bloques que muestra de manera sintética los procesos de producción que efectuará la central geotérmica.

Diagrama 4
Diagrama de bloques del proceso



Elaboración propia.

La turbina-generator tendrá una capacidad 10.500 KW, con una potencia efectiva de 10 MW, pudiéndose generar 73,44 GW.h/año (considerando una disponibilidad del 85%).

Breve descripción del proceso

La producción se inicia en el pozo productivo, donde el agua comprimida del reservorio es extraída. Para efectos de cálculo se estima que se encuentra a una temperatura de aproximadamente 240°C. Cabe resaltar que el fluido geotermal está conformado típicamente por:

- Agua.
- Minerales disueltos (arsénico, As; boro, Bo; calcio, Ca; cloro, Cl; flúor, F; litio, Li; magnesio, Mg; potasio, K; silicio, Si; sodio, Na).
- Gases no condensables (dióxido de carbono, CO₂; sulfuro de hidrógeno, H₂S(g); metano CH₄; otros en pequeñas cantidades).

El fluido es conducido por medio de tuberías hacia el separador tipo Webre,¹ equipo al cual entra tangencialmente a una temperatura de

1 DiPippo, Ronald. *Geothermal Power Plants: Principles, applications and case studies*, 2005, p. 87.

145°C y a una presión de 0,4145 MPa (4,154 bar), y donde la corriente se expande dividiéndose en vapor saturado y agua saturada. El agua saturada es dirigida al pozo de reinyección para retornar al reservorio. Una eficiente separación de las fases es importante, dado que si hubiera líquido en la corriente de vapor podría generarse erosión de las tuberías y componentes de la turbina.

El vapor saturado ingresa a la turbina a una presión de aproximadamente 4,15 bar. En la turbina, el flujo de vapor impulsa los álabes del rotor, haciéndolo girar; es decir, transformando su energía interna en energía mecánica. A continuación, el generador aprovecha la energía mecánica para generar electricidad trifásica, que es enviada a un transformador.

Los componentes de la turbina deben estar formados por materiales resistentes a la corrosión debido a la presencia de gases como el sulfuro de hidrógeno, que puede atacar el acero ordinario. Por ello, los componentes que se encuentran en el camino de vapor utilizan una aleación de acero martensítico con cromo al 12%.

Cantidades significativas de humedad van a aparecer en el camino de vapor, especialmente en las etapas de menor presión, pudiendo generar erosión en los álabes de la turbina, por lo cual se utiliza un recubrimiento de una aleación rica en cobalto para proteger los álabes.

Luego, la mezcla vapor-agua pasa al condensador de contacto directo de chorro por aerosol, donde se le disminuye la temperatura utilizando el agua de enfriamiento y se condensa en agua tibia a 50°C y una presión de 12.349 kPa (0.123 bar). El agua de enfriamiento es succionada desde la torre de enfriamiento por medio del vacío del condensador principal.

En este equipo, los gases no condensables presentes naturalmente en el fluido geotérmico (CO_2 , H_2S) son retirados por el sistema de extracción de gases no condensables.

El sistema de remoción de gases elimina los gases no condensables contenidos en el vapor desde el condensador principal. El sistema está formado por:

- Eyectores de chorro de vapor
- Condensadores
- Bomba de vacío

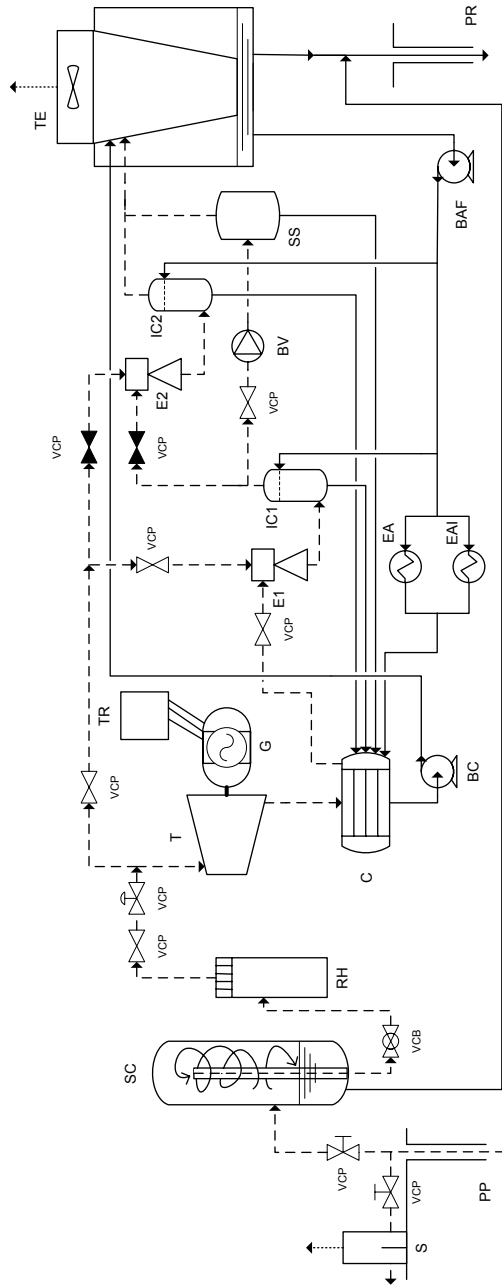
El vapor necesario para accionar los eyectores de chorro de vapor se toma de la línea principal de vapor. El drenaje de los intercondensadores es enviado al condensador principal. Los gases no condensables se difunden por el escape de las torres de enfriamiento y se descargan a la atmósfera.

El condensado es bombeado hacia las torres de enfriamiento desde el recipiente caliente del condensador. El condensado se rocía dentro de la torre donde es enfriado por aire atmosférico (aproximadamente 9°C, temperatura atmosférica media en Borateras), que es insuflado a la torre con un ventilador motorizado en el extremo superior de la torre.

El agua de salida de la torre de enfriamiento junto con el agua del separador es reinyectada al reservorio por un pozo de reinyección.

En las páginas siguientes se presentan el diagrama de flujo y la curva temperatura-entropía del proceso, donde se pueden observar los equipos principales de la planta y la termodinámica del proceso de conversión.

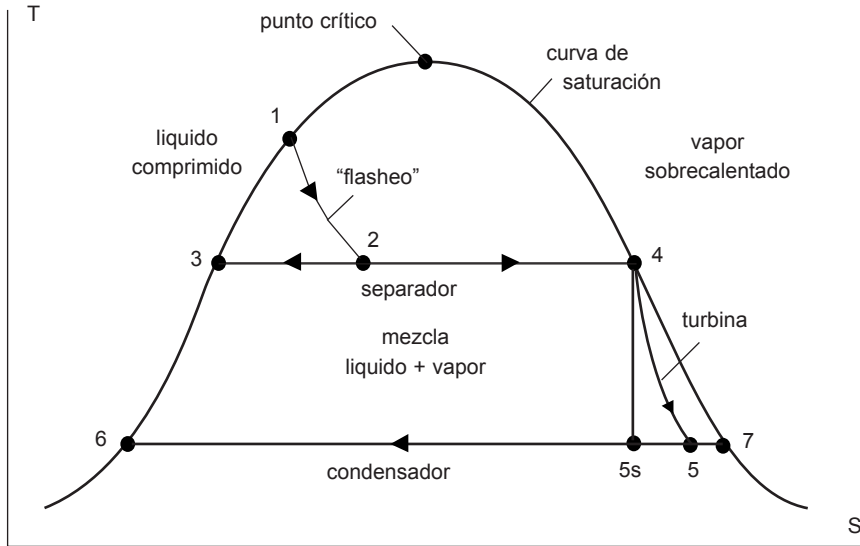
Diagrama 5
Diagrama de flujo del proceso



Leyenda	
BAF - Bomba agua fría	PR - Pozo de Reinhyección
BC - Bomba de condensados	RH - Removedor de Humedad
BV - Bomba de vacío	S - Silenciador
C - Condensador	SC - Separador ciclón
CI - Condensador Intermedio	SS - Separador Sellado
CF - Condensador Final	T - Turbina
E1- Primer Eyector	TR - Transformador
E2 - Segundo Eyector	TE - Torre de Enfriamiento
EA - Enfriador Aceite	VP - Válvulas de cabeza de pozo
EAI - Enfriador de Aire del generador	VCB - Válvula Check de Bola
G - Generador	VCP - Válvulas de Control y Parada
PP - Pozo de Producción	

Elaboración propia.

Diagrama 6
Curva temperatura-entropía del proceso



Fuente: DiPippo, Ronald. *Geothermal power plants: Principles, applications and case studies*, 2005.

6. ASPECTOS ECONÓMICO-FINANCIEROS

El proyecto de instalación de la central geotérmica de 10 MW de potencia requerirá de la siguiente inversión:

Cuadro 3
Inversión fija tangible, intangible y capital de trabajo (US\$)

Inversión fija tangible	US\$	%
Obras varias	290.000	2,7
Obras civiles	1.200.000	11,3
Maquinaria y equipo	7.500.000	70,7
Total inversión fija tangible	8.990.000	84,8

(continúa)

(continuación)

Inversión fija intangible	US\$	%
Ingeniería	1.000.000	9,4
Administración y gastos	450.000	4,2
Total inversión fija intangible	1.450.000	13,7
Capital de trabajo	US\$	%
Mano de obra (3 meses)	30.300	0,3
Administración (3 meses)	15.000	0,1
Mantenimiento (3 meses)	112.000	1,1
Imprevistos	10.000	0,1
Total capital de trabajo	167.300	1,6
Total inversión	10.607.300	100

Elaboración propia.

Se esbozaron los estados financieros del proyecto y se estimó un costo de oportunidad de los accionistas del 12%. Como resultado de la evaluación económica del proyecto se obtuvo lo siguiente:

Cuadro 4
Resultados de la evaluación económica del proyecto

Evaluación económica	
VAN (mill. US\$)	-2,95
TIR	6,1%
B/C	0,19
Periodo de recupero	no aplica

Elaboración propia.

Para evaluar financieramente el proyecto se estimó una estructura financiera inicial de 30% de aporte propio y 70% de deuda, con un préstamo de la Corporación Financiera de Desarrollo S.A. (Cofide) con una tasa efectiva anual del 3,6% y con periodo de gracia. A continuación se observan los resultados del análisis financiero:

Cuadro 5
Resultados de la evaluación financiera del proyecto

Evaluación financiera	
VAN (mill. US\$)	1,72
TIR	13,4%
B/C	1,20
Periodo de recupero	año 7

Elaboración propia.

7. CONCLUSIONES

El proyecto es técnicamente viable y comercialmente auspicioso en su estudio preliminar.

En cuanto al mercado, existe necesidad de generación eléctrica nacional para mejorar las condiciones de vida de los peruanos, especialmente en las zonas rurales, donde el proyecto se ubicaría.

La localización adecuada para el proyecto es la zona geotérmica Borateras, Río Maure (Tacna), debido a que cuenta con un alto potencial eléctrico y cercanía al SEIN, con lo cual se evitarían las pérdidas de calor y se minimizarían las distancias a los puntos de conexión eléctrica.

El tamaño de planta está restringido por la disponibilidad de insumos (10 MW de potencia instalada), que representa aproximadamente un 1% del potencial geotérmico nacional.

La instalación de una central geotérmica cuenta con ventajas ambientales, dado que utiliza una fuente renovable y más limpia que las plantas convencionales.

La tecnología seleccionada, de turbinas de vapor con unidades de condensación, requiere una mayor inversión pero logra una mayor eficiencia y menor efecto ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

- Armstead, Christopher H. *Energía geotérmica*. México D.F.: Limusa, 1989.
- Carless, Jennifer. *Energía renovable; guía de alternativas ecológicas*. México D.F.: Edamex, 1995.
- Considine, Douglas M. (ed.). *Tecnología de las energías: Solar, hidráulica, geotérmica y combustibles químicos*. México D.F.: Marcombo, 1989.
- Dickson, Mary H. y Mario Fanelli. “¿Qué es la energía geotérmica?”. Pisa: Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR, 2004 [en línea]. <<http://www.iga.lit.pl/files-32.html/>>. [Consulta: 13 de junio del 2009.]
- DiPippo, Ronald. *Geothermal power plants: Principles, applications and case studies*. Londres: Elsevier, 2005.
- Instituto Cuánto. *El medio ambiente en el Perú, año 2002*. Lima: DESA, 2003.
- Ley N° 26848. *Ley Orgánica de Recursos Geotérmicos*, 23 de julio de 1997.
- Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Electricidad. *Ley de concesiones eléctricas y su Reglamento*. Decreto Ley 25844, Decreto Supremo 009-93-EM, actualizado a mayo del 2006.
- Peñaloza Rusconi, Dominique. “Estudio preliminar para la instalación de una planta de generación eléctrica a partir del uso de la energía geotérmica”. Tesis para optar el título de ingeniero industrial. Lima: Universidad de Lima, 1987.
- Robilliard Chiozza, Claudine. “Estudio preliminar para la implementación de una planta de generación de electricidad a partir de energía geotérmica”. Trabajo de investigación efectuado en los cursos de Seminario de Investigación I y Seminario de Investigación II. Código de clasificación BR/06195/. Lima: Universidad de Lima, 2006.

Fuentes electrónicas

- Centro de Conservación de Energía y del Ambiente. <<http://www.cenergia.org.pe/>>.

Geothermal Energy Association. <<http://www.geo-energy.org>>.

Geothermal Education Office de los Estados Unidos. <<http://geothermal.marin.org>>.

Instituto Geofísico del Perú. <<http://www.igp.gob.pe>>.

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. <<http://www.ingemmet.gob.pe>>.

International Geothermal Association. <<http://www.geothermal-energy.org>>.

Ministerio de Energía y Minas. <<http://www.minem.gob.pe>>.

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. <<http://www.osinerg.gob.pe>>.