

# ¿QUE ES EXPLORACIÓN GEOTÉRMICA?

## SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

Oscar Paredes Zapata  
Director General

Mario Andrés Cuellar Cárdenas  
Director técnico de Geociencias Básicas

### Créditos

Grupo de Investigación y  
Exploración de Recursos Geotérmicos

Coordinadora del Grupo Exploración  
de Recursos Geotérmicos

Claudia María Alfaro Valero

### Elaboración

Camilo Matiz León  
Jesús Bernardo Rueda  
Gilbert Rodríguez  
Miguel Angel Beltrán  
Jaison Malo

### Corrección de estilo

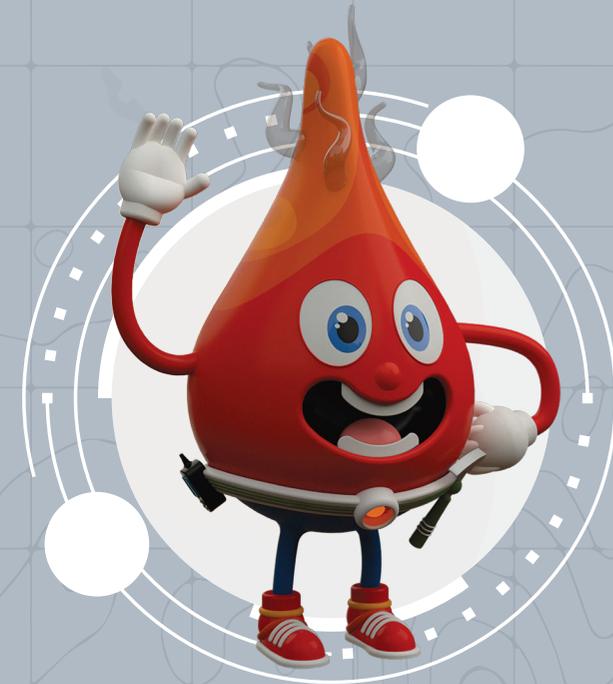
Ricardo Hurtado

### Diseño y diagramación

Andrés Romero

### Impresión

Imprenta Nacional de Colombia  
Bogotá, D.C., Colombia 2019



HOLA AMIGOS, SOY UNA GOTA DE AGUA Y ME LLAMO

# CHITU

QUE SIGNIFICA CALIENTE, EN LENGUA MUISCA

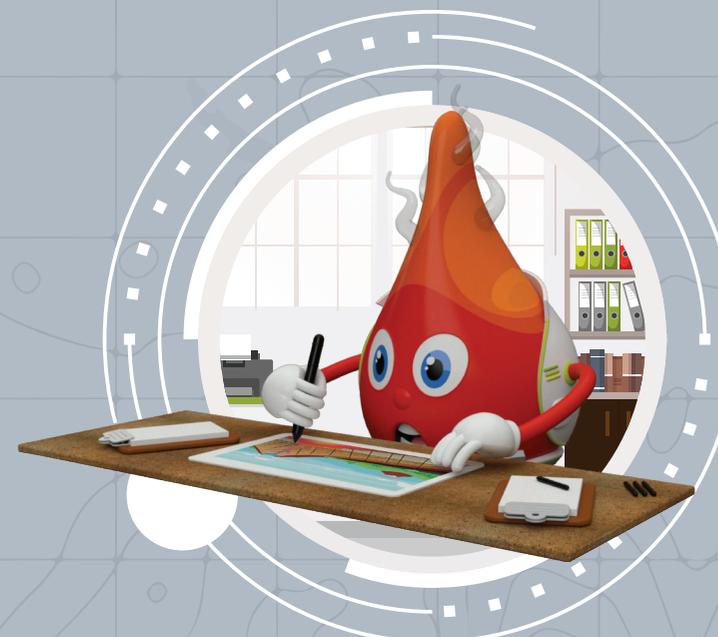
Tengo mucha energía porque vivo bajo la superficie de la Tierra en donde me caliento y puedo circular a través de las rocas. En mis recorridos veo cosas impresionantes y hermosas que quiero compartir contigo. En tres cartillas te contaré sobre mi hogar, los espacios y componentes que lo conforman, los estudios que se hacen con el interés de conocerlo, las posibilidades de utilizarme como amigo de la sociedad para mejorar la calidad de vida y promover el desarrollo, los lugares en donde estoy en Colombia. En esta oportunidad quiero darte a conocer cómo se realiza la exploración geotérmica.



## ¿QUE ES EXPLORACIÓN GEOTÉRMICA?

Exploración significa estudiar, examinar, buscar o investigar con el fin de dar sentido y entender lo desconocido.

La exploración geotérmica propiamente dicha, es un conjunto de estudios realizados por etapas, la primera de las cuales se basa en investigaciones geológicas, geofísicas y geoquímicas que son realizadas en la superficie de la tierra, mientras que la segunda incluye observaciones y mediciones directas del subsuelo a partir de perforaciones a diferente profundidad. El objetivo de la exploración geotérmica es identificar y caracterizar sistemas geotérmicos. Con ello queremos definir en donde se encuentran y cómo están conformados estos sistemas.

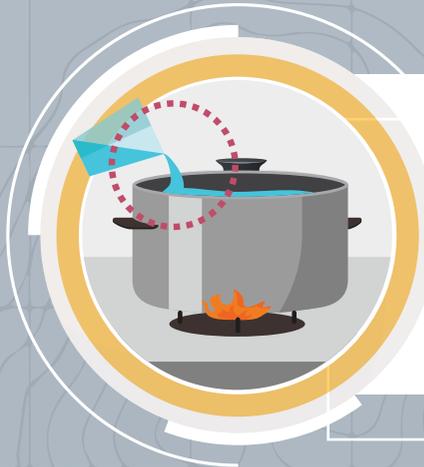


## SISTEMAS GEOTÉRMICOS

Los sistemas geotérmicos son zonas de acumulación de calor y/o fluidos, es decir líquidos y gases. Cuando estos sistemas tienen agua se denominan hidrotermales. Un sistema como este está conformado por 5 elementos fundamentales como son: una fuente de calor, reservorio, capa sello y zonas de recarga y descarga.

Los sistemas geotérmicos hidrotermales de mayor energía son aquellos relacionados con una fuente de calor magmática (roca fundida) como la de los volcanes.

## ELEMENTOS FUNDAMENTALES DE UN SISTEMA GEOTÉRMICO



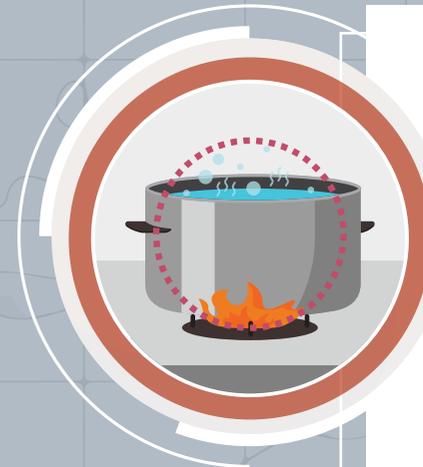
### 1. ZONA DE RECARGA

La zona de recarga es la localizada en la superficie donde el agua de la lluvia penetra el suelo y continúa su tránsito hacia el reservorio. En los sistemas geotérmicos esta zona corresponde a áreas del suelo con alta permeabilidad.



### 2. FUENTE DE CALOR

La fuente de calor es la encargada de calentar el agua en profundidad como lo hace un fogón. En un sistema geotérmico ésta puede ser magma (o roca fundida de alta temperatura).



### 3. RESERVORIO

Es la roca en donde se almacena y circula el agua lentamente, incrementando su temperatura. Se podría entender como una olla con agua puesta en el fogón. Para un sistema geotérmico la acumulación del agua se da gracias a la permeabilidad de la roca (propiedad que permite la circulación de líquidos y gases), a través de sus poros conectados o entre fracturas.



### 4. CAPA SELLO

La capa sello es aquella zona que dificulta la salida del agua, los gases y el calor, hacia afuera del reservorio, como lo haría la tapa de una olla con agua caliente. En el sistema geotérmico, esta capa está conformada por rocas de baja permeabilidad (como arcillas o bloques de roca consolidada sin fracturas).



### 5. ZONA DE DESCARGA

La zona de descarga es donde el sistema geotérmico hidrotermal libera fluidos que viajan desde el reservorio, tal como lo hace una olla a presión al liberar vapor una vez el agua está caliente. En los sistemas geotérmicos estas zonas deben ser permeables para permitir la liberación de agua y gases y se manifiesta mediante manantiales termales, fumarolas, suelos calientes con vapor, entre otros.

## ¿Y CÓMO SE REALIZA LA EXPLORACIÓN?

### ETAPAS DE LOS ESTUDIOS

# GEOLÓGICOS, GEOQUÍMICOS Y GEOFÍSICOS

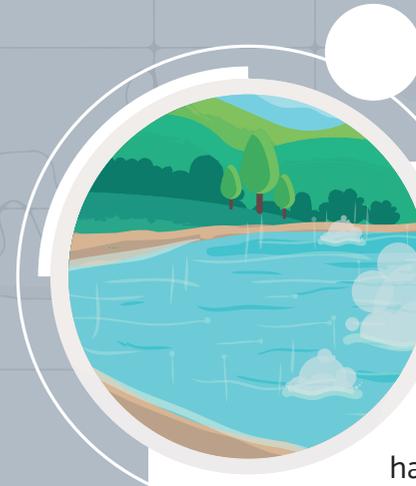
## 1. COMPILACIÓN DE INFORMACIÓN Y TRABAJO DE ESCRITORIO

Consiste en la recopilación de trabajos de **geología**, **geofísica** y **geoquímica** que ya se han hecho, con ánimos de conocer con anterioridad la zona de estudio. Estos trabajos incluyen mapas e informes y también información de las Corporaciones Autónomas para el caso del inventario de los manantiales termales. En esta etapa se hacen las primeras observaciones mediante imágenes de satélite y fotografías aéreas para identificar estructuras y poder planificar los trabajos geológicos y la adquisición de la geofísica. También se incluye aquí, la elaboración de la interpretación y realización del documento final.



## 2. TRABAJO DE CAMPO

En **geología** consiste en identificar los elementos necesarios para elaborar un mapa de la zona, a partir de la observación, descripción y muestreo de las rocas, además de mediciones de las fracturas y otras estructuras del terreno, este trabajo se hace con instrumento básicos como martillo, brújula, lupa entre otros. En **geoquímica** se hace un muestreo directo de las manifestaciones superficiales como aguas termales y fumarolas, logrando hacer mediciones inmediatas de temperatura con termómetro y medición de pH (grado de acidez) y conductividad eléctrica (o capacidad de conducir la temperatura) mediante equipos múltiparametro. En los estudios **geofísicos**, el trabajo de campo consiste en hacer las mediciones en puntos previamente definidos y en donde los equipos son extendidos en la superficie para que realicen las lecturas del subsuelo por horas o días, dependiendo del método.



## 3. ANÁLISIS DE LABORATORIO

Las muestras de roca y agua y/o gas, son enviadas a los laboratorios para realizar diferentes análisis químicos y poder conocer la composición, edad, minerales presentes, porosidad y muchas más propiedades. El estudio **geofísico** no requiere de esta etapa, pero sí un procesamiento de la información muy detallado que se realiza mediante programas de computación.



#### 4. INTERPRETACION DE LOS DATOS

Luego de recibir los resultados de los análisis **geológicos** y **geoquímicos**, y de la adquisición **geofísica**, estos son graficados en diagramas para hacer correlaciones entre las diferentes especies químicas o los tipos de rocas. En el caso de la geofísica, las propiedades físicas son atribuidas a las rocas o a estructuras (fallas), las cuales se diferencian con variados colores.

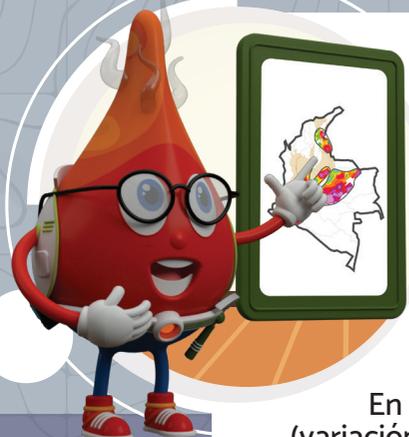


#### 5. QUE RESULTADOS OBTENEMOS

En **geología**: Obtenemos un mapa geológico donde se presentan los diferentes tipos de roca que están en la superficie, así como informes técnicos que validan la información.

En **geoquímica**: Se obtiene la composición química del agua y/o gas logrando así identificar qué tipo de fluidos circulan y cuáles son sus propiedades.

En **geofísica**: Se obtienen mapas de anomalías (variación de propiedades físicas) donde se observan algunas propiedades del subsuelo como la densidad (o peso de un volumen determinado de roca), magnetismo y resistividad eléctrica (o su resistencia al paso de corriente).





Toma de muestras

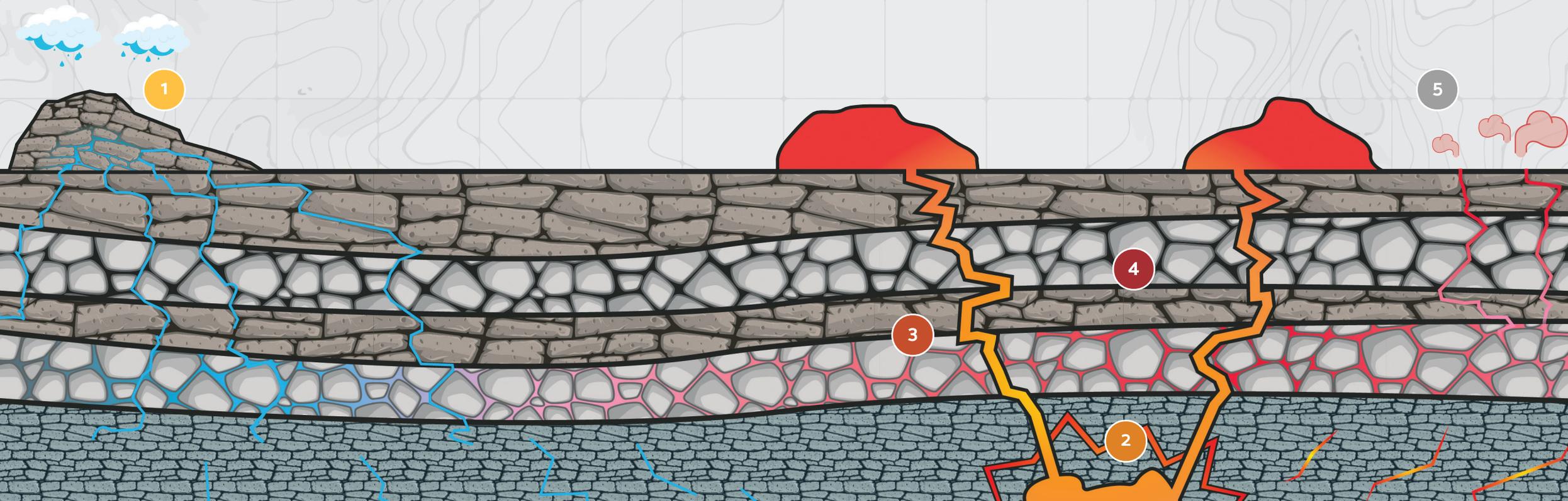
## MODELO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA GEOTÉRMICO

El modelo conceptual es una interpretación del sistema geotérmico y se basa en la interpretación de los resultados de los estudios geológicos, geofísicos y geoquímicos realizados. Este modelo se actualiza a partir de la nueva información que se obtiene a medida que se van realizando e integrando nuevos estudios.

Un modelo conceptual propone el tamaño, área de cubrimiento y rango de profundidad del sistema geotérmico objeto de estudio, así como los elementos fundamentales que lo conforman citados anteriormente: **1. zona de recarga (lluvia)**, **2. fuente de calor**, **3. reservorio de agua caliente**, **4. capa sello** y **5. zona de descarga**.

El sistema geotérmico con el esquema presentado abajo, funciona de la siguiente forma:

El agua de la lluvia que cae en la parte alta de la montaña se infiltra a través de zonas permeables (**recarga**) y viaja hasta una profundidad, en donde encuentra rocas calientes (**fuentes de calor**) y permeables (**reservorio**). En el reservorio el agua se almacena debido a la presencia de una capa impermeable que impide que se escape (**capa sello**). Así, el agua, ahora caliente, circula hasta que encuentra una zona permeable que le sirve de conducto para ascender hasta la superficie (**zona de descarga**).



# PERFORACIONES EXPLORATORIAS

Entendiendo que el modelo conceptual es una interpretación del sistema geotérmico es necesario realizar perforaciones que permitan hacer observaciones y mediciones directas para verificar dichas interpretaciones.

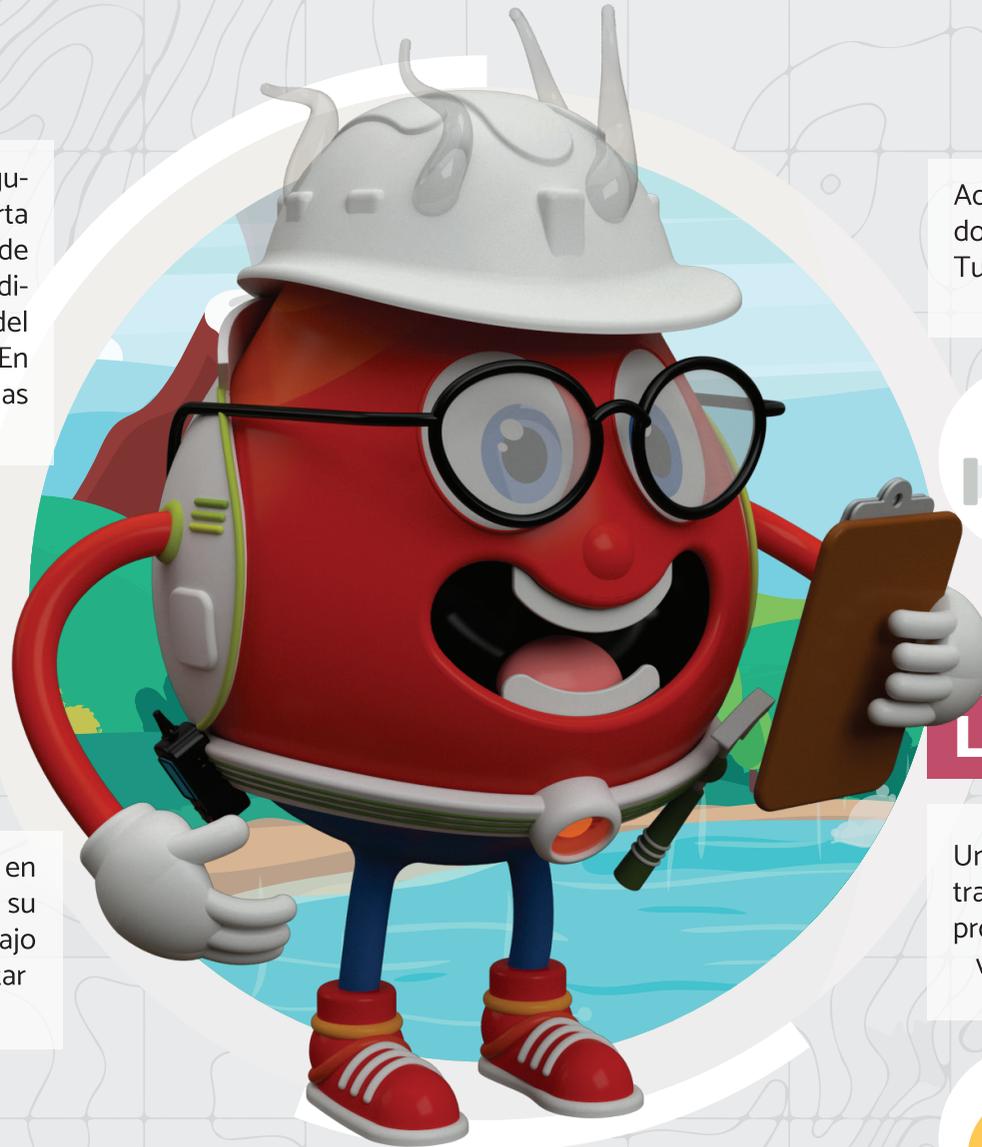
## ¿QUÉ ES UNA PERFORACIÓN?

Es una excavación del terreno para obtener un agujero largo y angosto desde la superficie hasta cierta profundidad. Las perforaciones exploratorias son de varios tipos y se utilizan para la medición del gradiente geotérmico o para validar la existencia del reservorio de agua caliente y sus características. En esta cartilla nos referiremos específicamente a las perforaciones de gradiente geotérmico.



## ¿QUÉ ES UNA PLATAFORMA?

Es el área de trabajo debidamente delimitada en donde se desarrollan los trabajos de perforación, su adecuada delimitación y orden permite un trabajo seguro y previene accidentes de trabajo sin afectar el medio ambiente.



## ¿QUÉ HERRAMIENTAS SE UTILIZAN?

Además de la maquina principal que es la perforadora, se usan múltiples herramientas como son: Tubería, brocas, revestimiento, llaves, palas, planta eléctrica entre muchas cosas más.



## ¿CÓMO SE PROTEGEN LOS TRABAJADORES?

Una vez planificadas las tareas de cada uno de los trabajadores proceden a utilizar elementos de protección personal como: Cascos, tapones auditivos, guantes, botas, chaleco reflectivo, etcétera.



# PERFORACIONES DE GRADIENTE TÉRMICO (GT)

## ¿QUÉ ES EL GRADIENTE GEOTÉRMICO (GT)?

Es la variación de la temperatura del subsuelo con la profundidad. En general, a mayor profundidad, mayor temperatura. En promedio el gradiente geotérmico de la Tierra es de 30°C cada 1000 metros (de profundidad).

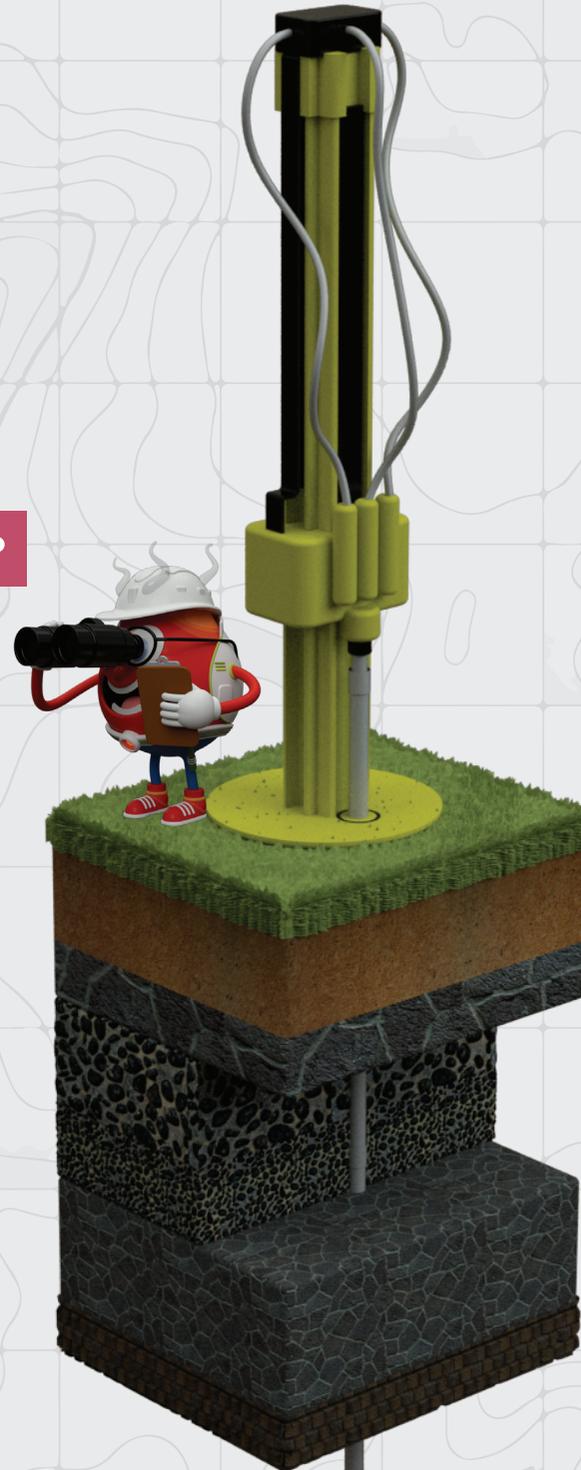
## ¿CUÁL ES EL OBJETIVO DE LAS PERFORACIONES DE GRADIENTE GEOTÉRMICO (GT)?

Principalmente, medir la variación en la temperatura con la profundidad. Sin embargo, en ocasiones se aprovechan estas perforaciones para hacer mediciones de propiedades físicas en la pared del agujero y recolectar muestras de roca y agua para estudios posteriores. Estas perforaciones deben cumplir con estándares técnicos, legales y ambientales que garanticen la seguridad de las personas y del medio ambiente, con énfasis en la protección de las aguas subterráneas.

## ¿POR QUÉ PERFORAR?

Solo a través de agujeros resultantes de las perforaciones se pueden realizar las mediciones y observaciones directas que se requieren.

La integración de la información obtenida en la superficie y la recolectada por medio de las perforaciones permite acceder a un conocimiento más detallado del sistema geotérmico y todo este conocimiento sirve para caracterizar y salvaguardar este recurso natural.



## ¿CUÁNDO PERFORAR?

- Cuando está listo el mapa geológico. (Geología)
- Cuando está listo el estudio de las aguas termales. (Geoquímica)
- Cuando están listas las mediciones indirectas de las propiedades físicas. (Geofísica)
- Cuando se ha hecho la integración e interpretación conjunta de los estudios anteriores en un modelo conceptual.

## ¿CÓMO SE PERFORA?

Una vez seleccionado el sitio hay que disponer un área viable de acuerdo con el tipo de la perforación, llamada plataforma. Para perforaciones de gradiente geotérmico la plataforma es de aproximadamente 30X30 m. En ella se ubica el taladro e instalaciones complementarias de la perforación, el almacén de herramientas, oficina para trabajo de escritorio, sanitarios, entre otros.

El objetivo de la perforación es medir la variación de la temperatura con la profundidad; es decir el gradiente geotérmico y confirmar la estructura geológica (modelo geológico) hasta la profundidad de perforación.

## ¿Y LUEGO?

### 1. EXTRAER MUESTRAS DE ROCA.

Durante la perforación se pueden extraer muestras de roca en bloque llamadas núcleos o corazones y muestras fragmentadas, llamadas rípios.

### 2. REALIZAR MEDICIONES DURANTE LA PERFORACIÓN.

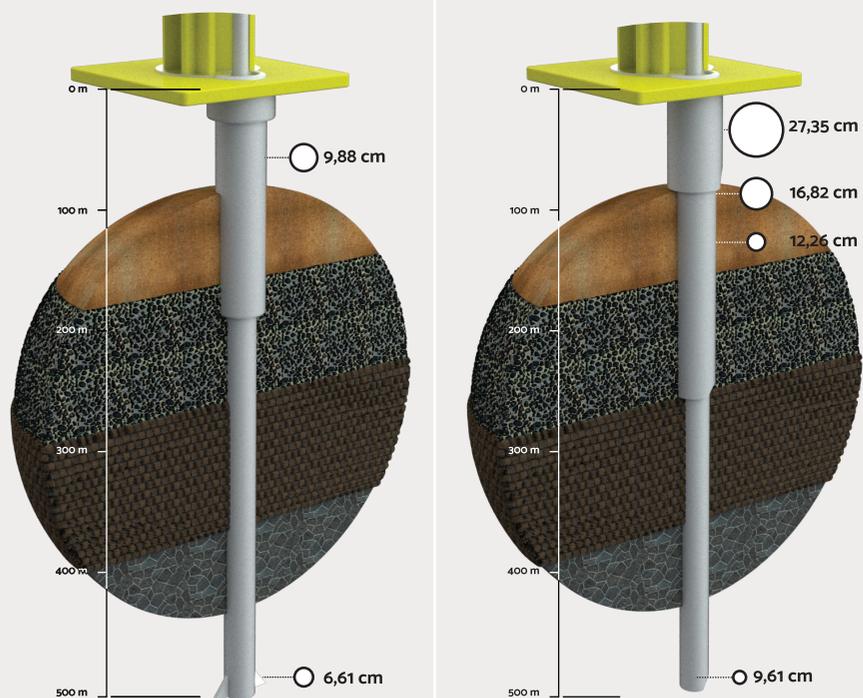
A lo largo de toda la perforación se pueden medir algunas propiedades físicas en la pared del agujero y también la presión y temperatura del mismo.

### 3. REALIZAR MEDICIONES DESPUÉS DE PERFORAR.

Una vez el agujero esté terminado, entubado y cementado, se realizan mediciones de temperatura, (hasta lograr su equilibrio) en función de la profundidad. A partir de estos resultados se calcula el gradiente geotérmico.

## DISEÑOS DE AGUJERO

Los agujeros de gradiente geotérmico pueden ser de dos tipos: de diámetro único y telescópicos. En estos últimos el diámetro de la tubería se reduce con la profundidad. El diámetro de estas tuberías es inferior a 10 cm en el fondo del agujero, cuya profundidad en general no excede los 500 m.



Monitoreo  
ambiental  
TODO el tiempo

## ¿Y LOS AGUJEROS DE GRADIENTE PUEDEN CONTAMINAR EL AMBIENTE?

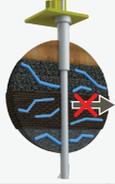
**NO!** Las perforaciones de gradiente geotérmico propuestas por el Servicio Geológico Colombiano (SGC) se basan en un diseño que previene la alteración del ambiente. Este diseño incluye:

- Para aislar la perforación y evitar la comunicación entre el agujero y la roca que lo rodea será instalada tubería de acero de principio a fin, adicionalmente esta tubería tendrá un recubrimiento de cemento para contar con doble protección.
- Uso de válvulas como sistemas de prevención de descarga de fluidos al suelo que puedan producirse en el agujero.

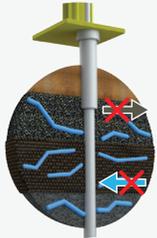
Por otra parte, los residuos de la perforación (lodo y remoción de material) deben ser retirados y dejados en lugares autorizados.

Una vez terminada la perforación y las mediciones, el lugar intervenido debe quedar sin ninguna huella importante que afecte el paisaje del área. Sólo será visible una placa con tamaño aproximado de 30X30 cm.

## DURANTE LA PERFORACIÓN



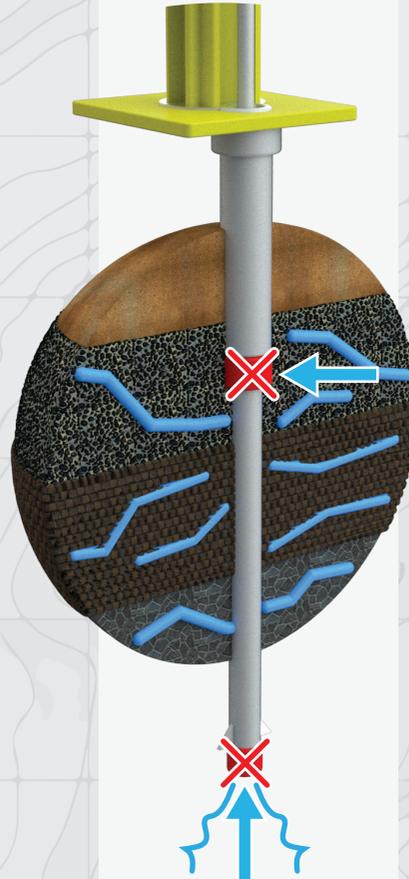
El lodo utilizado para lubricar y enfriar la broca en contacto con la roca, NO sale del agujero.



Si llegara a presentarse una pérdida de lodo inmediatamente se detiene la perforación y se recubre el agujero con tubería de acero y cemento, para evitar que el lodo se extienda hacia el subsuelo.

Para garantizar la seguridad de trabajadores y medio ambiente se debe instalar una llave o válvula como medida de prevención de salida de fluidos (líquidos o gases) a presión, ya que no se puede ignorar que si es un área geotérmica es posible encontrar fluidos calientes circulando en el subsuelo.

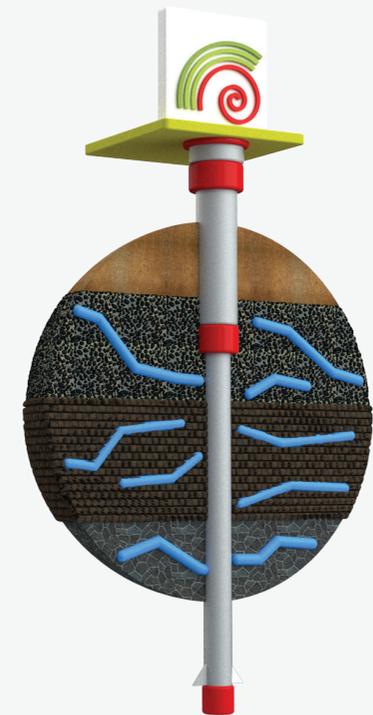
## AL FINALIZAR LA PERFORACIÓN



El agua tampoco entra desde abajo porque se le pone un tapón de cemento al fondo.

## DESPUÉS DE MEDIR

Se taponan varios tramos y la boca del agujero dejando el terreno como estaba antes. La única evidencia de la perforación es una placa que indica la localización del mismo.



¿Y QUE ESTUDIOS SE HACEN EN EL AGUJERO

## Y A LAS ROCAS QUE SON EXTRAÍDAS?

### GEOLOGÍA

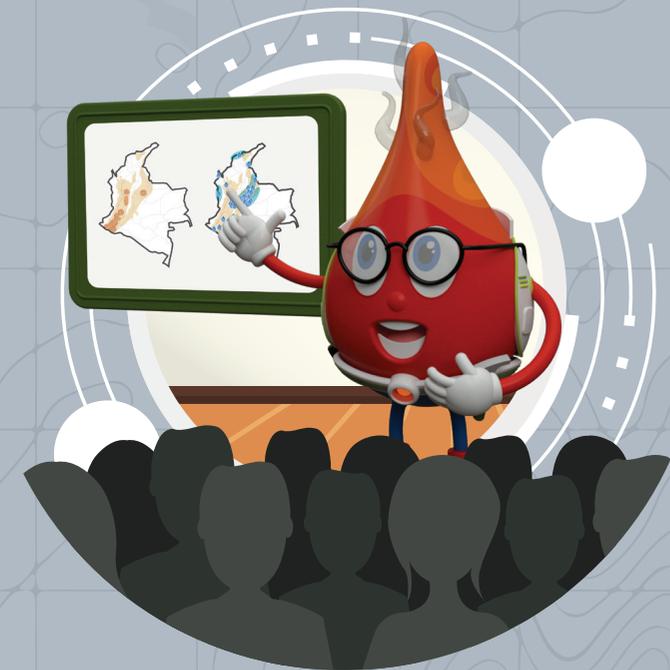
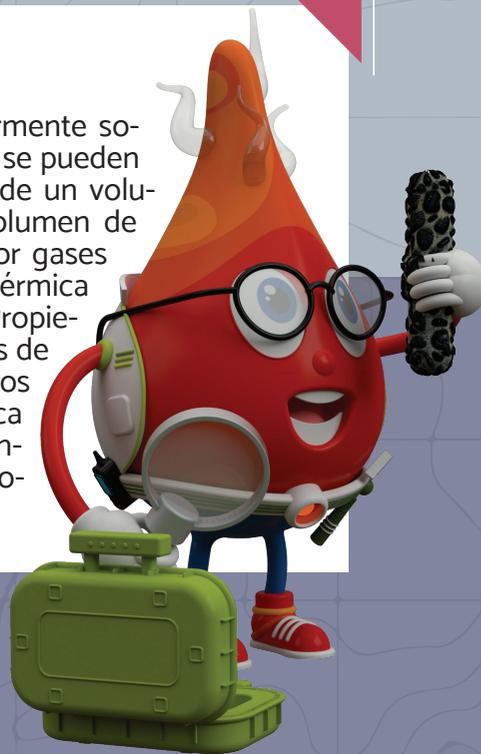
Se realiza la observación y análisis en cada uno de los metros de rocas extraídos de los minerales, composición química, edad, fracturas entre otros. Las muestras se colectan en cajas especiales que luego son llevadas a un lugar predeterminado para su estudio.

### GEOQUÍMICA

Los fluidos interceptados durante la perforación, es decir los fluidos que circulan en profundidad, son analizados para conocer la composición química (que elementos o especies químicas contiene) y cuál es su concentración.

### GEOFÍSICA

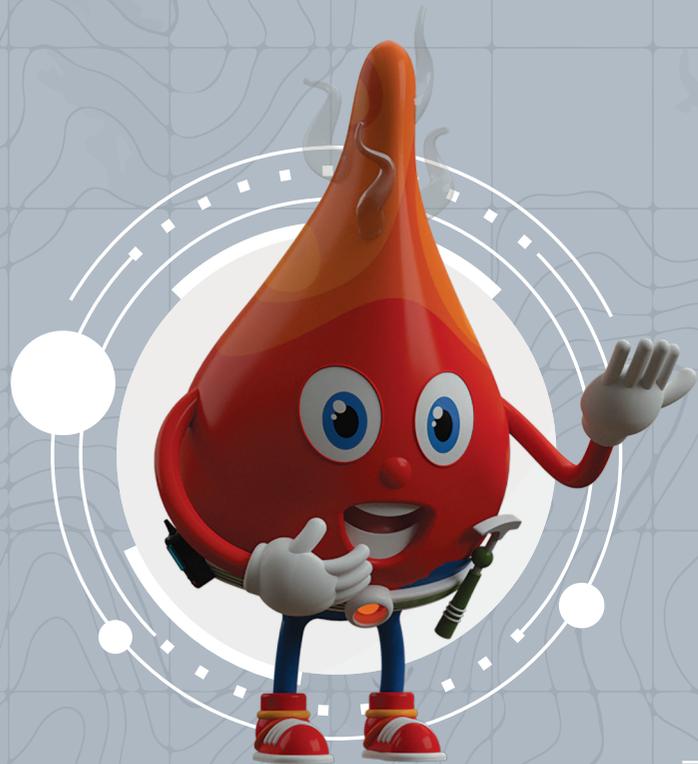
Sobre las paredes del agujero y posteriormente sobre las muestras de roca en el laboratorio, se pueden realizar mediciones de densidad (o peso de un volumen determinado de roca) porosidad (volumen de espacios huecos que pueden ocuparse por gases o líquidos en el subsuelo) conductividad térmica (o capacidad de conducir la temperatura) Propiedades magnéticas (relacionada con fuerzas de atracción como las que encontramos en los imanes) temperatura y, resistividad eléctrica (o su resistencia al paso de corriente) generalmente se representa como un “electrocardiograma” de las rocas.



## VEEDURÍA

Las perforaciones de gradiente geotérmico no son utilizadas para extraer ningún recurso y por lo tanto no representarán ningún beneficio económico, pero sí son fundamentales para estudiar los recursos geotérmicos del territorio colombiano. Si estos estudios son realizados por el SGC, todos los informes y resultados son de carácter público y son presentados a las comunidades residentes y autoridades, al término de los mismos.

La comunidad y las autoridades pueden y deben participar a través de visitas y comunicación permanente con los ejecutores de estudios realizados en su territorio.



Gracias por haberme acompañado en este viaje. Espero que lo hayas disfrutado tanto como yo y que sigas interesado en aumentar tus conocimientos sobre los recursos geotérmicos.

Para terminar quiero invitarte a disfrutar algunas fotografías de los sistemas geotérmicos en Colombia y animarte a buscar información sobre todos los manantiales termales de Colombia. ¿En dónde?

**[hidrotermales.sgc.gov.co](http://hidrotermales.sgc.gov.co)**

Quedaste con dudas? Quieres hacer alguna pregunta? Quieres aportar información o sugerencias?

Escríbenos o llámanos. Correo electrónico: [geotermia@sgc.gov.co](mailto:geotermia@sgc.gov.co); Tel. 1-2200200 ó 2200153.

## SOPA DE LETRAS

E	X	P	L	O	R	A	T	O	R	I	A	T	H	S	F	O	R	M	Ñ
H	E	C	P	L	C	E	N	E	W	L	E	O	K	Ñ	D	E	E	E	E
G	P	R	O	T	E	C	C	I	O	N	P	E	R	S	O	N	A	L	E
A	R	E	J	E	S	U	A	L	E	M	I	H	R	E	G	E	O	X	L
E	W	A	E	U	R	E	O	F	A	E	Y	U	D	E	P	I	A	Ñ	A
V	E	U	V	E	C	E	T	L	V	A	S	E	I	Y	E	S	H	E	B
R	E	F	S	I	D	E	M	D	A	T	O	S	Y	O	R	K	E	R	O
D	E	I	L	E	M	C	F	E	G	T	T	I	S	E	F	C	Y	E	R
V	Q	E	O	G	U	E	O	R	D	E	H	S	B	R	O	C	A	R	A
M	E	I	R	T	E	S	T	S	H	I	O	U	N	S	R	G	R	O	T
A	S	L	O	E	S	X	E	R	P	H	C	N	E	P	A	F	P	E	O
G	D	E	C	X	T	N	S	H	O	Y	E	I	A	E	C	O	L	R	R
E	A	W	U	A	R	E	E	S	N	M	W	I	O	V	I	E	A	G	I
R	E	I	E	T	A	P	U	E	K	E	T	E	P	N	O	J	T	E	O
E	E	M	A	G	N	E	T	O	M	E	T	R	I	A	N	E	A	L	E
C	G	E	Ñ	E	P	E	T	H	D	V	E	H	E	P	J	P	F	G	A
E	Q	E	M	V	E	E	D	U	R	I	A	C	E	R	A	G	O	F	E
M	T	Y	E	I	E	R	W	E	S	O	U	W	N	I	F	U	R	P	Y
O	P	E	H	R	A	V	S	S	S	K	C	E	Q	J	E	S	M	E	N
J	E	T	Y	E	Q	G	E	J	E	Ñ	G	A	E	F	J	E	A	E	P

1. PROTECCIÓN PERSONAL
2. DATOS
3. LABORATORIO
4. PERFORACIÓN
5. GRAVIMETRIA
6. BROCA
7. MEDICIÓN

8. PLATAFORMA
9. VEEDURÍA
10. MAGNETOMETRIA
11. ROCA
12. MUESTRA
13. EXPLORATORIA

**SERVICIO  
GEOLÓGICO  
COLOMBIANO**



Diagonal 53 N. ° 34-53 Bogotá D.C., Colombia  
(571) 2200100, 2200200 y 2221811 - Fax: (571) 2220797  
cliente@sgc.gov.co

Lunes a viernes 8:00 a.m. a 5:00 p.m. para todas nuestras sedes

[www.sgc.gov.co](http://www.sgc.gov.co)