

11º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÔMICA DO USO DE ENERGIA GEOTÉRMICA NOS ANDES COLOMBIANOS

AUTORES:

Antonia Andreza Mesquita Muniz, Vando J. Gomes¹, William Guerrero^{2,3,4}, José Leao De Luna¹, Laura Estefania Guerrero-Martin¹, Camilo Andrés Guerrero-Martin¹, Emanuele Dutra Valente Duarte¹

INSTITUIÇÃO:

¹ LOTEP - Laboratório de Operações e Tecnologias Energéticas Aplicadas na Indústria do Petróleo, Faculty of Petroleum Engineering, Federal University of Pará, Salinópolis, Brazil

² Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA, Bogotá, Colombia

³ Fundación Universitaria San José, Bogotá, Colombia

⁴ Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia

AValiação TéCNica e EconôMica DO USO DE ENERGIA GEOTéRMica NOS ANDES COLOMBIANOS

Resumo

A energia geotérmica é a energia térmica gerada e armazenada na Terra. É a energia que determina a temperatura da matéria. A energia geotérmica da Terra se origina da formação original do planeta (20%) e o decaimento radioativo dos minerais (80%). O calor que é usado para a energia geotérmica pode ser armazenado nas profundezas da Terra, além disto os recursos geotérmicos são imunes ao clima e às estações ou variações e podem produzir uma carga de base (continuamente) ou se adaptar à demanda de energia. Deste modo, esse artigo tem por objetivo fundamental avaliar a capacidade técnica e econômica da geração de energia elétrica com o uso do recurso geotérmico num local perto dos Andes Colombianos. O trabalho é feito no software SAM (System Advisor Model), inicialmente foi feita uma avaliação das condições ambientais da região, posteriormente, foi necessário avaliar o recurso geotérmico e os parâmetros do reservatório. Subsequentemente foi dimensionada a usina e o equipamento de geração, assim como o bloco de carga e o bloco de esfriamento da usina. Finalmente, foi avaliado economicamente a través do LCOE (Custo nivelado de energia) a viabilidade financeira do uso de energia geotérmica nesta região. Esse trabalho é fundamental para o desenvolvimento de projetos em países andinos (Venezuela, Colômbia, Peru, Equador, Bolívia e Chile), além de apresentar argumentos para o debate energético na América Latina e o papel do Engenheiro de Petróleo na transição energética mundial.

Palavras-chave: Energia geotérmica, transição energética, viabilidade econômica, software SAM.

Abstract

Geothermal energy is the thermal energy generated and stored in the Earth. It is energy that determines the temperature of matter. The Earth's geothermal energy originates from the original formation of the planet (20%) and the radioactive decay of minerals (80%). The heat that is used for geothermal energy can be stored deep within the Earth, and geothermal resources are immune to weather and seasonal variations and can produce a base load (continuously) or adapt to energy demand. Thus, the fundamental objective of this paper is to evaluate the technical and economical capacity of electricity generation using geothermal resources in a location near the Colombian Andes. The work is done in SAM (System Advisor Model) software, initially an evaluation of the environmental conditions of the region was made, subsequently it was necessary to evaluate the geothermal resource and the reservoir parameters. Subsequently the power plant and the generation equipment, as well as the load block and the cooling block of the power plant were sized. Finally, the financial viability of using geothermal energy in this region was evaluated economically with LCOE (levelized cost of energy). This work is fundamental for the development of projects in Andean countries (Venezuela, Colombia, Peru, Ecuador, Bolivia and Chile). It also presents arguments for the energy debate in Latin America and the role of the petroleum engineer in the world energy transition.

Keywords: Geothermal energy, energy transition, economic feasibility, SAM software.

1 Introdução

Vivemos um momento onde o uso das energias renováveis é cada vez mais difundido mundialmente. A International Energy Agency (2022) aponta a urgência para que sejam aceleradas as

transições de energia limpa, principalmente devido a atual crise energética global. A energia eólica, por exemplo, tem grande potencial para reduzir a dependência do setor energético da União Europeia em relação ao gás natural da Federação Russa. Nesse cenário de instabilidade das energias advinda de combustíveis fósseis, é o momento em que países voltam seus esforços em obter energia de fontes renováveis. Quando se fala de energia renovável, podemos destacar o potencial energético que a energia geotérmica apresenta. Energia que decorre da formação original da Terra e do decaimento radioativo de minerais.

Segundo Marzolf (2014), a energia geotérmica é aquela gerada a partir do calor do interior da Terra, que é transferido para a superfície, gerando energia limpa por tempo indeterminado. Os locais mais apropriados para explorar esse calor são próximos a vulcões, onde estão localizadas rochas de altas temperaturas. Os países com melhor potencial para produzir essa energia são aqueles que estão próximos aos limites das placas tectônicas, onde o calor está mais próximo da superfície (CEGA, 2016). Assim, a Colômbia está em uma posição geográfica privilegiada e tem geologia favorável para o desenvolvimento de tal energia, devido a parte do seu território estar sobre o Círculo de Fogo do Pacífico.

Algo que destaca a energia geotérmica das demais fontes renováveis é que esta está disponível em todas as estações do ano, além disto os recursos geotérmicos são imunes ao clima e às estações ou variações climáticas e podem produzir uma carga de base (continuamente) ou se adaptar à demanda de energia. É uma fonte de energia completamente renovável e com disponibilidade ilimitada. Deste modo, esse artigo tem por objetivo fundamental avaliar a capacidade técnica e econômica da geração de energia elétrica com o uso do recurso geotérmico num local perto dos Andes Colombianos, sendo fundamental para o desenvolvimento de projetos em países andinos (Venezuela, Colômbia, Peru, Equador, Bolívia e Chile), além de apresentar argumentos para o debate energético na América Latina e o papel do Engenheiro de Petróleo na transição energética mundial.

2 Metodologia

2.1 Simulação com o SAM

O *System Advisor Model* (SAM) é um software gratuito desenvolvido pela *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) que facilita a tomada de decisões para pessoas do setor de energia renovável, pois calcula os custos totais de instalação e operação de projetos desse ramo. Dentre os muitos tipos de sistemas de energia que o SAM pode modelar, a geração de energia geotérmica é uma delas. O modelo de energia geotérmica da SAM é baseado no Modelo de Avaliação de Tecnologia de Eletricidade Geotérmica (GETEM) do Departamento de Energia dos EUA (SYSTEM ADVISOR MODEL, 2021). O GETEM é uma ferramenta baseada em Excel usada para estimar o Custo Nivelado de Energia para cenários geotérmicos definíveis.

Para a simulação, primeiramente escolhemos o campo a ser analisado, na região dos Andes Colombianos, foi selecionado o Vulcão Cerro Machín. Este vulcão fica localizado na cordilheira Central dos Andes, na zona central do círculo de fogo do Pacífico. Está localizado a uma latitude de 4° 29' N e 75° 23' W. É caracterizado como um vulcão ativo, que devido ao seu longo período de inatividade, acumulou muita pressão que é despejada toda vez que explode (PANTANO, 2020).

Para iniciar a simulação no SAM, configuramos o modelo de simulação, precisamos selecionar os dados de entrada, alimentando o sistema com as informações dos dados meteorológicos e geográficos da área analisada. Neste caso, precisamos da latitude e longitude exatas da localização, para selecionar um arquivo meteorológico que especifica as condições em que se encontram o campo geotérmico que

simulamos. Essa simulação utilizou como recurso geotérmico o recurso hidrotermal, onde as rochas têm permeabilidade suficiente, calor e água em abundância. Na tabela 1 a seguir, podemos verificar os dados da simulação no SAM,

Tabela 1 - Dados da simulação da usina geotérmica do vulcão Cerro Machín

Caracterização do recurso geotermal	
Potencial total do recurso	210 MW
Temperatura do recurso	200 °C
Profundidade do recurso	2000 m
Parâmetros do reservatório	
Largura e altura	500 e 200 m
Permeabilidade	0,05 d
Distância do poço injetor para o produtor	1400 m
Configuração da usina	
Número de poços	7
Produção bruta da usina	34853 MW
Produção líquida da usina	30000 MW
Tipo de usina	Binária
Eficiência da usina	70,00%
Modelo Power Block hora	
Eficiência de conversão de ciclo nominal	0,17
Temperatura de entrada do projeto	200 °C
Temperatura de saída do projeto	90 °C
Pressão de operação da caldeira	2 bar
Sistema de refrigeração	
Tipo de condensador	Híbrido
Temperatura ambiente do projeto	15 °C
Níveis de carga parcial do sistema de refrigeração	8

Fonte: Autor.

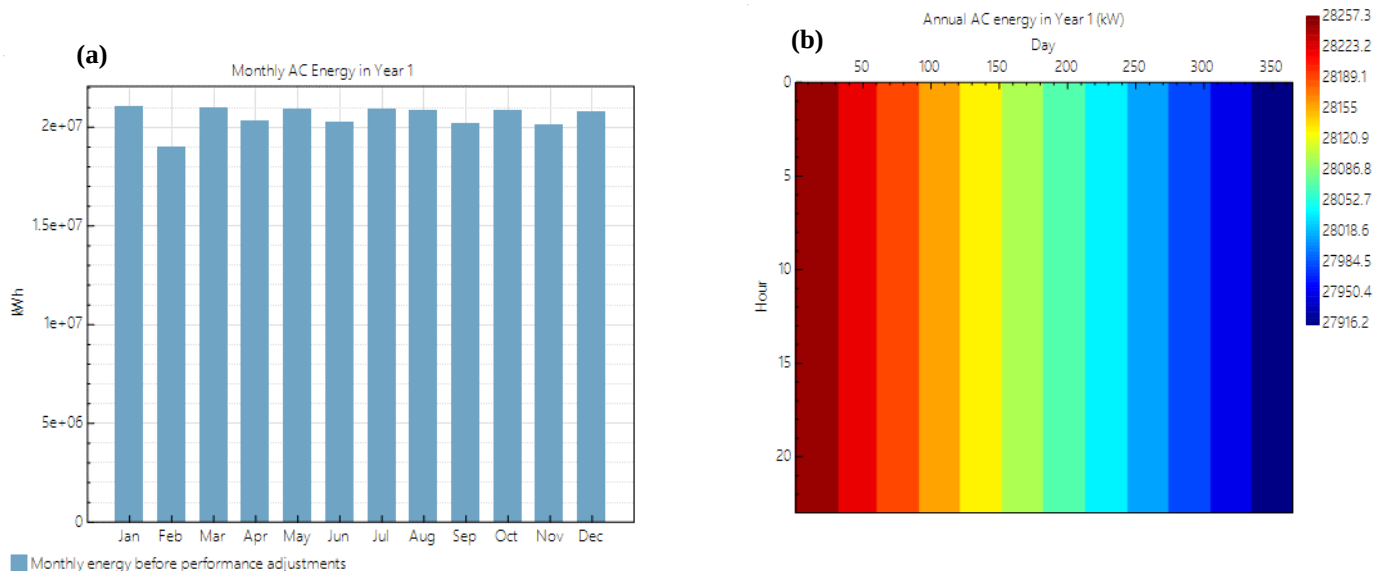
Vale ressaltar que os dados foram gerados no ambiente do SAM, para um estudo de área dos Andes Colombianos. O ambiente foi gerado com base nos dados geográficos do vulcão Cerro Machín. Alguns dados já foram propostos pelo próprio software, outros foram alterados conforme interesse dos autores. Após isso, foi feita a simulação e obtenção dos resultados para análise técnica e econômica proposta pelo trabalho.

Resultados e Discussão

Após a simulação realizada no software SAM, os dados obtidos foram avaliados economicamente a través do LCOE (Custo nivelado de energia) a viabilidade financeira do uso de energia geotérmica nesta região do Andes.

Pelos primeiros gráficos observados (Figura 1), temos que, como esperado, a usina geotérmica gera energia constante durante o ano, sofrendo alterações mínimas de produção, assim como no decorrer das horas do dia.

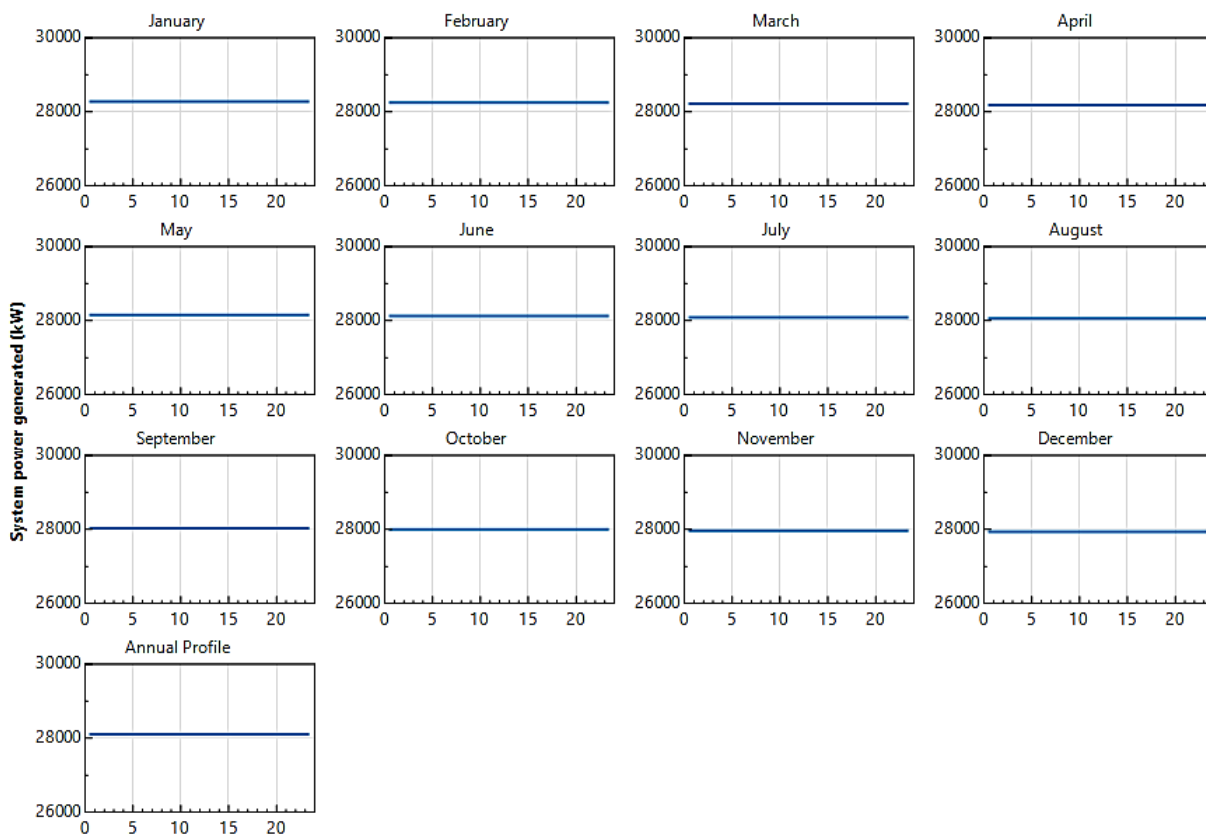
Figura 1 – Produção (a) mensal e (b) anual de energia (kW/h)



Fonte: SAM.

A produção média de energia é de aproximadamente 28000 kW, como pode ser confirmado na Figura 2, por meio dos perfis de energia gerada.

Figura 2 – Perfis de energia gerada pelo sistema



Fonte: SAM.

Agora vejamos alguns dados econômicos do projeto. Pode-se constatar um baixo custo de produção de energia. O sistema irá gerar no primeiro ano 246 GW/h de energia, a um custo de aproximadamente \$0,07 (sete centavos de dólar). Durante os 25 anos analisados, sob uma taxa de inflação de 2,5% ao ano, teremos uma taxa interna de retorno de 13% ao ano. Como já era esperado da fonte geotérmica, o decaimento de produção de energia em kW/h nos 25 anos analisados, foi de menos 2% de capacidade, assim como a queda de temperatura foi mínima

Tabela 2 – Resultados econômicos da usina

Métrica	Valor
Energia anual (1 ano)	246.035.344 kWh
Fator de capacidade (1 ano)	93,6%
LCOE Custo nivelado de energia	7,26 ¢/kWh
Custo capital	\$ 175.973.026,71
Custo operacional fixo	\$ 4.983.985,51
Dívida a prazo do projeto	60% do custo capital
Taxa de juros nominal de dívida	4%/ano
Taxa de imposto efetiva	28%/ano
Taxa de juros nominal de construção	3,5%/ano

Fonte: SAM.

Conclusões

A energia geotérmica vem como uma opção viável de energia renovável, ainda pouco explorada. Após as análises dos resultados da simulação no software SAM, podemos concluir que a energia geotérmica é uma eficiente proposta de alternativa às energias geradas a partir de combustíveis fósseis. Principalmente no caso da área estudada, o vulcão Cerro Machín, que gerou um resultado de aproximadamente 246.000.000 kW/h por ano, o que é uma produção muito boa para campos de energia geotérmica. O custo do projeto é de \$ 175.973.026,71, e uma taxa interna de retorno de 13% ao ano e um fator de capacidade de 93,6% justifica o bom investimento nessa fonte de energia renovável, que além de não sofrer com alterações climáticas durante um ano todo, também é uma fonte infinita de recurso energético.

O engenheiro de petróleo é plural, tem conhecimento técnico e acadêmico que permite a inserção nesse mercado emergente da energia limpa e renovável, visto as projeções futuras de desenvolvimento dessa área, podemos sim nos adequar e propor uma mescla de contribuições para o incremento das energias renováveis, levando conhecimentos e experiências do mercado energético.

Agradecimentos

Agradeço ao professor MSc. Camilo Andrés Guerrero-Martin pela parceria durante a realização desse trabalho e por ter sempre se mostrado amigo, dedicado e interessado na minha evolução como profissional na área. Agradeço à Universidade federal do Pará pela estrutura acadêmica disponibilizada que me permitiu concluir este trabalho. Agradeço ao Laboratório de Operações e Tecnologias Energéticas Aplicadas na Indústria do Petróleo (LOTEP). Agradeço à NREL por disponibilizar

gratuitamente a ferramenta SAM. E agradeço também aos demais responsáveis pela realização desse trabalho.

Referências Bibliográficas

BERNI, A. N. N. R. **Elaboração de um projeto de pesquisa visando a utilização de um sistema geotérmico de condicionamento de ar na região de Curitiba**. 2013. 117 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

CADENA-TRIANA, L. M. *Et al.* **Assessment of use of concentrated solar power technology for steam generation and subsequent injection in a Colombian oil field: An application of solar EOR**. DYNA, 88(217), pp. 220-227, April - June, 2021.

CEGA - CENTRO DE EXCELENCIA EN GEOTERMIA DE LOS ANDES. **¿Cómo funciona una planta geotérmica?** 2016. In: Youtube: **FCFM-UChile TV**. Vídeo (2:32 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ZLY35JgQgQU>. Acesso em: 03 out. 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, **Renewable Energy Market Update: Outlook for 2022 and 2023**. 2022. França. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewable-energy-market-update-may-2022>. Acesso em: 06 out. 2022.

MARZOLF, N. C. **Emprendimiento de la energía geotérmica em Colombia**. 2014. Banco Interamericano de Desarrollo Convenio ISAGEN – BID/JC. Disponível em: <http://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/6558/Energia%20Geotermica%20Colombia%202017-1-14finalweb.pdf?sequence=1>. Acesso em: 02 out. 2022.

MINES, G. L. **GETEM User Manual**. The INL is a U.S. Department of Energy National Laboratory operated by Battelle Energy Alliance, INL/EXT-16-38751, 1 ed., 1 2016.

PANTANO, H. E. R. **Simulación Técnico-económica de um Sistema de Generación de Energía Geotérmica em el Volcón Cerro Machín**. 2020. 64 f. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Universidad ECCI. Bogotá DC, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ecci.edu.co/handle/001/969>. Acesso em: 6 out. 2022.

SYSTEM ADVISOR MODEL - Version 2021.12.2 (SAM 2021.12.2). Site. Laboratório Nacional de Energias Renováveis. Golden, CO. Disponível em: <https://sam.nrel.gov/>. Acessado em: 28 set. 2022.