



Encuentro Internacional de
Educación en Ingeniería ACOFI

**GESTIÓN, CALIDAD Y DESARROLLO
EN LAS FACULTADES DE INGENIERÍA**

**CARTAGENA, COLOMBIA
18 al 21 de septiembre de 2018**



ESTUDIO DE DISEÑO DE PLANTAS GEOTÉRMICAS COMO FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE Y DE GENERACIÓN DE EMPLEO EN ZONAS DE CONCENTRACIÓN DE EXCOMBATIENTES EN COLOMBIA

**Jhoan Sebastián Becerra Bayona, Esteban Andrés Igua Vargas, Germán Alberto
Arciniegas Castro, Sergio Ismael Blanco Vásquez**

**Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Colombia**

Resumen

Para la producción de energía geotérmica¹ se necesitan dos recursos principalmente, reservas de calor natural y pequeños cuerpos de agua para activar el proceso del intercambiador de calor. Colombia presenta la zona volcánica desde Cerro Bravo hasta el Cerro Negro de Mayasquer, aportando el principal recurso para este tipo de energía. Adicionalmente, las principales líneas de distribución eléctrica del país pasan por la región, por lo que haría factible que la energía eléctrica producida pueda ser distribuida a nivel nacional. Por último, la realidad social de Colombia está sufriendo una transformación con el proceso de paz, donde un factor clave es la integración de los excombatientes². En los departamentos del Tolima, Cauca y Putumayo, se instalaron zonas de concentración de las FARC. Uniendo los diferentes factores: presencia de energía geotérmica, recursos hídricos, distribución eléctrica y zonas de desmovilización³, tenemos que en el sur del departamento del Tolima y en el este del departamento del Cauca reunimos los cuatro factores, por lo que la instalación de esta planta generaría un impacto positivo económico y social. En el presente proyecto se estudió el diseño de la producción de plantas de energía geotérmica enmarcado a la realidad económica, social y política del país.

Palabras clave: energía geotérmica; excombatientes; zonas de desmovilización

Abstract

The production of geothermal energy¹ need two resources mainly, natural heat reserves and small bodies of water to activate the heat exchanger process. Colombia presents the volcanic zone Cerro Bravo to Cerro Negro de Mayasequer, providing the main resource for this type of energy. Besides, the country's main electricity distribution wires pass through the region, which would make it possible for the electricity produced to be distributed nationwide. Finally, the social reality of Colombia is undergoing a transformation with the peace process, where one key factor is the integration of the ex-combatants². In the departments of Tolima, Cauca, Putumayo and Huila, concentration zones of the FARC were installed, connecting the different factors: presence of geothermal energy, water resources, electrical distribution and demobilization zones³. We have in the south of department of Tolima and in the east of the department of Cauca we have gathered the four factors, so the installation of this plant it would generate a positive economic and social impact. In the present project the design of the production of geothermal energy plants framed to the economic, social and political reality of the country was studied.

Keywords: *geothermal energy; ex-combatants; demobilization zones*

1. Introducción

En Colombia existen diferentes tipos de obtención de energía, gracias a que es un país bastante rico en recursos naturales, en donde encontramos fuentes de energía convencionales y no convencionales. Un informe realizado por la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) indica que en Colombia se utiliza principalmente como fuente de energía los combustibles fósiles como son el petróleo, el gas y el carbón y recursos hídricos, como se puede observar en la figura 1. Estas fuentes de energía son las más contaminantes para el medio ambiente debido a las emisiones de gases de efecto invernadero generados por el proceso de obtención energético y al efecto negativo generado en la fauna y flora por las represas hidroeléctricas. En vista de generar otras alternativas de obtención de energía más amigables con el medio ambiente, se decide optar para el proyecto fuentes de energía geotérmico debido a la ubicación geográfica de Colombia en donde se encuentra en el cinturón de fuego del pacífico, además de la presencia de volcanes, fumarolas, manantiales y aguas termales, estos son indicadores que en la corteza terrestre existe una fuente geotérmica.

A través de los años se han realizado diferentes estudios geológicos y uno de los resultados es el mapa de los gradientes de temperatura a una profundidad de tres kilómetros, donde se puede observar en la figura 2a que la zona con más temperatura en el territorio Colombiano se encuentra en el volcán de Puracé en donde se alcanza temperaturas de 370°C y en zonas cercanas al Nevado del Huila temperaturas entre 150-370°C, además, por esta zona pasa las principales redes de distribución eléctrica del país como se puede apreciar en la figura 2f. Es por esto, que la zona de interés para este proyecto es desde el Volcán de Puracé hasta el nevado del Huila.

La paz ha sido un tema importante en la sociedad colombiana a lo largo de la historia, pues desde la emancipación de la corona española hasta nuestros días Colombia ha estado en permanentes

confrontaciones, un paso muy importante en la terminación de dichos acontecimientos se dio con la firma de los acuerdos de paz en el año 2016 entre el estado colombiano y la guerrilla de las FARC-EP (Fuerzas Armadas Revolucionarias de Colombia-Ejército del Pueblo), donde este grupo armado se comprometió a dejar las armas y a empezar un proceso de reintegración en la sociedad, concentrándose en diferentes puntos de Colombia, donde van a recibir apoyo del Estado y comunidades internacionales para dicho proceso, hay que tener en cuenta que en estas zonas de concentración cercanas a la zona de interés para este proyecto mencionado anteriormente, no solo habita población civil sino también las comunidades indígenas como es el caso de Puracé-Cauca, el lugar de estudio. Esta comunidad representa una gran parte del departamento y para ello se propone que el proyecto debe tener en cuenta las comunidades indígenas y se enfoque en la integración de todos los ex combatientes que se encuentren cerca a dicho lugar para ayudar al proceso de reintegración a la vida civil que es el objetivo.

2. Objetivos

Realizar el diseño una planta de energía geotérmica con ciclo binario que sea viable económica y socialmente con el fin de crear más alternativas energéticas para el país. Al momento de aplicar el diseño involucrar la inclusión de los excombatientes que se encuentran en todo el sector del Volcán de Puracé y el Nevado del Huila, en donde se realizará con ellos la reintegración a la sociedad.

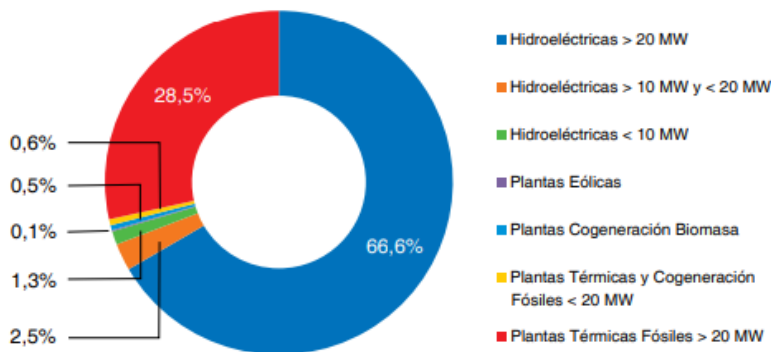


Figura 1. Porcentajes de fuentes de energía en Colombia en el año 2014. (González E Tomás. et al. (2015).)

3. Metodología

3.1 Análisis social

En uno de los puntos dispuestos por la nueva constitución de 1991, se dio apertura a un espacio para tener un definitivo reconocimiento a una parte de la población colombiana, los indígenas, en donde se otorgó la participación de estas comunidades en la vida nacional, asignándoles territorios en donde ellos puedan desarrollarse como sociedad, además del reconocimiento de la multiculturalidad y trato especial dándoles la potestad de la justicia. No serían juzgados por las leyes tradicionales del estado colombiano, estos se asentaron a lo largo y ancho del país como se puede apreciar en la figura 2d.

A lo largo de los años se ha desarrollado una de las guerras más largas de la historia del mundo, la guerra del estado colombiano con los grupos armados que datan de los años 60'. Presento diversas transiciones y políticas dirigidas tanto por los cabecillas de estos grupos como los presidentes del país, nunca tuvo éxito el fin de los grupos armados por medio de la guerra a pesar de que en el gobierno de Álvaro Uribe Vélez su lucha contra estos grupos fue contundente, tanto así, que abatió a sus principales dirigentes, pero esto no fue suficiente. Fue así como cuando Juan Manuel Santos asumió la presidencia y poco tiempo después inició un proceso de paz.

El proceso de paz reunió los dos actores principales del conflicto armado en Colombia (Estado y FARC-EP) oficialmente el 4 de septiembre de 2012, se desarrolló en La Habana (Cuba) y Oslo (Noruega), con la mediación de Cuba y Noruega, la veeduría de Chile y Venezuela. La fecha de clausura de dicho proceso se dio el 24 de agosto de 2016 (Fase de diálogos) y 26 de septiembre de 2016 (firma oficial del acuerdo). Este acuerdo se dio bajo los siguientes seis puntos:

- **Hacia un nuevo campo colombiano:** Reforma Rural Integral.
- **Participación Política:** Apertura democrática para construir la paz.
- **Fin del conflicto.**
- **Solución al problema de las drogas ilícitas.**
- **Acuerdo sobre las víctimas del conflicto:** "Sistema integral de Verdad, Justicia, Reparación y No Repetición" incluyendo la Jurisdicción Especial para la Paz (JEP) y compromiso sobre derechos humanos.
- **Implementación, Verificación y Refrendación.**

Después de la firma de los acuerdos, los excombatientes se concentraron en diferentes zonas del país que se pueden observar en la Figura 2c, en ocho campamentos y en veintitrés zonas veredales.

ESTUDIO DE DISEÑO DE PLANTAS GEOTÉRMICAS COMO FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLE Y DE GENERACIÓN DE EMPLEO EN ZONAS DE CONCENTRACIÓN DE EXCOMBATIENTES EN COLOMBIA

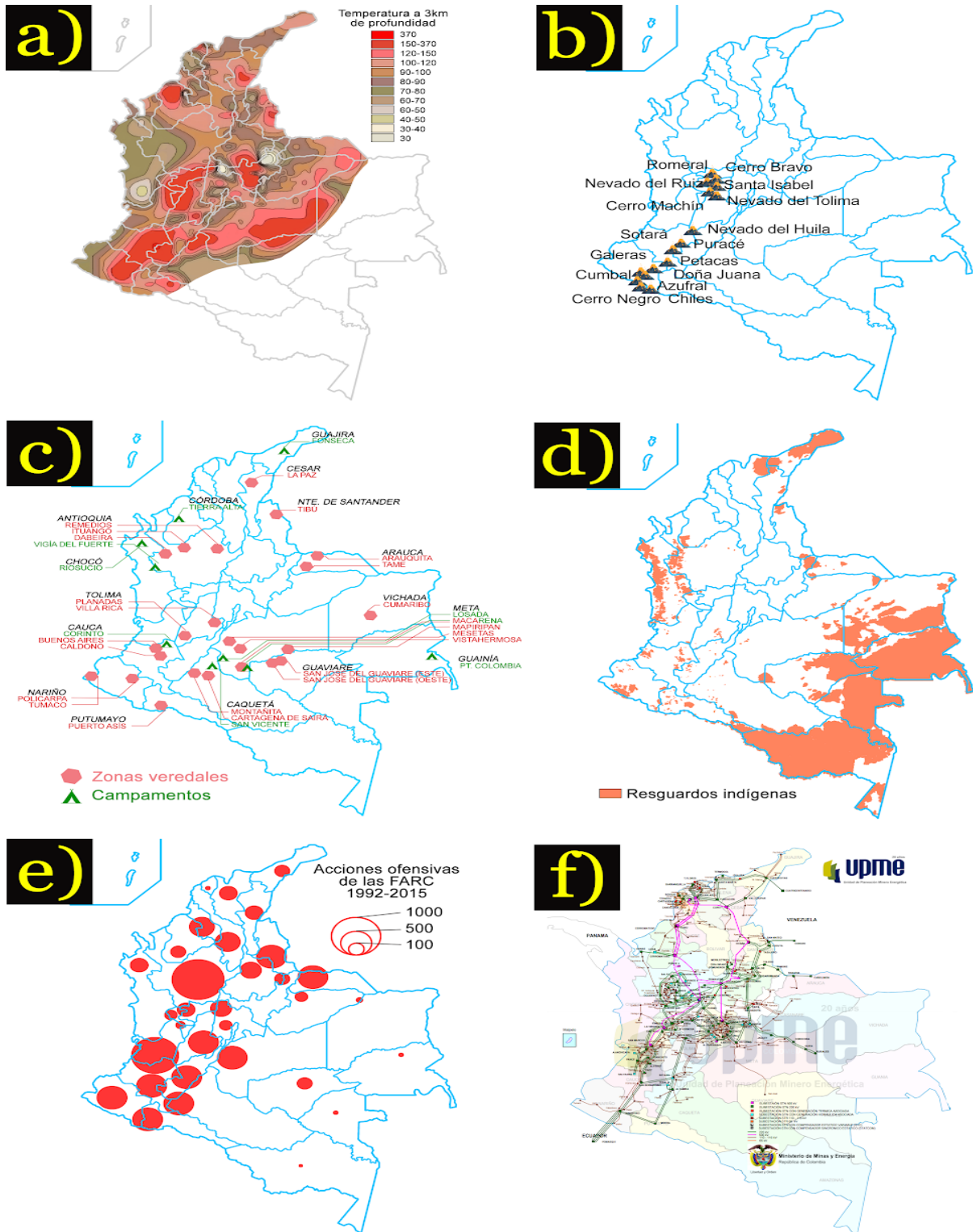


Figura 2. a) mapa de gradiente geotérmico, b) ubicación de los volcanes presentes en Colombia, c) zonas de concentración de excombatientes, d) distribución de resguardos indígenas, e) acciones ofensivas de las FARC, f) red de distribución eléctrica.

En la zona de estudio (Puracé-Cauca) se encuentran cerca las zonas veredales de concentración Planadas, Caldon y Buenos Aires, y un campamento que se encuentra ubicado en Corinto, como se puede apreciar en la Figura 3. La población civil en estos campos es la siguiente:

Buenos Aires: 33.225 habitantes

Planadas: 30.066 habitantes

Caldono: 33.922 habitantes



de interés.

Figura 3. Ubicación de los campamentos en la zona

En estos sitios se encuentran alrededor de doscientos cincuenta guerrilleros por cada campamento o zona, en donde, según los últimos datos el 44% de los ex combatientes se han ido por falta de cumplimiento de los acuerdos que llevaron a cabo en la Habana (Cuba).

Por parte de la comunidad indígena en el área de Puracé la comunidad Coconuco se encuentran en la zona Centro del departamento principalmente en los municipios de Puracé y Popayán. Los Coconucos son aproximadamente 7.000.

3.2 Análisis geotérmico

Colombia cuenta con un gran potencial para la generación de energía geotérmica debido a su localización estratégica dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico, por lo cual se presentan zonas con altos gradientes de temperatura en su territorio, encontrándose 55 volcanes (considerando 15 de ellos como activos) ubicados principalmente en la cordillera central como se puede observar en la figura 2b, alrededor de 300 yacimientos de aguas termales y decenas de fumarolas. La existencia de recursos con alta temperatura y entalpía en estos lugares es un indicador de la alta factibilidad para la extracción del recurso geotérmico y generación de energía.

Según las Figuras 2a y 2b, los territorios con mayor interés de explotación del recurso geotérmico en el país se encuentran principalmente en zonas adyacentes a los volcanes Chiles-Cerro Negro (Nariño), Puracé (Cauca), Macizo Volcánico del Ruiz (Caldas), Nevado del Huila (Cauca, Tolima, Huila). Los proyectos para el desarrollo de la energía geotérmica en el Macizo Volcánico del Ruiz y en los volcanes Chiles-Cerro Negro ya cuentan con estudios de factibilidad y construcción de planta. (Marzolf, 2014). En los departamentos de Cauca y Huila, este potencial es aprovechado únicamente con fines recreativos y turísticos (piscinas termales). La explotación geotérmica cerca al Nevado del Huila se encuentra en etapa de reconocimiento. Según datos del Inventario Nacional de Manifestaciones Hidrotermales, existen condiciones satisfactorias para el emprendimiento de la energía geotérmica en la región. De las aguas termales estudiadas, se recopilieron aquellas con mayor potencial geotérmico en la Tabla 1.

Agua termal	Temp °C	pH
Agua Hirviendo	74.10	6.50
Hornos 1	70	3.36
Hornos 2	67.50	3.38
Pozo Azul	88.30	2.53

Tabla 1. Caracterización de aguas termales adyacentes al volcán de Puracé. Fuente: Servicio Geológico Colombiano.

3.3. Selección del diseño

La selección del tipo de planta de generación de electricidad depende del tipo de fluido que se encuentre en la zona de interés. Los reservorios geotérmicos se clasifican según su entalpía (temperatura que posee el fluido geotérmico) según Haenel, *et al.* (1988) de la siguiente manera: yacimientos de alta temperatura cuando los fluidos se encuentran a más de 200°C y yacimientos de baja temperatura cuando estos se encuentran a temperaturas inferiores a 200°C. Para la generación de energía usando los recursos de alta entalpía se utilizan plantas de tipo flash o vapor seco (Figura 5a): el fluido geotérmico es bombeado a un separador de agua (que se reinyecta al pozo) y vapor; este vapor acciona una turbina conectada a un generador eléctrico y posteriormente a un transformador, el cual distribuye la corriente generada a la red energética. El vapor que sale de la turbina ingresa a un condensador y se convierte en agua líquida, la cual es reinyectada al subsuelo para volver a ser calentada, garantizando así una producción energética limpia, renovable y sostenible.

Debido a la baja disponibilidad de los recursos de alta entalpía, además de los altos costos de excavación de pozos profundos, se desarrolló la tecnología para producir energía a partir de reservorios geotérmicos de menor temperatura con las denominadas plantas de ciclos binarios (Figura 5b). La principal diferencia con las plantas flash y de vapor seco es que el fluido geotérmico nunca entra en contacto con la turbina/generador. En los sistemas binarios, el agua del reservorio entra a un intercambiador de calor y vaporiza un fluido orgánico de bajo punto de ebullición, e.g., isobutano, n-pentano o propano; el cual se encarga de accionar la turbina/generador. El fluido orgánico es condensado y reingresa al intercambiador de calor para completar un ciclo cerrado, de igual forma, el agua utilizada para la evaporación es reinyectada al pozo de producción.

3.4. Selección de materiales

Las propiedades químicas y físicas del recurso geotérmico (composición química, temperatura, presión y velocidad de flujo) son fundamental para determinar el tipo de material que debe seleccionarse para la construcción de la planta. Entre la amplia variedad de materiales utilizados para la construcción de una planta geotérmica (e.g. turbinas, generadores, intercambiadores de calor, etc.) se encuentran diferentes grados de aceros al carbono, aceros de baja aleación, aceros

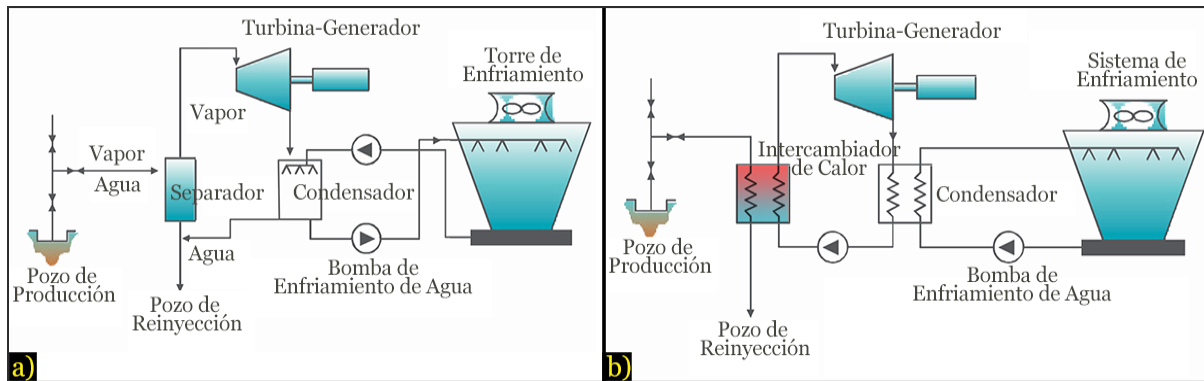


Figura 4. Esquemas simplificados de plantas de generación de energía geotérmica. a) Tipo flash, b) Tipo binaria. Adaptado de Marzolf (2014).

inoxidables, cobre, aluminio, concreto y distintas formas de polímeros. El Departamento de Energía de Estados Unidos publicó la Guía de Selección de Materiales para Sistemas de Energía Geotérmica (Ellis, *et al.*, 1981) donde se recopiló información de la experiencia de funcionamiento de plantas en El Salvador, Islandia, Japón, México, Nueva Zelanda y Estados Unidos. Los estudios concluyen que existen especies químicas claves presentes en el fluido geotérmico que producen fenómenos de corrosión sobre los materiales de construcción. Estas especies son: oxígeno, concentración de iones hidrógeno (pH), ion cloro, sulfuro de hidrógeno (H_2S), dióxido de carbono (CO_2), iones carbonato ($CO_3^{=}$), bicarbonato (HCO_3^-) y amonio (NH_4^+), amoníaco (NH_3) y el ion sulfato ($SO_4^{=}$).

Nogara, *et al.* (2018) realizaron estudios de corrosión en ambientes geotérmicos ocasionados por la naturaleza química de diferentes fluidos geotérmicos en los materiales de construcción. Se encontró que las formas de corrosión más frecuentes en los equipos son la corrosión uniforme y la corrosión localizada (picaduras y corrosión por grietas). Otras formas de corrosión encontradas fueron: fragilización por corrosión bajo tensión (SCC), erosión-corrosión, corrosión galvánica, desaleación, corrosión intergranular y corrosión influenciada microbiológicamente (MIC).

4. Resultados

4.1. Mapa

La zona más indicada para la planeación del proyecto geotérmico con inclusión de excombatientes de las FARC está localizada en el departamento del Cauca, para esto se traslada a los excombatientes a sitios más cercanos como puede observarse en la zona demarcada en la Figura 5, ya que en las zonas que se encuentran actualmente no están en la zona donde convergen reservorios geotérmicos asociados al Volcán de Puracé y el Nevado del Huila, con la presencia de excombatientes de las FARC en las zonas veredales de Buenos Aires, Caldono, Planadas y el campamento de Corinto.

Además de esto se propone una serie de acercamiento con los habitantes de la zona a través de los diferentes organismos humanitarios para la reintegración a la sociedad, con respecto al proyecto una serie de capacitaciones a través del SENA y la Universidad Industrial de Santander

que previamente ha trabajado con los excombatientes con el fin de que todo lo aprendido allí sea aplicado a la construcción y mantenimiento de la planta, donde no solo se verán beneficiados ellos, sino también toda la población aledaña de esta zona anteriormente mencionada. De igual forma, se socializaría de forma especial con la comunidad Coconuco, debido al historial de luchas en contra de la extracción minera en su región, de forma que comprendan que la energía geotérmica constituye un proceso limpio y renovable que no afectará de ninguna manera la madre tierra.





-  Zonas de los indígenas.
-  Volcanes.
-  Aguas termales.
-  Zonas veredales de los excombatientes

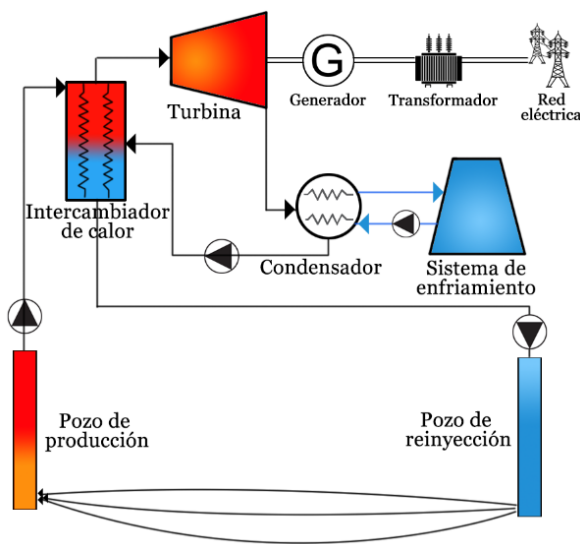
Figura 5. Mapa regional con los puntos de interés.

4.2 Diseño de la planta

Las consideraciones para la elección del tipo de planta más adecuada para la explotación de la energía geotérmica en la zona son de tipo mecánicas, termodinámicas y ambientales. Debido a que la temperatura de las aguas termales adyacentes al sistema volcánico de Puracé con mayor potencial y entalpía se encuentran entre 70 y 88°C, se elige una planta simple de tipo binaria (ORC) (Figura 7) debido a que es la más adecuada para empezar una prueba piloto de generación este tipo de energía en el país, por su relativo bajo costo de inversión y posterior mantenimiento, rentabilidad en la producción y la posibilidad de ser escalada una vez se obtengan experiencias exitosas. Aunque este tipo de plantas puede funcionar con el uso de fluidos geotérmicos de temperatura mayor a 80°C, la eficiencia de la planta propuesta puede mejorarse al considerar que, debido al alto potencial geotérmico y de aguas subterráneas en la zona, deben existir reservorios con mayores entalpías disponibles a pocos metros de excavación, lo cual debe ser objeto de estudio en un estudio geológico complementario.

El estudio del diseño de la planta incluye la selección del fluido orgánico, selección de la presión y la temperatura dentro de la turbina, selección de la temperatura de condensación, selección de la turbina, intercambiador de calor y condensador. La abundancia de quebradas y ríos, y la temperatura ambiente promedio de 14°C en la región de Puracé permitiría realizar la condensación del fluido orgánico usando estas aguas, las cuales son retornadas, garantizando el ciclo de energía renovable. Sin embargo, la baja temperatura de la zona puede ser un indicador de que la condensación utilizando aire sería factible.

Se debe mencionar que el costo para la construcción de la planta disminuye al considerar



reservorios de mayor temperatura disponibles a bajas profundidades de excavación. Con una planta binaria que trabaja con reservorios de temperatura mayor a 95°C , puede obtenerse entre 0.3 MW a 6.5 MW de potencia. Al obtener experiencias satisfactorias de producción eléctrica, Puracé puede convertirse en la primera región que genere energía geotérmica en Colombia. Debido a la falta de datos precisos de los fluidos geotérmicos en la zona de interés como presión,

Figura 6. Esquema básico de propuesta de planta binaria en zonas adyacentes al sistema volcánico de Puracé.

velocidad de flujo o entalpía, es complicado realizar un análisis real de costos para la planta binaria propuesta sin recurrir a múltiples suposiciones de lo que serían las condiciones de la operación. Sin embargo, según varias fuentes consultadas, el costo total de inversión (equipo mecánico y eléctrico, obras civiles y costos indirectos) para la construcción de una planta geotérmica binaria pueden oscilar entre 3.0 y 4.4 millones de dólares por cada kW de potencia neta producida, la fluctuación en los precios se debe a la favorabilidad de instalación de plantas en diferentes lugares, el alto potencial de desarrollo visible en la región de Puracé podría indicar que los costos pueden cercanos al límite inferior del rango propuesto.

4.3 Selección de materiales

De acuerdo con la bibliografía consultada, la corrosión que afecta los equipos metálicos de una planta geotérmica está asociado a la temperatura, pH y la concentración de especies químicas claves del fluido. Un pH favorable de operación se encuentra entre 5 y 7. El carácter ácido de las aguas termales de Hornos y Pozo Azul (pH=3.3 y 2.5 respectivamente), representaría altas tasas de corrosión en la mayoría de aleaciones comerciales. Con el fin de evitar un pretratamiento del fluido geotérmico para aumentar su pH, se recomienda que la planta esté más cerca de las termales de Agua Hirviendo, donde el pH es de 6.5.

Se requerirá de un estudio geológico complementario con el fin de analizar la variación del pH y el gradiente térmico a mayores profundidades, con el fin de realizar pruebas que permitan elegir el mejor material en relación costo/resistencia, prefiriendo en lo posible, un acero al carbono con recubrimiento no metálico a un acero inoxidable, el cual puede costar hasta 3 veces más. Las relativas bajas temperaturas de operación de la planta ($<120^{\circ}\text{C}$) permitiría el acople de una tubería de cloruro de polivinilo (PVC) para la reinyección del fluido geotérmico al pozo ($<30^{\circ}\text{C}$), con este tipo de polímero se obtiene resistencia a la corrosión y reducción de costos comparado con una tubería de acero.

5. Referencias

Artículos de revistas

- Gómez-Díaz, E. and Marin-Cerón, M.I. (2018). Preliminary geochemical study of thermal waters at the Puracé volcano system (South Western Colombia): an approximation for geothermal exploration. *Boletín de Geología*, 40(1), pp. 43-61.
- Nogara J., and Zarrouk, S. (2018). Corrosion in geothermal environment: Part 1: Fluids and their impact. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, pp. 1333-1346.

Libros

- Haenel, R. et al. (1988). *Handbook of Terrestrial Heat-Flow Density Determination*. Kluwer Academic Publishers, Londres, pp. 261.
- Ellis, P. et al. (1981). *Materials selection guidelines for geothermal energy utilization systems*. United States Department of Energy. pp. 3, 471.
- González E Tomás. et al. (2015). *Integración de las Energías Renovables No Convencionales en Colombia*. pp. 23-33.

Memorias de congresos

- Consorcio Energético Corpoema (2010). *FORMULACIÓN DE UN PLAN DE DESARROLLO PARA LAS FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA EN COLOMBIA*. pp 8-1,8-49.

Fuentes electrónicas

- Duque, G. (2006). Riesgo en zonas andinas por amenaza volcánica. Consultado el 16 de junio de 2018 en <http://www.galeon.com/cts-economia/riesgo-volcanico.pdf>
- Marzolf, N. (2014). Banco Interamericano de Desarrollo: Emprendimiento de la energía geotérmica en Colombia. Consultado el 16 de junio de 2018 en <https://publications.iadb.org/handle/11319/6558>
- Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) (2015). Plan energético nacional Colombia: Ideario energético 2050. Consultado el 16 de junio de 2018 en http://www.upme.gov.co/docs/pen/pen_idearioenergetico2050.pdf
- Servicio Geológico Colombiano. *Aplicativo Inventario Nacional de Manifestaciones Hidrotermales*. Investigación y exploración de recursos geotérmicos. Consultado el 17 de junio en <http://hidrotermales.sgc.gov.co/invermalesProd/>
- Alto Comisionado para la paz. Consultado el 15 de Junio de 2018 en <http://www.altocomisionadoparalapaz.gov.co/herramientas/Documents/Acuerdo-Final-AF-web.pdf>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), Consultado el 12 de junio de 2018 en [«Resultados y proyecciones \(2005-2020\) del censo 2005»](#).

- Mingorance F. Humans Rights Everywhere (HREV). Territorios indígenas en Colombia (recurso gráfico). Consultado el 16 de julio de 2018 en http://geoactivismo.org/wp-content/uploads/2012/01/TI_2012b.png
- Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME). Sistema Interconectado Nacional Actual 2016 (recurso gráfico). Consultado el 16 de julio de 2018 en <http://sig.simec.gov.co/GeoPortal/Mapas/Mapas>

Sobre los autores

- **Jhoan Sebastián Becerra Bayona:** Estudiante de Ingeniería Metalúrgica y Ciencias de Materiales de la Universidad Industrial de Santander. jsbecerrab@gmail.com
- **Esteban Andrés Igua Vargas:** Estudiante de Economía de la Universidad industrial de Santander. iguaesteban.ei@gmail.com
- **Germán Alberto Arciniegas Castro:** Estudiante de Ingeniería Metalúrgica y Ciencias de Materiales de la Universidad Industrial de Santander. german.arci@gmail.com
- **Sergio Ismael Blanco Vásquez:** Ingeniero de Materiales, Magister en ingeniería y Doctor en Ingeniería de la Universidad Simón Bolívar. Profesor planta de la Universidad Industrial de Santander. siblanco@uis.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2018 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)