

SONDEO DE MERCADO

La ANH está adelantando el presente sondeo de mercado, con el fin de realizar el análisis económico y financiero que soportarán la determinación del presupuesto oficial de un posible proceso de selección contractual, si su Empresa se encuentra interesada en participar le agradecemos remitir la información solicitada, bajo los parámetros establecidos a continuación.

NOTA: La Agencia Nacional de Hidrocarburos – ANH, aclara que ni el envío de esta comunicación ni la respuesta a la misma generan compromiso u obligación de contratar, habida cuenta que no se está formulando invitación para participar en un concurso o proceso selectivo, sino, se reitera, se está realizando un sondeo de mercado del que eventualmente se puede derivar un proceso de selección para la elaboración de un contrato que permita ejecutar el proyecto

NUMERO DE PROCESO DE COTIZACION:	
DESCRIPCIÓN DE LA NECESIDAD:	<p>La Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) en convenio con el Servicio Geológico Colombiano (SGC) elaboró el actual mapa de gradiente térmico de Colombia publicado en el año 2009. Una segunda fase de este convenio tuvo como alcance la elaboración del mapa de flujo de calor para la Cuenca Llanos Orientales publicado en el año 2010. En esa oportunidad, no se aplicaron algunas correcciones importantes a los datos de gradiente geotérmico y, para el cálculo de flujo calor, no se incorporaron datos de petrofísica en la metodología, ni suficientes mediciones de conductividad térmica en núcleos de perforación, lo cual dio lugar a estimaciones gruesas de propiedades térmicas de rocas. Por lo tanto, este proyecto contempla la incorporación de metodologías robustas que permitan el cálculo de valores de gradiente y conductividad térmica con menos valores de incertidumbre.</p> <p>El flujo de calor es una variable independiente que controla tanto el espesor como los parámetros reológicos en la estructura cortical de las cuencas sedimentarias, por tanto, el conocimiento del régimen térmico actual es un elemento indispensable para comprender mejor la historia de deformación y las heterogeneidades (fábricas) en la estructura del basamento, y la influencia y control de ésta en los depósitos sedimentarios. A la existencia de un régimen térmico elevado, se corresponderá una mayor probabilidad de estiramiento cortical y, por tanto, la generación de espacios (hemigrábenes por ejemplo) indispensables para favorecer la sedimentación. El conocimiento del flujo de calor también es importante en la definición de zonas sísmogénicas, en estudios sobre almacenamiento subterráneo de gas y régimen termal de una cuenca para los modelos de maduración del querógeno. De la misma forma, se aprovecharán los datos de pozos hidrocarbúferos para conocer el potencial de generación eléctrico a partir de las aguas de coproducción. El conocimiento de este dato permitirá mapear áreas del territorio nacional donde se encuentren pozos activos o inactivos que eventualmente puedan ser utilizados para la producción de energía en favorecimiento de las poblaciones aledañas</p> <p>La información que servirá de insumo para la actualización de estos mapas proviene de registros de pozos adquiridos por la industria hidrocarbúfera del país y mediciones directas de propiedades térmicas sobre muestras de núcleos de perforación. Las propiedades térmicas de las rocas son la clave en el estudio de la distribución del calor en una cuenca sedimentaria. Realizar mediciones de estas propiedades puede resultar una tarea compleja si se tiene en cuenta que existe poca información disponible, de aquí, la importancia de lograr la mayor cantidad posible de mediciones de propiedades térmicas en núcleos de perforación y complementarlas con estimaciones de la conductividad provenientes de los registros de pozo. Además, se incorporarán datos de temperatura tomados de pruebas de producción como el Drill Stem Test (DST). Los datos para el cálculo del potencial de generación como temperatura y caudales de las aguas de coproducción se tomarán de las formas ministeriales de exploración y producción.</p>

<p>OBJETO A CONTRATAR:</p>	<ul style="list-style-type: none"> Subproyecto 1: Actualización del mapa de gradiente térmico y flujo de calor para las cuencas de Valle Medio del Magdalena, Cordillera y Catatumbo. Subproyecto 2: Actualización del mapa de gradiente térmico y flujo de calor para las cuencas de Sinú- SJ, Valle Inferior, Cesar Ranchería, Chocó, Guajira, Guajira Offshore, Sinú Offshore, Tumaco, Tumaco Offshore, Urabá, Vaupés Amazonas, Cauca Patía, Amagá. Subproyecto 3: Actualización del mapa de gradiente térmico y flujo de calor para las cuencas de los Llanos Orientales, Valle Superior del Magdalena y Caguán – Putumayo. 										
<p>ALCANCE DEL OBJETO:</p>	<ul style="list-style-type: none"> Correcciones a datos de gradiente geotérmico aparente. Incorporación de nuevos datos de temperaturas de formación para cálculos de gradiente geotérmico. Mediciones de conductividad térmica directamente en núcleos de perforación. Correlación de medidas de conductividad térmica con registros de pozo. Generación de un modelo de interpolación de datos de flujo de calor y gradiente geotérmico. Elaboración de mapas de temperatura a diferentes topes formacionales. Elaboración de cortes geológicos con variaciones de temperatura en profundidad. Elaboración de mapas de gradiente geotérmico y flujo de calor. Estimación de potencial de generación eléctrica de pozos y campos hidrocarbúrriferos a partir de datos de temperaturas y volúmenes de agua de coproducción. 										
<p>IDENTIFICACIÓN DEL CONTRATO A CELEBRAR:</p>	<p>Prestación de servicios (modalidad: Licitación pública.)</p>										
<p>CÓDIGO UNSPSC (The United Nations Standard Products and Services Code® - UNSPSC, Código Estándar de Productos y Servicios de Naciones Unidas), correspondiente al bien, obra o servicios a contratar:</p>	<p>Identifique el o los Códigos UNSPSC:</p> <table border="1" data-bbox="479 1102 1507 1197"> <thead> <tr> <th>SEGMENTO</th> <th>FAMILIA</th> <th>CLASE</th> <th>PRODUCTO</th> <th>NOMBRE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>71</td> <td>7115</td> <td>711513</td> <td>71151306</td> <td>Servicios de geología</td> </tr> </tbody> </table>	SEGMENTO	FAMILIA	CLASE	PRODUCTO	NOMBRE	71	7115	711513	71151306	Servicios de geología
SEGMENTO	FAMILIA	CLASE	PRODUCTO	NOMBRE							
71	7115	711513	71151306	Servicios de geología							
<p>ASPECTOS TÉCNICOS:</p>	<p>I-OBJETIVO GENERAL:</p> <p>Actualización del mapa de gradiente térmico y flujo de calor de las cuencas sedimentarias de Colombia</p> <p>II.-OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> Incorporar nuevos datos de temperaturas de pozos hidrocarbúrriferos desde la última actualización del Mapa Geotérmico de Colombia obtenidos en las pruebas Drill Stem Test (DST) disponibles. Corregir los datos existentes de gradiente geotérmico aparente incorporando procedimientos de corrección por Horner o Flujo Radial Esférico o Fuente de Calor Cilíndrica por topografía y temperatura atmosférica. Realizar mediciones de conductividad térmica y capacidad calorífica directamente en núcleos de perforación y/o ripios con el fin de aplicarlas al cálculo de flujo calor terrestre Correlacionar las mediciones de conductividad térmica con datos de registros de pozos Generar un modelo de interpolación de flujo de calor y gradiente térmico de alta 										

confiabilidad a través del análisis geoestadístico

- Elaborar el Mapa de Flujo de Calor el Mapa de Gradiente Geotérmico para cada una de las cuencas.
- Generar mapas de isotermas a diferentes topes de formaciones.
- Elaboración de cortes geológicos donde se visualicen las variaciones de temperaturas con la profundidad.
- Elaborar una base de datos de consulta para los pozos utilizados en el estudio incorporando datos geotérmicos, de transferencia de calor de las rocas y volúmenes de coproducción. La base de datos será cargada en SQL Server 2016 R2, sobre el sistema Operativo Windows Server 2014 Standard (o versión más reciente)
- Elaborar una *geodatabase* para un sistema de información geográfica con la ubicación de los pozos y sus datos geotérmicos
- Estimar el potencial de producción de energía eléctrica de pozos activos y abandonados utilizando los datos geotérmicos conocidos e incorporando los volúmenes de agua de coproducción.
- Identificar y elaborar un ranking de pozos, campos o zonas con potencial geotérmico para la generación de energía eléctrica.

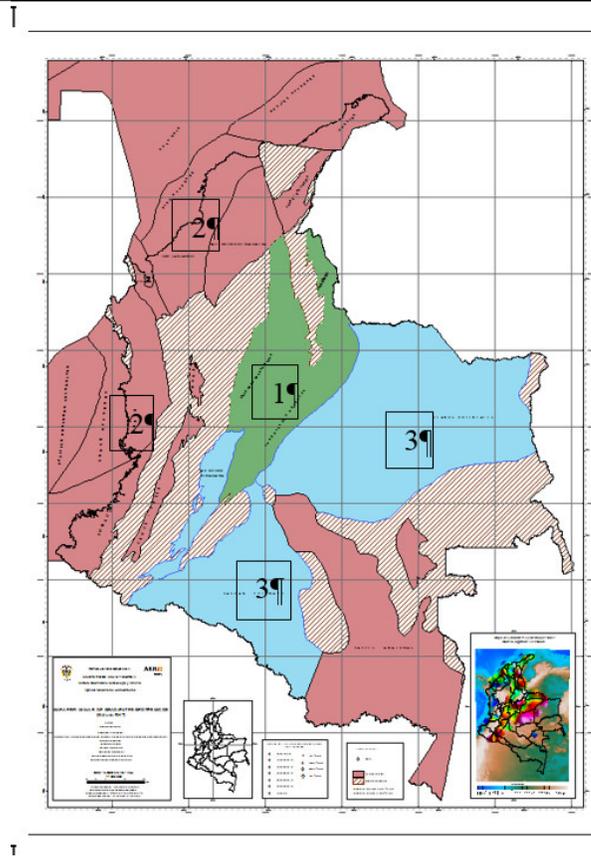
III. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO:

El proyecto comprende todas las cuencas sedimentarias del país y se ha dividido en tres subproyectos así:

Subproyecto 1: Actualización del mapa de gradiente térmico y flujo de calor para las cuencas de Valle Medio del Magdalena, Cordillera y Catatumbo.

Subproyecto 2: Actualización del mapa de gradiente térmico y flujo de calor para las cuencas de Sinú- SJ, Valle Inferior, Cesar Ranchería, Chocó, Guajira, Guajira Offshore, Sinú Offshore, Tumaco, Tumaco Offshore, Urabá, Vaupés Amazonas, Cauca Patía, Amagá.

Subproyecto 3: Actualización del mapa de gradiente térmico y flujo de calor para las cuencas de los Llanos Orientales, Valle Superior del Magdalena y Caguán – Putumayo.



Subproyecto-1:
Valle-Medio
Cordillera
Catatumbo
Pozos-disponibles:-4197
Pozos-con-núcleos:-467

Subproyecto-2:
(Sinú-SJ, Valle-Inferior, Cesar-Ranchería, Chocó, Guajira, Guajira-Offshore, Sinú-Offshore, Tumaco, Tumaco-Offshore, Urabá, Vaupés-Amazonas, Cauca-Patía, Amagá)
Pozos-disponibles:-900
Pozos-con-núcleos:-219

Subproyecto-3:
Caguán-Putumayo
Valle-Superior
Llanos
Pozos-disponibles:-7639
Pozos-con-núcleos:-643

Nota: El mapa de gradiente geotérmico aparente actual utilizó la siguiente cantidad de pozos en las diferentes cuencas que corresponden a cada subproyecto con la siguiente distribución. No se trabajará en todos ellos sino en un porcentaje que se detalla más adelante para cada subproyecto:

- Subproyecto 1: 1530
- Subproyecto 2: 225
- Subproyecto 3: 2840

El número de pozos a considerar en cada subproyecto para cálculos de correcciones, adición de datos DST se estimó considerando un 10% de la información que ya fue utilizada para la elaboración del actual mapa de gradiente geotérmico aparente. Para el caso del subproyecto 2 se estima considerar un 50% de la información de pozos que ya fue utilizada. Para el cálculo de potencial de generación se estima utilizar datos de aproximadamente un 10% de la información total disponible, a excepción del subproyecto 2 donde se estima utilizar un 20% de la información disponible para el cálculo de potencial de generación.

Nota: El subproyecto 2 comprende varias cuencas sedimentarias que han tenido poca exploración y desarrollo, por lo que es probable que no existan nuevos pozos desde la última actualización del mapa de gradiente geotérmico que suministren datos suficientes para efectuar las correcciones de temperaturas solicitadas, en ese caso, el alcance se cumplirá densificando las correcciones en las cuencas que cuenten con suficiente información.

La siguiente es la cantidad de pozos que se utilizará para la carga de datos petrofísicos y las mediciones directas de conductividad térmica:

Subproyecto 1:

Pozos para Petrofísica: 200
Mediciones de conductividad térmica: 240 (incluidas las mediciones para control de calidad y para validación del modelo de predicción de conductividad térmica)
Pozos para correcciones de BHT: Hasta 153
Pozos a adicionar con datos de DST: Hasta 153
Pozos para cálculo de potencial de generación: Hasta 420

Subproyecto 2:

Pozos para Petrofísica: 100
Mediciones de conductividad térmica: 120 (incluidas las mediciones para control de calidad y para validación del modelo de predicción de conductividad térmica)
Pozos para correcciones de BHT: Hasta 110
Pozos a adicionar con datos de DST: Hasta 110
Pozos para cálculo de potencia de generación: Hasta 180

Subproyecto 3:

Pozos para Petrofísica: 200
Mediciones de conductividad térmica: 240 (incluidas las mediciones para control de calidad y para validación del modelo de predicción de conductividad térmica)
Pozos para correcciones de BHT: Hasta 284
Pozos a adicionar con datos de DST: Hasta 284
Pozos para cálculo de potencia de generación: Hasta 764

III. METODOLOGÍA

1. ESTIMACIÓN DE GRADIENTES GEOTÉRMICOS

Para la medición de gradientes geotérmicos, etapa intermedia en la estimación del flujo de calor terrestre, se requiere conocer la temperatura del subsuelo sin perturbaciones. El método más utilizado en el mundo para este propósito es la medición de la temperatura del fondo de pozo (BHT), principalmente en pozos de gas y petróleo, tomada como la temperatura máxima registrada. Si bien, esta medición es muy común, se ha observado que los datos son de una calidad notoriamente baja, aun cuando haya sido medida adecuadamente, pues esta representa una medición de la temperatura del fluido en el orificio, la cual generalmente es menor que la temperatura verdadera de formación (Deming, 1989). El proceso de perforación altera en gran medida la temperatura en los alrededores del pozo y volver a la condición de equilibrio térmico, después de la perforación es un proceso estimado en unas diez veces el tiempo de perforación, lo cual puede equivaler a varios meses en el caso de pozos profundos (Beardsmore & Cull, 2001). La variación de la temperatura está afectada por la duración del tiempo de circulación del fluido de perforación, la diferencia de temperatura entre las formaciones del subsuelo y el fluido, el radio del pozo, la difusividad térmica de la formación geológica en donde se hace la medición y la tecnología de perforación y medición utilizada (Kutasov & Eppelbaum, 2005).

Para corregir los efectos de la perforación sobre la temperatura de formación, se han utilizado diversos modelos y métodos de corrección. El modelo más antiguo, conocido y comúnmente utilizado, para estimar las temperaturas estabilizadas de formación en exploración de petróleo, agua subterránea y geotermia, es el método Horner, originalmente propuesto para correlacionar el incremento de presión a un flujo constante. La temperatura inicial o estabilizada de formación se infiere de la intersección en un diagrama semilogarítmico que correlaciona la temperatura del pozo en reposo con el tiempo adimensional de Horner. Se basa en el concepto de una línea

fuelle/sumidero de calor infinitamente larga sin sección transversal para representar los procesos de circulación y suspensión de la circulación (García, A. 2009).

Los datos actuales de gradiente geotérmico fueron obtenidos a partir de la aplicación de la corrección de BHT mediante el método empírico propuesto por la American Association of Petroleum Geologist (AAPG), sin embargo, es conocido que el grado de incertidumbre de los datos calculados sigue siendo alta. Por lo tanto, para este trabajo se efectuarán correcciones de Horner preferencialmente, que tienen en cuenta los tiempos de circulación y de parada de circulación hasta la toma del dato de temperatura. Esta información suele encontrarse en los encabezados de registros de pozo a los cuales la ANH tiene acceso por ser una información requerida a las compañías operadoras de exploración y producción en Colombia. También se considera adicionar datos de temperatura de formación obtenidos a partir de las pruebas de producción Drill Stem Test (DST) cuando estas estuvieran disponibles. La precisión de estos datos se considera la más cercana a la realidad y podrá servir para comparar los resultados de las correcciones de Horner con datos más precisos tomados directamente en la formación. Otras correcciones que se pueden considerar dependiendo de la disponibilidad de los datos son las correcciones por Flujo Radial Esférico o Fuente de Calor Cilíndrica. Las correcciones por topografía y por temperatura atmosférica o paleoclima también se considerarán y se evaluará su influencia en el resultado final.

A. FUENTES DE INFORMACIÓN

La información que se utilizará para este trabajo proviene del Banco de información Petrolera EPIB. Para las correcciones de gradientes geotérmicos propuestos en el apartado anterior se partirá de las tablas organizadas en 2009 por el SGC la cual cuenta con información de 4605 pozos de todas las cuencas del país con los siguientes datos:

UWI	Nombre del Pozo	Profundidad Total (ft)	Departamento	Cuenca	Latitud	Longitud	Coordenada X	Coordenada Y	Elevación GL (ft)	Elevación (m)	Temperatura a en superficie (°C)	BHT (°F)	BHT (°C)	Profundidad BHT (ft)	Profundidad BHT (m)	Gradiente Geotérmico Aparente (°C/Km)	Año de actualización del dato
-----	-----------------	------------------------	--------------	--------	---------	----------	--------------	--------------	-------------------	---------------	----------------------------------	----------	----------	----------------------	---------------------	---------------------------------------	-------------------------------

Se agregarán datos de temperaturas tomados de pruebas de DST para mejorar el modelo, así como datos nuevos y recientes de BHT cuando la necesidad de aumentar la densidad de datos lo amerite.

B. TRATAMIENTO DE DATOS

El tratamiento de la información consistirá en la selección, conversión de unidades, corrección de temperaturas, estimación de gradientes, aplicación de un método de interpolación y generación del mapa.

Para la obtención de los nuevos datos de BHT que mejoren la densidad de datos en aquellos lugares donde sea requerido, se hará un control de calidad que involucre la eliminación de registros de pozo sin información de localización, información dudosa por su magnitud, eliminación de redundancia de datos, eliminación de registros inconsistentes como temperaturas iguales a temperaturas considerablemente diferentes y viceversa.

Para la generación de contornos se utilizará el método de interpolación de mínima curvatura con tamaño de celda de 10 km y distancia de blanqueo de 50 km. Se hará un análisis de frecuencia para supresión de valores altos con el fin de establecer interpolación representativa regional y se aplicará un método de visualización relieve de sombras (shadow relief) a la magnitud de la variable (gradiente geotérmico).

El mapa se elaborará en el software ArcMap por ser el programa de trabajo para la información geográfica en la ANH incluyendo las coberturas oficiales de las cuencas sedimentarias (archivos digitales proporcionados por la ANH) y la cobertura de puntos con convenciones de tamaño y color, para diferenciar la magnitud del gradiente estimado y la profundidad a la cual se midió la temperatura de fondo de pozo, respectivamente. Para el procedimiento de interpolación puede

utilizarse cualquier software apropiado para el caso, pero la salida gráfica debe montarse en ArcGis.

2. ESTIMACIÓN DE FLUJO DE CALOR

Estimar el flujo de calor por temperatura de fondo de pozo, requiere de la información conductividad térmica efectiva; esto es, de los espesores de las capas litológicas del intervalo entre la superficie y la profundidad de medición de la temperatura y su correspondiente conductividad térmica. La información litológica es inferida a partir de las curvas de varios tipos de registros hechos en los pozos perforados. Las curvas más útiles para este propósito son las de registros de *rayos gamma*, índice de absorción fotoeléctrica, resistividad y una combinación de las porosidades medidas por los registros de densidad de formación y neutrónico. La conductividad térmica, se mide directamente en muestras de núcleos o de rípios de perforación de pozos con información pública. La información más confiable proviene de la medición sobre muestras de núcleo. Es decir que la disponibilidad de esta información es muy limitada; para hacer posible la estimación de flujo de calor, se deben asumir valores de conductividad térmica a partir de tablas de referencia en donde se relacionan los valores de esta variable con los niveles litológicos de cada formación geológica, construidas a partir de las mediciones directas sobre las muestras disponibles.

Para este proyecto, se realizarán mediciones directas de conductividad térmica en núcleos de perforación y/o rípios disponibles en la Litoteca Nacional, y se encontrarán correlaciones de estas mediciones a diferentes propiedades que pueden leerse directamente en perfiles de pozos disponibles de esta manera:

Relación de la conductividad térmica vs. contenido de arcilla
Relación de conductividad térmica vs. porosidad.
Relación de conductividad térmica vs. tipo de fluido
Relación de conductividad térmica vs. tipo de roca (Arenisca, Caliza, Lodolita, Marga)

A partir de las relaciones empíricas encontradas entre la conductividad térmica y las propiedades petrofísicas se desarrollará un modelo de predicción de la conductividad térmica para cada cuenca a partir de registros de pozos que se cargará en un proyecto Petrel. Se exige el modelo en Petrel porque es el software licenciado a la Agencia Nacional de Hidrocarburos y con el que se han estandarizado todos los proyectos ejecutados por la entidad.

Para un adecuado control de calidad de las mediciones de conductividad térmica en los núcleos o rípios se repetirá una medición a cada 10 mediciones, si se encuentra que supera el máximo error permitido por el fabricante del equipo de medición, se repetirán las últimas 10 mediciones y se realizará de nuevo la medición de control.

A partir del gradiente geotérmico corregido y de los datos de conductividad térmica obtenidos directamente y los obtenidos del modelo de predicción se calculará el flujo de calor en los diferentes sectores de la cuenca generando el mapa de flujo de calor.

Para la verificación del modelo de predicción de conductividad térmica a partir de registros de pozos se tomarán mediciones aleatorias desde los registros (al menos un 10% del total de mediciones directas que se hubieren realizado) y se tomarán mediciones directas en núcleos o rípios de perforación de los pozos a donde pertenecen esos registros. La comparación de conductividades térmicas medidas por los dos métodos no podrá exceder el valor de 0.3 W(mK)^{-1} . En caso de exceder el valor, el contratista debe reevaluar el modelo y proceder a una nueva verificación.

A. MEDICIONES DIRECTAS DE FLUJO DE CALOR:

Las técnicas de medición comunes para la caracterización de las propiedades termofísicas de los materiales se basan en la aplicación de la perturbación térmica al sistema, generalmente en equilibrio térmico. La perturbación de calor debe generarse en forma de gradiente de temperatura, flujo de calor constante, generación del balance de flujo de calor y generación de calor en régimen transitorio utilizando el pulso o la forma escalonada del calor.

Los métodos de medición se dividen según varios criterios. Los métodos absolutos que operan sobre la base de principios básicos y los métodos comparativos que se basan en la comparación con la muestra estándar.

Según el tipo de calentamiento de la muestra, tenemos los métodos que no utilizan la fuente de calor y se caracterizan por el cero del flujo de calor en la muestra. La temperatura de la muestra se modifica por el entorno que la rodea o por el contacto con otra materia o entorno que actúa como fuente infinita de calor. En esta clase tenemos estacionarios y no estacionarios (dinámico). En el primer caso esperamos el estado de equilibrio y en el segundo se mide la distribución de temperatura. La conductividad térmica la podemos determinar por ambos métodos, pero la difusividad térmica solo por el transitorio.

Los métodos que utilizan la fuente de calor se caracterizan por un flujo de calor distinto de cero. La fuente de calor se realiza en la superficie de la muestra con una potencia distinta de cero. En este grupo podemos dividir los métodos según la forma de la fuente de calor, según el tiempo de duración del pulso de calor y finalmente la forma de la muestra.

Según la generación de la perturbación térmica podemos dividir las técnicas de medida en varias clases; los métodos de equilibrio, métodos de estado estacionario y métodos dinámicos. Son de contacto o no contacto. El principio de los métodos de contacto se basa en la generación de calor en el interior de la muestra previamente equilibrada en equilibrios térmicos. Se supone que el pulso de calor es una perturbación en el campo de temperatura estabilizado. Las técnicas de medición registran los cambios en el campo de temperatura en forma de respuesta de temperatura a este pulso de calor. Los puntos de medición están ubicados dentro del cuerpo de la muestra o en las superficies de la losa de muestra investigada

El tamaño de la muestra es un criterio común para todos los métodos. Los métodos estacionarios, como la placa caliente protegida, necesitan una geometría de muestra más grande, por lo general, la base de la geometría es de aproximadamente 50-100 cm. Las técnicas transitorias necesitan especímenes mucho más pequeños y comenzando con una geometría que tiene un tamaño de varios mm hasta una dimensión de 100 mm y 150 mm.

Los métodos transitorios para la caracterización de las propiedades termofísicas de los materiales son relativamente nuevos en comparación con los métodos clásicos. Muchas de las técnicas transitorias se desarrollaron recientemente. La ventaja está en el arreglo experimental simple y el tamaño del espécimen.

Para este proyecto se recomienda la utilización de un método transitorio. No se solicitará un equipo con algún modelo específico de los existentes en el mercado, pero si se requerirá una garantía del fabricante de que el equipo de medición en condiciones normales puede efectuar al menos 5 mediciones cada 8 horas incluyendo la preparación de la muestra.

B. PROCESAMIENTO GEOESTADÍSTICO

Se aplicará un proceso geoestadístico para la generación de los mapas de gradiente geotérmico y flujo de calor de las cuencas con base en la generación de grillas, selección de tamaño de celda

y distancia de blanqueo, análisis de frecuencias en el espacio de Fourier y aplicación de un filtro Butterworth.

Para producir las grillas de gradiente y flujo de calor se propone, aunque no exclusivamente, el método de interpolación de mínima curvatura, cuya finalidad es estimar el conjunto de valores para los nodos de la grilla de manera que la estimación se acerque al valor observado. La estimación del tamaño de la celda se basa en una regla general, en la cual, su tamaño corresponde a un cuarto de la raíz cuadrada del cociente entre el área a grillar y el número de datos. Se realizarán varias pruebas para encontrar el tamaño de celda más apropiado y la distancia de blanqueo.

3 ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN ELÉCTRICO

Cuando se produce petróleo y/o gas a menudo también se lleva agua a la superficie. Esta agua se conoce como agua "coproducida". La cantidad de agua coproducida de un pozo varía considerablemente según las propiedades de la formación, el tipo de pozo (petróleo o gas) y la edad y la historia del pozo. Por ejemplo, los pozos de petróleo generalmente producen grandes volúmenes de petróleo al principio de su vida útil. A medida que el pozo envejece, aumenta la cantidad relativa de agua producida, o corte de agua. Cerca del final de su vida útil, el pozo podría estar produciendo predominantemente agua y solo una pequeña fracción de petróleo.

Existen potencialmente algunos usos beneficiosos del agua coproducida. Algunos campos de pozos producen suficiente agua a temperaturas suficientemente altas para producir electricidad con un *ciclo de Rankine orgánico* (ORC) o una planta de energía binaria. Después de separarse del petróleo y/o gases producidos, el agua coproducida pasaría a través de un intercambiador de calor para transferir calor del fluido coproducido al fluido de trabajo de una planta de energía ORC. El fluido de trabajo calentado luego continuaría hacia una turbina para generar electricidad en la planta de energía ORC de circuito cerrado.

En este proyecto se realizará el cálculo del potencial de generación eléctrico de las aguas de coproducción para pozos activos y abandonados de las cuencas del estudio.

Se tendrá en cuenta para el cálculo del potencial de generación eléctrica hasta un 10% de la información de pozos disponibles en las cuencas tomando pozos representativos de cada campo para proyectar un valor de potencial de generación por campos en las cuencas. La selección de pozos abandonados para el cálculo de potencial de generación se realizará con base en la información disponible del pozo y su cercanía a centros poblados. Para estos pozos abandonados puede ser difícil contar con el dato de temperatura de agua coproducida en superficie, en tal sentido, se asumirá como temperatura en superficie la registrada en fondo de pozo (BHT) si estuviera disponible (Augustine, et al, 2014). Se preferirán siempre los pozos más profundos para el análisis de información teniendo en cuenta que son los pozos de los cuales se espera obtener temperaturas más altas de las aguas de coproducción.

Para determinar el potencial de producción de electricidad de un pozo, se utilizarán las tasas conocidas de flujo promedio y la temperatura del fluido. El potencial de producción de electricidad se estimará entonces calculando la cantidad de electricidad que podría producirse a partir de la energía térmica disponible en el fluido producido. Se construirá una base de datos a partir de la información disponible en las formas ministeriales de fiscalización de las operaciones de petróleo y gas, que varían ampliamente en términos de disponibilidad, usabilidad y contenido de información, y por esta razón, no se considera utilizar todos los pozos perforados para el cálculo de potencial de generación en esta fase.

La cantidad de electricidad que se puede generar a partir de un pozo depende no solo del caudal y la temperatura del agua coproducida, sino también de la eficiencia de la planta de energía ORC para convertir la energía térmica en energía eléctrica. Para capturar la variabilidad potencial en las eficiencias de las centrales eléctricas, se estimará el potencial de generación de electricidad del

recurso coproducido con los siguientes modelos:

Exergía (potencial teórico de potencia máxima). Este modelo es la cantidad máxima teórica de trabajo termodinámicamente limitada que se puede extraer del recurso fluido en relación con el entorno ambiental (estado muerto).

La exergía, E , es la cantidad máxima teórica de trabajo que se puede extraer del agua coproducida en relación con el ambiente o estado muerto y se define como:

$$\dot{E} = \dot{m} \{ [H(T_{in}) - H(T_{ambient})] - T_{ambient} [S(T_{in}) - S(T_{ambient})] \}.$$

Para el cálculo de entalpía y entropía se asumirá que el recurso coproducido es agua pura y se ignorarán los efectos de la presión, de tal manera que la entalpía y entropía serán solo función de la temperatura.

El Modelo MIT (Instituto Tecnológico de Massachussets): Este modelo deriva de la eficiencia térmica de las centrales eléctricas ORC en el informe *The Future of Geothermal Energy* liderado por el MIT (MIT 2006).

El informe: *The future of Geothermal Energy* (MIT 2006) incluyó uno de los primeros cálculos del potencial de generación de electricidad de EE. UU. a partir de recursos coproducidos. Su análisis basó el potencial de generación de energía en una correlación para la eficiencia térmica derivada de datos de plantas ORC geotérmicas existentes con temperaturas operativas entre aproximadamente 212 y 392F (100 y 200C). La eficiencia térmica se define como la relación entre la tasa neta de producción de trabajo de la planta de energía y la tasa neta de entrada de calor en la planta de energía y se da de la siguiente manera:

$$\eta_{th} = \frac{W}{\dot{Q}} = 0.0935'T(^{\circ}C) - 2.3266$$

Donde el calor de entrada de la planta está dado por el cambio de entalpía del fluido entre la entrada y la salida de la planta:

$$\dot{Q} = \dot{m} [H(T_{in}) - H(T_{out})]$$

Nomenclature

- E = exergy, mL^2/t^3 , kJ/s
- $H(T)$ = specific enthalpy of fluid at temperature T , L^2/t^2 , kJ/kg
- m = mass flow rate of coproduction resource (water from well), m/t, kg/s
- \dot{Q} = rate of net heat input to power plant, mL^2/t^3 , kJ/s
- $S(T)$ = specific entropy of fluid at temperature T , L^2/t^2T , kJ/($kg \cdot ^{\circ}C$)
- $T_{ambient}$ = ambient temperature, T , $^{\circ}C$
- T_{in} = plant-inlet temperature, T , $^{\circ}C$
- T_{out} = plant-outlet temperature, T , $^{\circ}C$
- W = net power output from power plant, mL^2/t^3 , kW_e
- η_{th} = thermal efficiency, dimensionless, %

IV. PRODUCTOS Y ACTIVIDADES RELACIONADAS

1. Mapa de Gradientes Geotérmicos

- Selección de pozos con información suficiente para aplicar correcciones al gradiente geotérmico.
- Correcciones al gradiente geotérmico por Horner o Flujo Radial Esférico o Fuente de Calor Cilíndrica, por topografía y temperatura atmosférica.
- Incorporación de datos de temperaturas de formación registrados en pruebas DST.
- Generación del Mapa de Gradientes Geotérmicos de las cuencas del estudio.
- Modelo 3D de temperaturas de la cuenca.
- Generación de mapas de temperatura al tope de diferentes unidades formacionales.
- Cortes geológicos en diferentes sectores de la cuenca visualizando isotermas.
- Carga de información en base de datos.
- Generación de *geodatabase*.

Nota: 1: Se entiende que el producto debe venir acompañado de un informe final (el informe final contendrá un resumen ejecutivo en idioma inglés), el proyecto SIG con la *geodatabase* asociada con la información generada en el proyecto y la base de datos en formato SQL Server 2016 R2, sobre el sistema Operativo Windows Server 2014 Standard (o versión más reciente).

Nota 2: Los nemónicos de los nombres de los pozos en la base de datos deben coincidir con los que utiliza la ANH en sus bases de datos. Por lo tanto, durante la eventual ejecución de este proyecto, la ANH coordinará con el contratista la forma en la que se identificarán los pozos en la base de datos.

2. Mapa de Flujo de Calor.

- Mediciones directas de conductividad térmica en núcleos y/o ripios de la Litoteca Nacional.
- Control de calidad en las mediciones directas de conductividad térmica
- Carga en un proyecto de Petrel de registros de pozos *gamma ray*, resistividad, sónico, porosidad-neutrón y densidad.
- Generación del modelo de predicción de conductividad térmica a partir de registros de pozos.
- Validación del modelo de predicción de conductividad térmica.
- Generación del modelo de interpolación de datos para la elaboración del mapa de flujo de calor.
- Generación de *geodatabase*.
-

Nota: 1: Se entiende que el producto debe venir acompañado de un informe final (el informe final contendrá un resumen ejecutivo en idioma inglés), el proyecto SIG con la *geodatabase* asociada con la información generada en el proyecto y la base de datos en formato SQL Server 2016 R2, sobre el sistema Operativo Windows Server 2014 Standard (o versión más reciente).

Nota 2: Los nemónicos de los nombres de los pozos en la base de datos deben coincidir con los que utiliza la ANH en sus bases de datos. Por lo tanto, durante la eventual ejecución de este proyecto, la ANH coordinará con el contratista la forma en la que se identificarán los pozos en la base de datos.

3. Calculo del Potencial de Generación eléctrica.

- Revisión de formas ministeriales de fiscalización de pozos hidrocarbúferos
- Carga de información de pozos en base de datos.
- Cálculo del potencial de generación para los pozos seleccionados.

	<ul style="list-style-type: none"> Estimación del potencial de generación por campos dentro de la cuenca. Elaboración de un ranking de zonas con potencial de generación dentro de la cuenca. Mapeo de regiones con pozos hidrocarburíferos y su potencial de generación estimado. <p>Nota: 1: Se entiende que el producto debe venir acompañado de un informe final (el informe final contendrá un resumen ejecutivo en idioma inglés), el proyecto SIG con la geodatabase asociada con la información generada en el proyecto y la base de datos en formato SQL Server 2016 R2, sobre el sistema Operativo Windows Server 2014 Standard (o versión más reciente).</p> <p>Nota 2: Los nemónicos de los nombres de los pozos en la base de datos deben coincidir con los que utiliza la ANH en sus bases de datos. Por lo tanto, durante la eventual ejecución de este proyecto, la ANH coordinará con el contratista la forma en la que se identificarán los pozos en la base de datos.</p> <p>TIEMPO DE ENTREGA:</p> <p>El tiempo de ejecución del proyecto es de ocho (8) meses, en todo caso no podrá superar el 29 de diciembre de 2023.</p>																				
LUGAR DE EJECUCIÓN:	Bogotá D.C.																				
PROPUESTA ECONÓMICA:	<p>La siguiente tabla muestra los perfiles del personal mínimo que se requieren para liderar el proyecto. Con toda seguridad, el proyecto requiere personal adicional de apoyo y su costo debe incluirse con la aplicación del factor multiplicador (Ver al final del documento, ejemplos de los aspectos que debe incluir el factor multiplicador).</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="5">Personal Mínimo</th> </tr> <tr> <th>Cargo</th> <th>Perfil</th> <th>Cantidad</th> <th>Dedicación</th> <th>Experiencia Mínima</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Director del proyecto</td> <td>Geólogo o Ingeniero Geólogo o profesional en disciplinas del área de las ciencias básica o ingenierías con Maestría o Doctorado</td> <td>Uno (1)</td> <td>100%</td> <td>Diez (10) años de experiencia general de los cuales cinco (5) años o 5 proyectos deben haber sido como coordinador y/o, supervisor y/o director y/o en proyectos de geotermia o en modelamiento de cuencas.</td> </tr> <tr> <td>Asesor de Geotermia</td> <td>Geólogo o Ingeniero Geólogo o profesional en disciplinas del área de las ciencias básica o ingenierías con Maestría o Doctorado</td> <td>Uno (1)</td> <td>100%</td> <td>Ocho (8) años de experiencia general de los cuales cinco (5) años o 5 proyectos deben comprobar experiencia en geotermia.</td> </tr> </tbody> </table>	Personal Mínimo					Cargo	Perfil	Cantidad	Dedicación	Experiencia Mínima	Director del proyecto	Geólogo o Ingeniero Geólogo o profesional en disciplinas del área de las ciencias básica o ingenierías con Maestría o Doctorado	Uno (1)	100%	Diez (10) años de experiencia general de los cuales cinco (5) años o 5 proyectos deben haber sido como coordinador y/o, supervisor y/o director y/o en proyectos de geotermia o en modelamiento de cuencas.	Asesor de Geotermia	Geólogo o Ingeniero Geólogo o profesional en disciplinas del área de las ciencias básica o ingenierías con Maestría o Doctorado	Uno (1)	100%	Ocho (8) años de experiencia general de los cuales cinco (5) años o 5 proyectos deben comprobar experiencia en geotermia.
Personal Mínimo																					
Cargo	Perfil	Cantidad	Dedicación	Experiencia Mínima																	
Director del proyecto	Geólogo o Ingeniero Geólogo o profesional en disciplinas del área de las ciencias básica o ingenierías con Maestría o Doctorado	Uno (1)	100%	Diez (10) años de experiencia general de los cuales cinco (5) años o 5 proyectos deben haber sido como coordinador y/o, supervisor y/o director y/o en proyectos de geotermia o en modelamiento de cuencas.																	
Asesor de Geotermia	Geólogo o Ingeniero Geólogo o profesional en disciplinas del área de las ciencias básica o ingenierías con Maestría o Doctorado	Uno (1)	100%	Ocho (8) años de experiencia general de los cuales cinco (5) años o 5 proyectos deben comprobar experiencia en geotermia.																	

	Asesor o Líder Petrofísico	Geólogo o Ingeniero Geólogo o Ingeniero de Petróleos Con Maestría	Uno (1)	100%	Ocho (8) años de experiencia general de los cuales cinco (5) años o 5 proyectos deben comprobar experiencia en evaluación petrofísica.
	Asesor o Líder SIG	Geólogo o Ingeniero Geólogo o Ingeniero catastral o geodesta con Maestría	Uno (1)	100%	Ocho (8) años de experiencia general de los cuales cinco (5) años o 5 proyectos deben comprobar experiencia en Sistema de Información Geográfica.
	Asesor o Líder de Modelamiento	Geólogo o Ingeniero Geólogo, o profesional en áreas de las ciencias (Física, Química, Matemáticas, Estadística) con Maestría.	Uno (1)	100%	Ocho (8) años de experiencia general de los cuales cinco (5) años o 5 proyectos deben comprobar experiencia en modelamiento de datos o modelamiento numérico o geostatística o ingeniería de datos o inteligencia artificial.

Se solicita a las empresas o instituciones que acompañen la respuesta a este sondeo, su propuesta técnica detallada. Haciendo énfasis en los productos/entregables solicitados y las subactividades que desarrollarán, así como el valor agregado que ofrecen.

Para la propuesta económica se deben diligenciar las tablas de los archivos excel adjuntos a este documento, donde se calcula el costo total de la propuesta con base en los productos/entregables establecidos, adicionalmente, se solicita indicar en la propuesta económica la tabla salarial del personal mínimo requerido, costos de licencias, softwares, y el factor multiplicador (F.M.) que conlleve el proyecto.

Son tres subproyectos que se cotizan de manera separada, por lo tanto, son tres archivos Excel que deben ser diligenciados, se solicita realizar las tres cotizaciones aun cuando solo exista interés por un solo subproyecto. Para la licitación, el proponente tiene la libertad de elegir a cuál o cuáles subproyectos le gustaría aplicar.

Las siguientes, son un ejemplo de las tablas que se deben diligenciar. El diligenciamiento debe hacerse en los archivos Excel adjuntos a la invitación. Se recomienda, además de devolver el archivo Excel diligenciado, imprimir las hojas en un pdf protegido por contraseña.

PRESUPUESTO DE GASTOS PROYECTO ACTUALIZACION MAPA FLUJO DE CALOR							
GASTOS DE RECURSO HUMANO – (PERSONAL MINIMO)							
RECURSO HUMANO	A	B	C	D	E	F	G
	SALARIO MES, \$	DEDICACIÓN, %	VALOR MES (A*B), \$	F.M.	# DE MESES	CANTIDAD	TOTAL (C*D*E*F), \$

Director del proyecto		100%	\$ -		8	1	\$ -
Asesor de Geotermia		100%	\$ -		8	1	\$ -
Asesor o Líder Petrofísico		100%	\$ -		8	1	\$ -
Asesor o Líder SIG		100%	\$ -		8	1	\$ -
Asesor o Líder de Modelamiento		100%	\$ -		8	1	\$ -
SUBTOTAL PERSONAL							\$ -

ALQUILER DE SOFTWARE ESPECIALIZADO				
TIPO DE ELEMENTO	A UNIDAD	B CANTIDAD	C VALOR UNITARIO	SUBTOTAL (B*C)
Software PETREL	Licencia	3		\$ -
Software ARCGIS	Licencia	3		\$ -
OTRO SOFTWARE (MODELAMIENTO ESTADISTICO/GEOESTADISTICO)	Licencia	3		\$ -
SUBTOTAL ALQUILER SOFTWARE				\$ -

LABORATORIO				
TIPO DE ELEMENTO	Numero de mediciones	C VALOR UNITARIO	SUBTOTAL (B*C)	
Mediciones de Conductividad termica y capacidad calorifica	240		\$	-
TOTAL PROPUESTA ANTES IMPUESTO (SUBTOTAL PERSONAL + SUBTOTAL ALQUILER SOFTWARE+LABORATORIO)			\$	-
IVA			\$	-
TOTAL COTIZACION			\$	-

Se solicita no modificar la tabla para efecto de comparación de propuestas.

PRESENTACIÓN DE INQUIETUDES Y OBSERVACIONES: Las firmas interesadas podrán presentar la inquietudes u observaciones que surjan del presente sondeo de mercado al correo electrónico: estudios.mercado@anh.gov.co, antes del día **10 de marzo de 2023**.

ENTREGA DE INFORMACIÓN DEL SONDEO DE MERCADO: Las firmas invitadas deberán presentar la información solicitada en el presente sondeo de mercado al correo electrónico: estudios.mercado@anh.gov.co, antes del día **15 de marzo de 2023**.

HUGO HERNAN BUITRAGO GARZÓN
VICEPRESIDENTE TÉCNICO (E)

Anexos: 3 Archivos excel (uno por cada subproyecto)
Aprobó: NA
Revisó: Sait Khurama Velázquez – Gerente de Gestión del Conocimiento/Componente Técnico, Jurídico, Administrativo
Johanna Milena Aragón - Jefe Oficina Jurídica (e) /Componente Jurídico
Proyectó: Nelson Gregorio Lizarazo Suarez – Experto G3 Grado 06 / Componente Técnico 

FACTOR MULTIPLICADOR

La conformación del Factor Multiplicador sobre los costos de personal incluye sueldos, jornales, horas extras, primas, viáticos, prestaciones sociales, costos indirectos asociados con la prestación de servicios de una firma de consultoría, así como sus honorarios.

En consecuencia, según Colombia Compra Eficiente, el Factor Multiplicador está conformado por los siguientes componentes del costo:

1. Costos de personal
2. Prestaciones sociales
3. Costos indirectos de la compañía, costos de perfeccionamiento, impuestos y timbres del contrato.
4. Honorarios

Ahora bien, a continuación, se desprende un ejemplo base sobre el cual se estima el factor multiplicador:

1. Costos de personal-sueldo básico.
2. Prestaciones sociales: para una compañía el valor de las prestaciones sociales legales depende de la antigüedad promedio ponderadas con los sueldos de todo su personal y prestaciones extralegales reconocidas por la firma consultora y definida dentro de los siguientes componentes:
 - a. Prima anual
 - b. Cesantía anual
 - c. Intereses a las cesantías
 - d. Vacaciones anuales
 - e. EPS
 - f. Subsidio familiar
 - g. SENA
 - h. ICBF
 - i. Seguros de ley
 - j. Indemnización de ley
 - k. Otros (incapacidad no cubierta EPS y medicina prepagada, dotación, auxilios varios, prestaciones extralegales)

3. Costos indirectos de la compañía: los costos indirectos de la compañía comprenden los gastos y costos de operar la organización como un todo y tienen que ser atendidos en todo momento para ofrecer al cliente la disponibilidad de los servicios. Estos gastos no se originan, ni son efectuados en virtud de un proyecto en específico:

Gastos generales:

- a. Alquiler de oficinas
- b. Servicios públicos
- c. Papelería y útiles de oficina
- d. Fotocopias
- e. Gastos bancarios
- f. Servicios médicos
- g. Mantenimiento de oficinas
- h. Alquiler, mantenimiento vehículos de administración y gerencia
- i. Seguros incendio y robo
- j. Asociaciones profesionales
- k. Documentación técnica
- l. Revistas y publicaciones
- m. Entrenamiento de personal
- n. Representación y promoción
- o. Preparación y edición de propuestas
- p. Gastos de viaje
- q. Depreciación
- r. Costos de personal no facturable
- s. Costos de perfeccionamiento y timbre del contrato
- t. Honorarios

4. Costos financieros: los gastos financieros son una carga sobre los costos de las compañías consultoras y se ocasionan por la demora de los clientes en realizar los pagos a los consultores. Por esta razón, usualmente se debe pactar el reconocimiento de intereses comerciales por mora en el pago de cuentas. Como alternativa, cuando no se pactan intereses de mora, se debe incluir dentro del Factor Multiplicador una suma adicional para cubrir estos costos financieros.