

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE POSGRADO

DIPLOMADO EN GEOTERMIA PARA AMÉRICA LATINA
EDICION 2018



TEMA:

Estudio de inclusiones fluidas en muestras de núcleo de pozos geotérmicos.

PRESENTA:

Oscar Oviedo Martinez

ASESOR:

Elizabeth Torio Henríquez

CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE 2018

Contenido

1.- Resumen	4
2.- Introducción	5
3.- Planteamiento del problema	6
4.-Justificación del estudio	7
5.- Objetivo general	8
5.1 Objetivo específico	8
6.- Marco teórico.....	9
6.1 Inclusiones fluidas	9
6.1.1.- Inclusiones primarias	9
6.1.2.- Inclusiones secundarias.....	11
6.1.3.- Inclusiones pseudosecundarias	12
6.2.- Clasificación inclusiones fluidas por fase.....	13
6.2.1.- Tipo I “Dos fases (L+V)”	14
6.2.2.- Tipo II “Dos fases (L+V)”	14
6.2.3.- Tipo III “Polifases (líquido+vapor+sólidos)”	15
6.2.4.- Tipo IV “Dos líquidos y minerales hijos”	16
6.3.- Metodologías de inclusiones fluidas	16
6.4.- Microtermometría	16
6.4.1.- Temperatura de homogeneización (Th)	17
6.4.2.- Temperatura de fusión del hielo (Tf)	19
6.5.- Geobarometría de inclusiones fluidas	21
7.- Metodología.....	21
7.1.- Documentación	21
7.2. Selección de muestras	21
7.3.- Descripción macroscópica de muestra.....	22
7.4.- Preparación de láminas doblemente pulidas o chips.....	23
• 7.4.1.- Cortar la muestra de mano	23
• 7.4.2. Eliminar surcos	23
• 7.4.3.- Pulir	24
• 7.4.4.- Preparar la solución de Alúmina	25

- 7.4.5 Pulida final primera etapa25
- 7.4.6.- Pulida final segunda etapa.....26
- 7.4.7.- pulido final tercera etapa.....26
- 7.4.8.- Empañar (nevar) el vidrio.....27
- 7.4.9.- Realizar el segundo pulido.....28
- 7.4.10.- Despegar la muestra del vidrio28
- 7.5 Localización y descripción de inclusiones fluidas29
- 7.6.- Equipo de inclusiones fluidas30
- 7.7.- Inserción de la muestra31
- 7.8 Temperatura de homogenización (Th).....31
- 7.9 Temperatura de fusión (Tf).....32
- 8.- Análisis de datos33
 - 8.1.- 700 m de profundidad33
 - 8.1.1.- Descripción megascópica33
 - 8.1.2.- Descripción microscópica34
 - 8.1.3.- Descripción de inclusiones35
 - 8.2.- 1000 m de profundidad35
 - 8.2.1.- Descripción megascópica35
 - 8.2.2.- Descripción microscópica36
 - 8.2.3.- Descripción de inclusiones37
- 9.- Presentación de resultados38
 - 9.1 Evolución térmica38
- 10.- Conclusiones43
- 11.- Recomendaciones43
- 12.- Agradecimientos44
- 12.- Referencias bibliográficas.....45
- 13.- Anexo 146

1.- Resumen

La energía geotermoeléctrica es considerada en la actualidad como la más valiosa actualmente ante los retos de mantener un ambiente sostenible y el calentamiento global para la reducción de emisión de gases, ya que cuenta con un factor de planta de arriba del 92% de eficiencia a lo largo del año, es por eso que cualquier aporte científico o técnicas para aumentar el éxito a la hora de hacer las propuestas de perforación de un pozo para extraer la materia prima para la generación de esta fuente de energía que es el vapor generado naturalmente por anomalías térmicas en el interior del planeta.

Para encontrar este recurso se requiere realizar diversos estudios dentro de la rama geocientífica con la finalidad de evaluar el sistema geotérmico y dimensionarlo con fines de explotación. Una de las técnicas que actualmente se está aplicando a la industria geotérmica es el estudio de microtermometría de inclusiones fluidas.

Las inclusiones fluidas son pequeñas burbujas de fluidos atrapadas dentro de un cristal durante su crecimiento y/o cristalización, las cuales son importantes ya que mediante el estudio de microtermometría tiene el alcance de poder interpretar los distintos eventos que ocurrieron durante la cristalización de un mineral, ya que se puede observar la temperatura y salinidad del fluido en el momento de su atrapamiento. Transformándose una herramienta valiosa para poder ver la evolución térmica a una profundidad de interés, logrando obtener los procesos químicos: ebullición enfriamiento, calentamiento y dilución.

Por eso dentro del estudio de un pozo 1 en el salvador se logró analizar las profundidades de 700 m donde se logró comparar con la curva de temperatura durante la perforación la temperatura de homogenización donde se puede observar que existe un equilibrio térmico con 182°C por el contrario de la profundidad de 1000 m donde la temperatura de homogenización fue menor a la temperatura medida con una diferencia de temperatura en un rango de 40° a 45°C cuyo parámetro presento una evolución química de disolución, calentamiento y ebullición, lo cual es una información relevante para el área donde se encuentra ubicado el pozo.

2.- Introducción

La energía geotérmica se encuentra acumulada bajo la superficie terrestre en forma de calor, por medio de las manifestaciones superficiales como son aguas termales, geiseres y fumarolas, es que se puede comprobar la existencia de este recurso que son anomalías que se miden por temperaturas mayores a la del gradiente de temperatura general de la tierra.

El aprovechamiento de la geotermia depende directamente de la cantidad de calor despedido del interior de la tierra, aprovechando esa energía calorífica para usos directos e indirectos.

El crecimiento exponencial de la población e industrias a nivel mundial exige al mercado energético una demanda en la generación de energía eléctrica, por tal motivo se deben de redoblar esfuerzos de forma sostenible libre de energías fósiles, siendo la generación geotermoeléctrica una fuente de energía renovable que cuenta con un factor de planta arriba del 90%.

La utilización de esta energía se encuentra en áreas donde las condiciones geológicas deben ser favorables, por lo que el desarrollo comienza con campañas geológicas de exploración superficial generando mapas geológicos-estructurales, geoquímicas que se encargan en realizar muestreo de manifestaciones superficiales de aguas y gases, como también campañas geofísicas de exploración indirecta profunda, con la finalidad de realizar un modelo multidisciplinario con el cual se realizara la o las propuesta de perforación, siendo la construcción de un pozo geotérmico la comprobación directa del modelo.

Durante la perforación de un pozo geotérmico se realiza la toma de núcleos de perforación o testigos, esta técnica consiste en obtener una muestra de roca tomada del pozo a una profundidad específica, preservando su estructura geológica, con la finalidad de realizar análisis petrofísicos y geológicos, en la industria geotérmica son tomados generalmente en el techo y dentro del reservorio. Lo interesante de estos testigos de perforación es la posibilidad de observar las vetillas formadas por la precipitación de minerales del fluido geotérmico, dando la posibilidad de realizar microtermometría de inclusiones fluidas.

3.- Planteamiento del problema

Las inclusiones fluidas son pequeñas burbujas de fluidos atrapadas dentro de un cristal durante su crecimiento y/o cristalización. Las inclusiones se obtienen de vetas mineralizadas en superficie o en recortes de perforación de pozo, en el caso de esta investigación las muestras analizadas corresponden a núcleos de perforación de un campo geotérmico X en El Salvador. Los principales aportes del estudio de las inclusiones fluidas en exploración geotérmica son la estimación de la temperatura en el subsuelo y en algunos casos la presión, adicionalmente es posible determinar estadios y zonas de ebullición, así como el tipo de fluido hidrotermal a partir de su salinidad.

El desconocimiento de las anteriores características puede relacionarse con el éxito o fracaso exploratorio de determinada área geotérmica, con el estudio de las inclusiones es posible tener conocimiento si el yacimiento se está enfriando o sobrecalentando, y así mejorar las estrategias en el aprovechamiento del recurso.

4.-Justificación del estudio

La ubicación espacial de los manantiales calientes, fumarolas, geiseres, zonas de alteración e inclusiones fluidas junto con el entendimiento de la configuración geológica estructural de una localidad se puede aplicar para determinar la evolución espacial, temporal y térmica de un sistema. Este enfoque es fundamental durante la exploración y producción geotérmica.

Las inclusiones fluidas se convierten en una de las herramientas más potentes para la exploración de un área geotérmica si se cuenta con varios pozos exploratorios. Este estudio cuenta con muestras provenientes de núcleos de perforación de un pozo exploratorio 1 de un área geotérmica del Salvador.

A partir de las muestras de roca suministrada se elaboran secciones doblemente pulidas para el análisis de inclusiones fluidas, los resultados de este estudio permitirán conocer la estabilidad del sistema, teniendo en cuenta que la temperatura en las inclusiones se correlacionará con medidas de temperatura realizadas durante la perforación.

5.- Objetivo general

Realizar el estudio de inclusiones fluidas en muestras de núcleos de perforación de un campo geotérmico X en el Salvador.

5.1 Objetivo específico

- Elaborar dos secciones doblemente pulidas a partir de muestras de núcleos de perforación.
- Realizar mediciones de temperatura de homogenización (T_h) y temperatura de fusión (T_f)
- Interpretar los resultados de microtermometría, con las temperaturas estabilizadas de perforación y la termometría dada por los minerales analizados en un microscopio óptico.

6.- Marco teórico

6.1 Inclusiones fluidas

Las inclusiones fluidas son interrupciones o defectos en la estructura cristalina de un mineral que han atrapado algún tipo de fluido durante el crecimiento del mismo. Éstas representan porciones atrapadas de los líquidos, gases y fundidos a partir de los cuales se produjo el crecimiento cristalino. Por ello, las inclusiones fluidas (incluyendo las de fundido) pueden ser usadas, previo análisis petrográfico, para reconstruir las condiciones ambientales del crecimiento cristalino, así como para caracterizar químicamente los fluidos a partir de los que se formaron los minerales que las contienen (e. g. Roedder, 1984; Goldstein y Reynolds, 1994; Van den Kerkhof y Hein, 2001).

Para estudiar las inclusiones fluidas es necesario tener en cuenta dos hipótesis fundamentales que condicionan su utilización y que es preciso admitir para que los resultados sean válidos. Estas dos condiciones son:

1.- El fluido atrapado represente la solución a partir de la cual creció el mineral o al estado geológico que se considere.

2.- El fluido una vez atrapado se supone que la cavidad permanece herméticamente y químicamente inerte. En este caso, las características fisicoquímicas del fluido, tales como la composición y la densidad, no se modifican, por lo que las inclusiones fluidas se comportan como cavidades de paredes rígidas que actúan como pequeñísimos sistemas termodinámicos aislados del exterior. En la práctica la mayor garantía de esta estanqueidad consiste en comprobar, que la inclusión recobra su estado inicial al volver a la temperatura ambiente.

A partir de las observaciones microscópicas en los minerales se puede distinguir tres tipos genéticos de inclusiones: primarias, secundarias y pseudosecundarias.

6.1.1.- Inclusiones primarias

Cuando los cristales crecen o recristalizan en un medio fluido de naturaleza homogénea se forman irregularidades de crecimiento capaces de atrapar pequeñas porciones del fluido. El sellado de tales irregularidades da lugar a la formación de las inclusiones fluidas primarias, las cuales se localizan en el avance de las caras, aristas y vértices del cristal. Estas inclusiones son las más representativas de las condiciones termodinámicas presentes en el momento del atrapamiento. Al ser accidentes en el proceso de crecimiento, se distribuyen al azar.

Roedder (1979a, 1981 y 1984) ha definido los mecanismos de captura de fluidos más comunes que se pueden presentar durante el crecimiento cristalino, los cuales se indican a continuación.

Las capas sucesivas que forman el cristal no son estrictamente planas, aunque el flujo de nutrientes sea uniforme. Normalmente se fijan sobre ellas gérmenes de tamaño diferente, formándose vacíos en la superficie y cavidades donde puede quedar aprisionado el fluido que rodea al cristal (Figura 1).

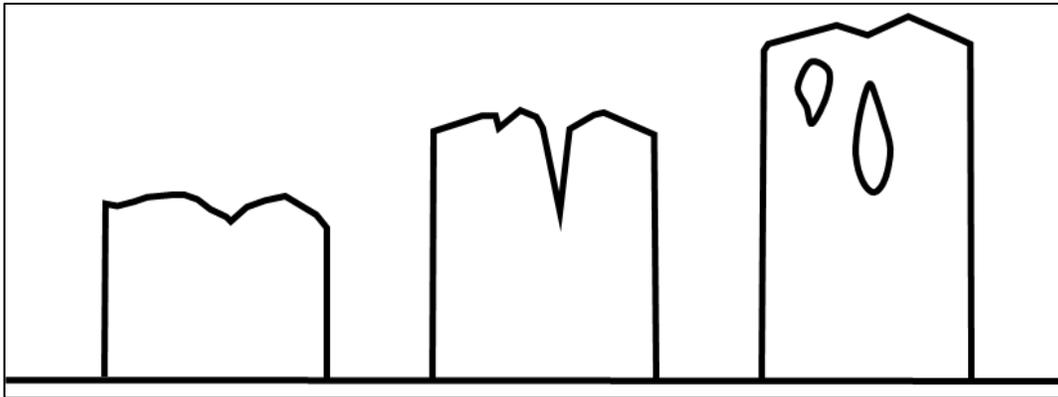


Figura 1.- Formación de inclusiones durante el crecimiento del cristal.

La disolución parcial de un mineral precoz produce numerosos entrantes en la superficie cristalina. Cuando continúa el crecimiento, se pueden formar inclusiones grandes, o bandas de inclusiones pequeñas, en las irregularidades de la superficie (Figura 2).

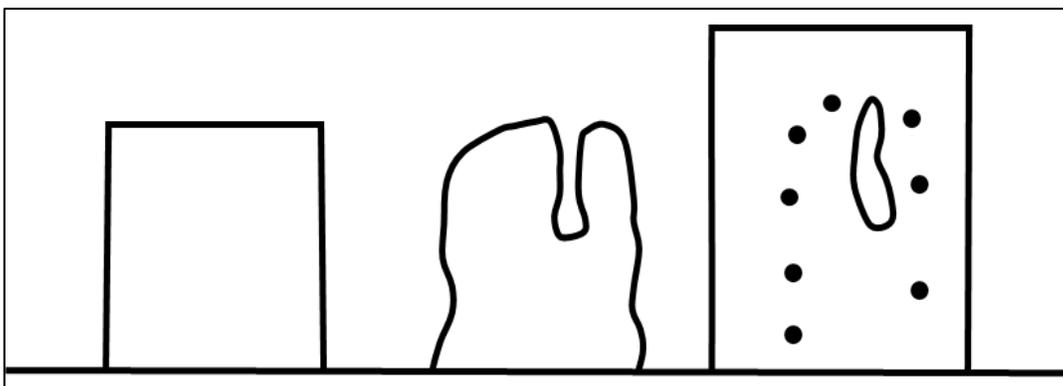


Figura 2.- Formación de inclusiones por disolución.

Cuando algún objeto sólido se fija a la superficie de un cristal en vías de crecimiento, puede quedar englobado como inclusión sólida y capturar al mismo tiempo alguna inclusión fluida (Figura 3).

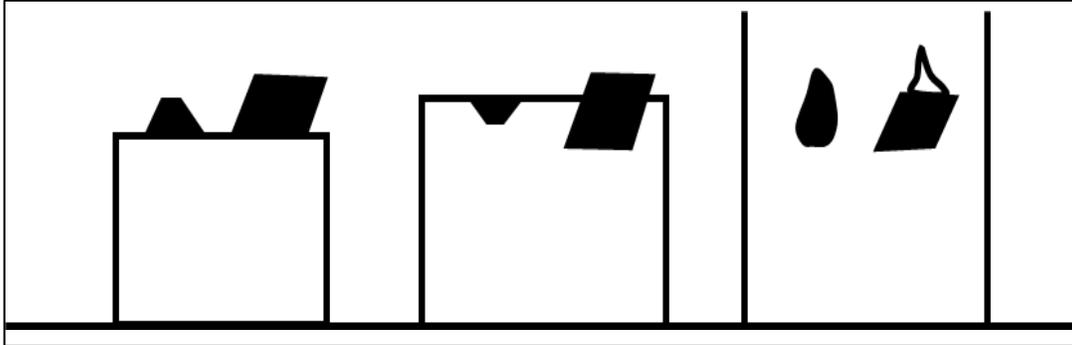


Figura 3.- Formación de inclusiones por atrapamiento de un sólido.

El crecimiento rápido de un mineral puede dar lugar a la formación de un cristal con bordes esqueléticos o dentríticos. Si a este episodio sucede otro de crecimiento más lento, pueden quedar atrapadas en el cristal inclusiones de tamaño variado (Figura. 4).

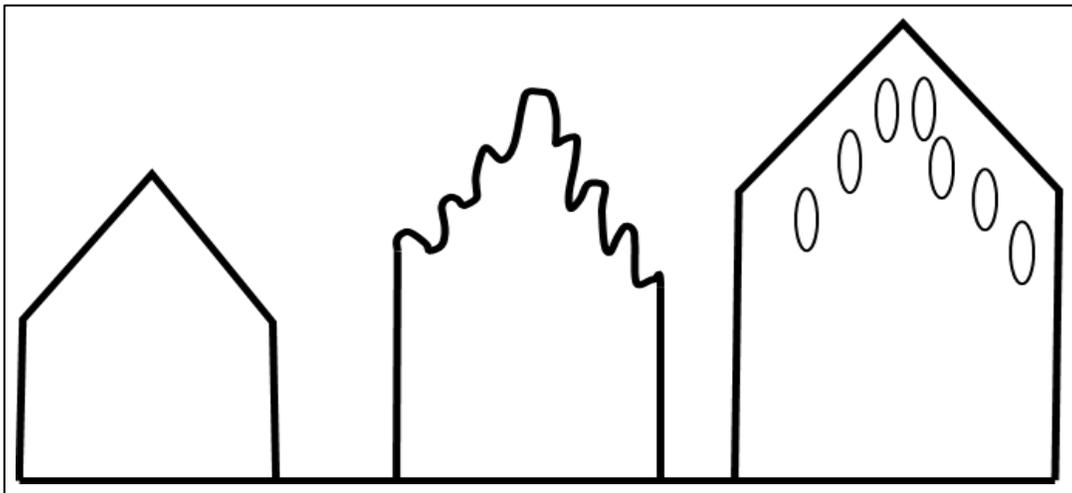


Figura 4.- Formación de inclusiones por bordes esqueléticos.

6.1.2.- Inclusiones secundarias

Se incluyen aquí todas las inclusiones que se originan con posterioridad a la formación del cristal. Así pues, si un cristal se fractura en presencia de un fluido de solubilidad finita, el fluido penetra en la fractura y comienza una acción de disolución y recristalización del mineral, reduciendo la superficie y atrapando un

conjunto de inclusiones secundarias (Figura 5). Como el cristal en donde se encuentra la fractura sigue cristalizando al tiempo que entra el fluido, el término inclusión secundaria es relativo.

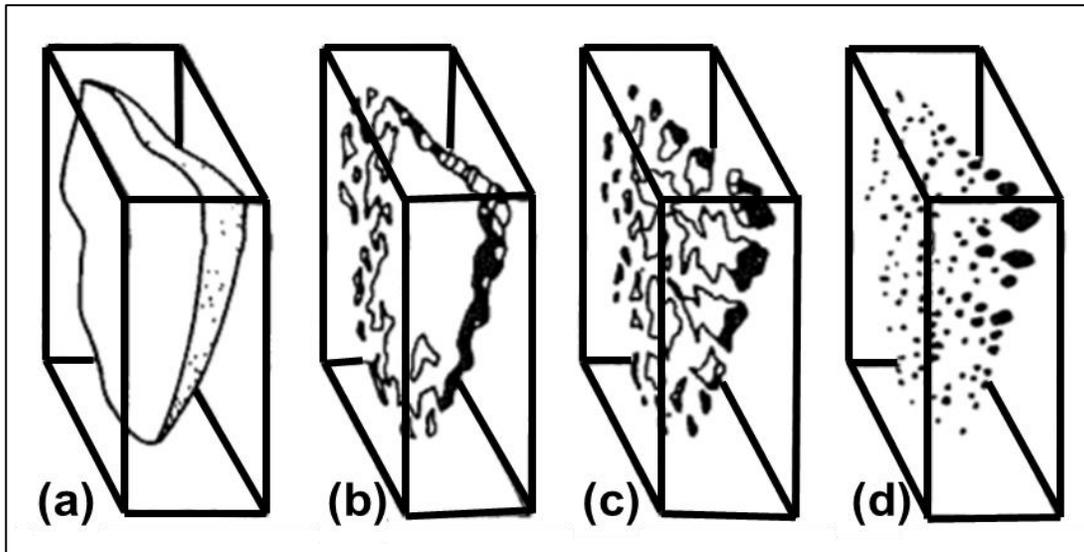


Figura 5.- Cicatrización de una fractura en un cristal de cuarzo que da lugar a la formación de inclusiones secundarias. Si este proceso ocurre al tiempo que desciende la temperatura, las inclusiones individuales pueden tener relaciones gas-líquido variables (Roedder, 1962a).

6.1.3.- Inclusiones pseudosecundarias

Si un cristal se fractura durante su crecimiento, los fluidos nutrientes entran dentro de la fractura y quedan atrapados dentro del cristal. Las inclusiones, formadas por este proceso reciben el nombre de pseudosecundarias y representan estados intermedios entre inclusiones primarias y secundarias (Figura 6).

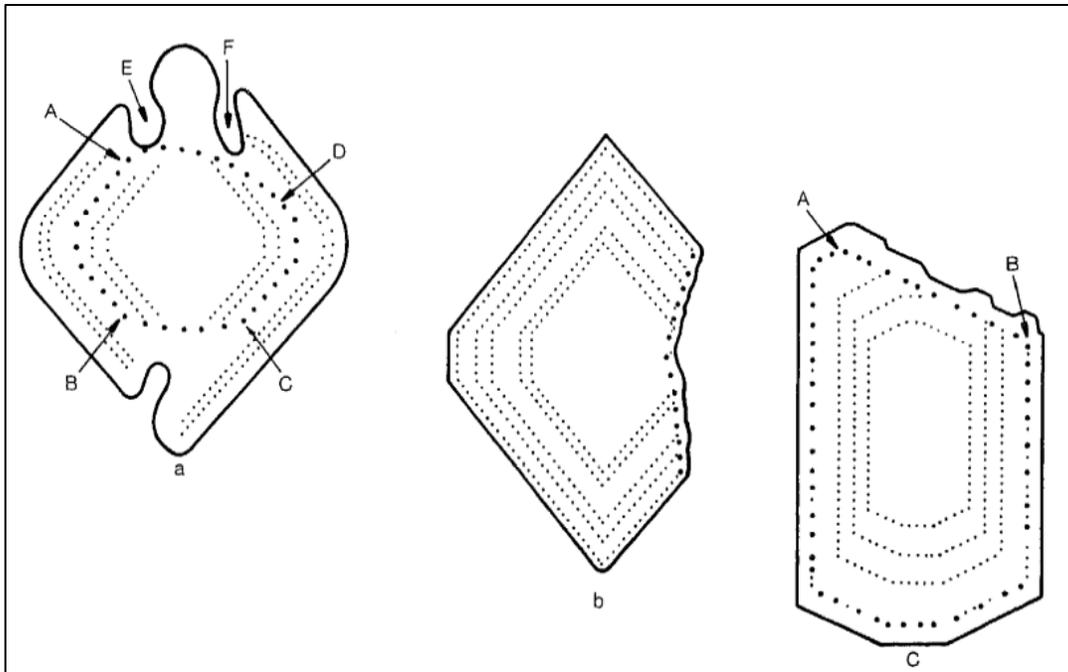


Figura 6. Inclusiones pseudosecundarias (Ermakov, 1950): a) Confinadas a la superficie de soldadura de un cristal (sectores AD y BC), o bien singenéticas, con inclusiones primarias regeneradas (sectores AB y CD) restringidas en este último caso o superficies débilmente atacadas. E y F espacios primarios, asociados con corrosiones globulares múltiples. b) Confinadas a superficies de corrosión planas. c) Asociadas con superficies de corrosión debidas a la exfoliación.

6.2.- Clasificación inclusiones fluidas por fase

Nash (1976; USGS Professional Paper 907D) presentó una clasificación de inclusiones fluidas basada en cuatro fases observables a temperatura ambiente; esto tiene importancia genética (Figura 7).

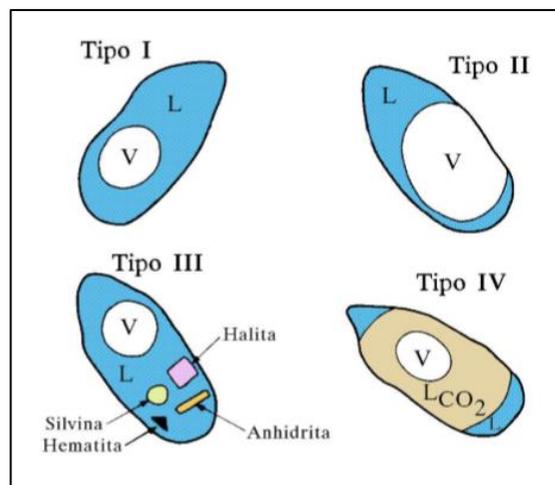


Figura 7.- Clasificación por fases de Nash.

6.2.1.- Tipo I “Dos fases (L+V)”

Estas inclusiones tienen como característica principal, que el agua cuenta con baja salinidad (0-23% en peso de NaCl), el porcentaje de la burbuja de vapor se encuentra en un parámetro entre 10 y 40% de la inclusión (Figura 8), al existir este tipo de inclusiones, se puede decir que el cristal que las aloja creció a partir de una solución hidrotermal ya que la burbuja de vapor se formó después de la cristalización debido al enfriamiento y es por eso que homogenizan a líquido al calentarlas.

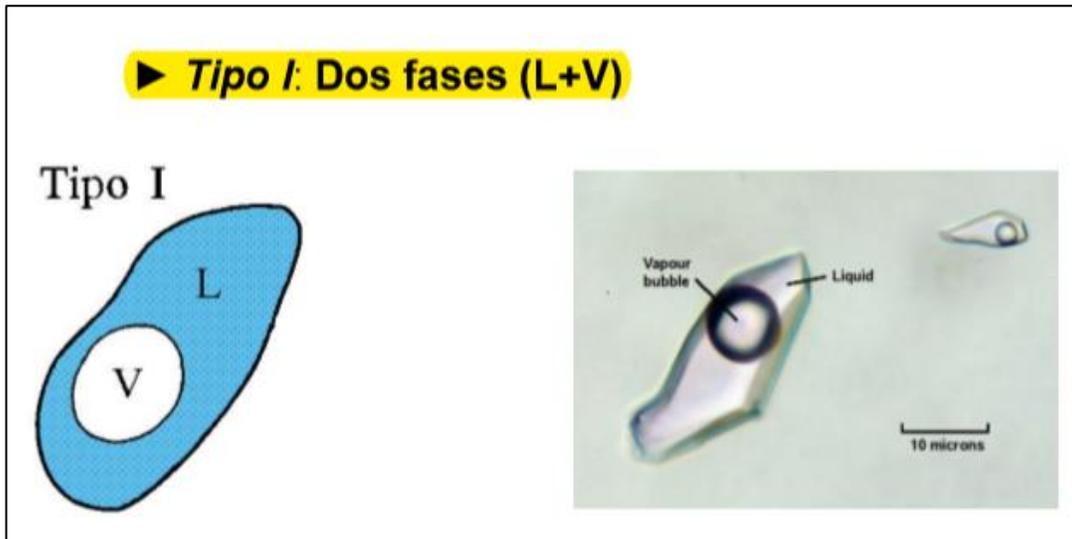


Figura 8.- Descripción gráfica y fotográfica de las inclusiones Tipo I de Nash.

6.2.2.- Tipo II “Dos fases (L+V)”

Líquidas con una gran burbuja de vapor (vapor >60%), sin minerales hijos: fluido original rico en vapor (Figura 9); al calentarlas la burbuja se expande y se homogenizan a vapor. La presencia simultánea de inclusiones fluidas del tipo I y II en un solo mineral indica que la solución hidrotermal estaba en proceso de ebullición.

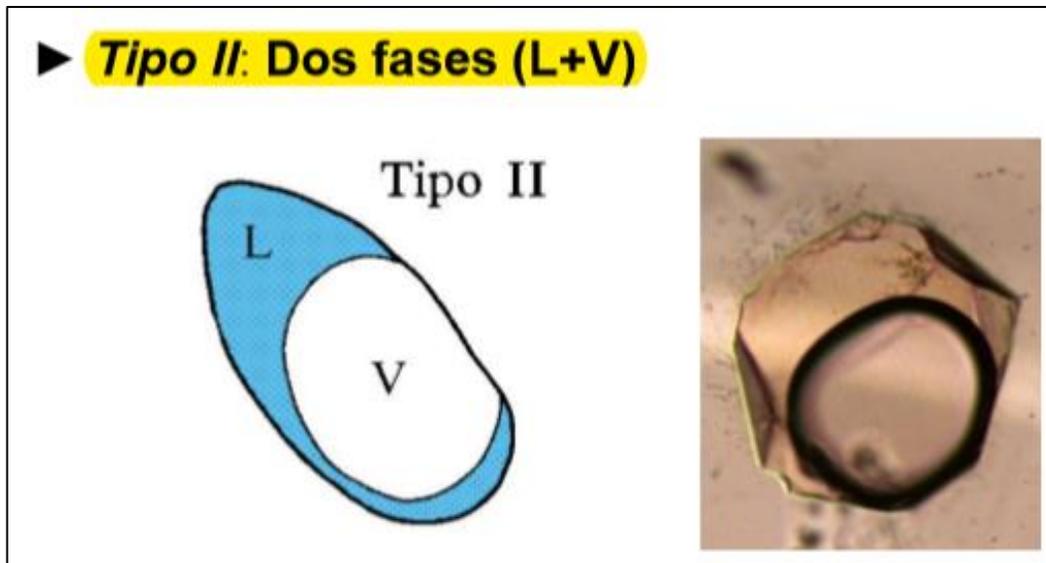


Figura 9.- Descripción gráfica y fotográfica de las inclusiones Tipo II de Nash.

6.2.3.- Tipo III “Polifases (líquido+vapor+sólidos)”

Contienen uno o más minerales hijos idomórficos: fluido original saturado, con >26% NaCl eq., contienen fases sólidas halita o silvita a temperatura ambiente. Existen dos subtipos (a) fluido subsaturado al atrapamiento; al calentarlas desaparece primero la sal y luego la burbuja y (b) fluido saturado al atrapamiento: al calentarlas desaparece primero la burbuja y luego la sal.

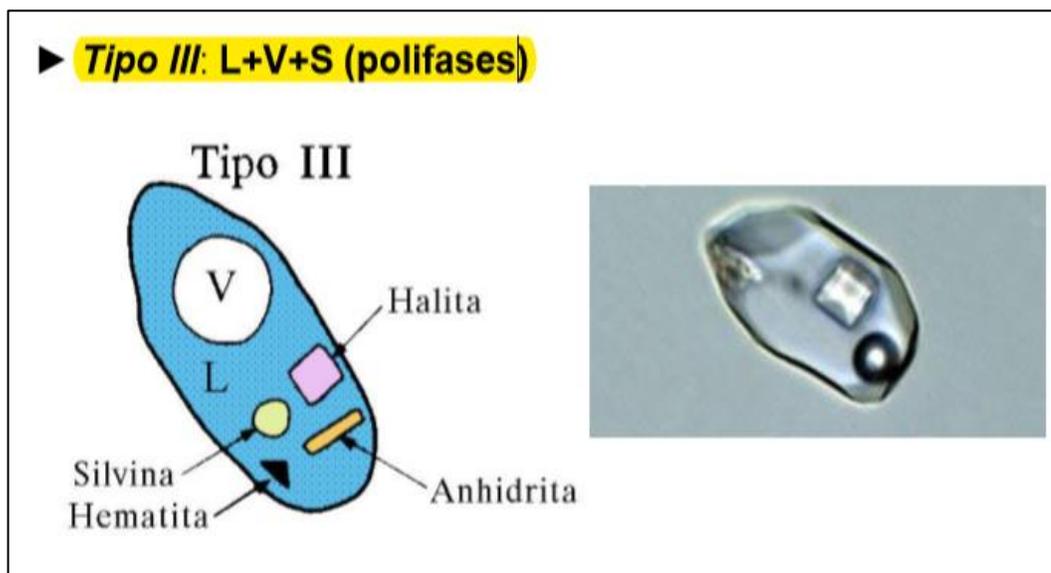


Figura 10.- Descripción gráfica y fotográfica de las inclusiones Tipo III de Nash.

6.2.4.- Tipo IV “Dos líquidos y minerales hijos”

Son inclusiones con CO₂; típicamente presentan doble burbuja, porque incluyen líquido rico en H₂O y líquido rico en CO₂ y vapor + CO₂ gaseoso, además de fases sólidas.

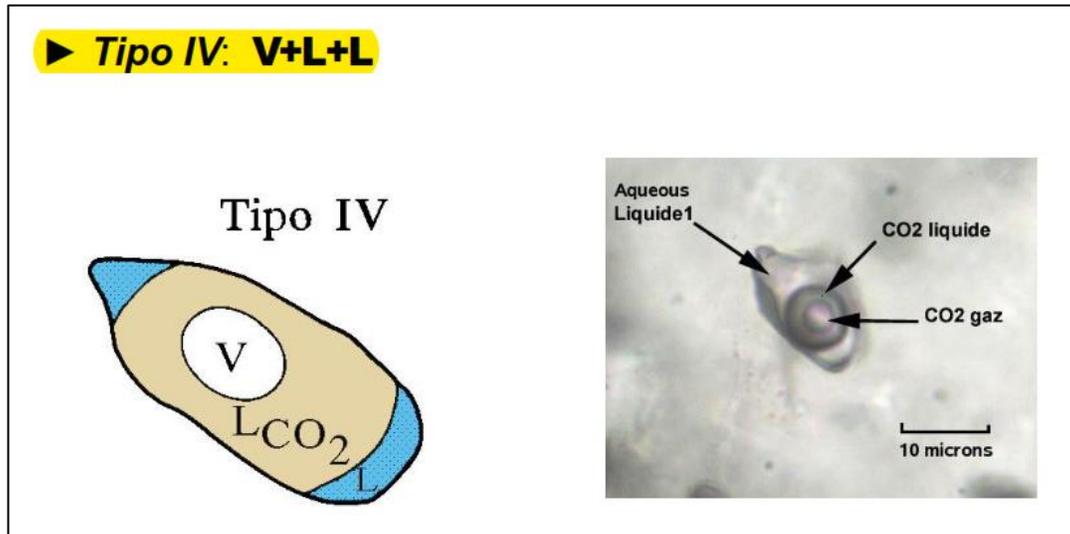


Figura 11.- Descripción gráfica y fotográfica de las inclusiones Tipo IV de Nash.

6.3.- Metodologías de inclusiones fluidas

Existen dos métodos de estudio en las inclusiones fluidas, se divide en dos categorías a) destructivos, que necesitan la extracción del contenido, y b) no destructivos. Dependiendo de la técnica utilizada, los resultados son cuantitativos, semicuantitativos o cualitativos.

Métodos destructivos

- Análisis de iones
- Análisis de gases

Métodos no destructivos

- Microtermometría
- La micro sonda de Raman

6.4.- Microtermometría

La microtermometría es la técnica empleada para determinar los cambios que ocurren dentro de una inclusión fluida en función de la temperatura. En una

inclusión simple formada por un líquido acuoso y un vapor, son dos los parámetros básicos a determinar: Temperatura de homogeneización (T_h) y Temperatura de fusión del hielo (T_f).

De acuerdo con el ambiente en que se formó la inclusión (Figura 12), ésta puede contener (aparte de un fluido acuoso con distintas relaciones de líquido-vapor): gases, hidrocarburos en dos fases, cristales hijos formados por la alta concentración de la salmuera, cristales huéspedes, etc. (Izquierdo et al 2008).

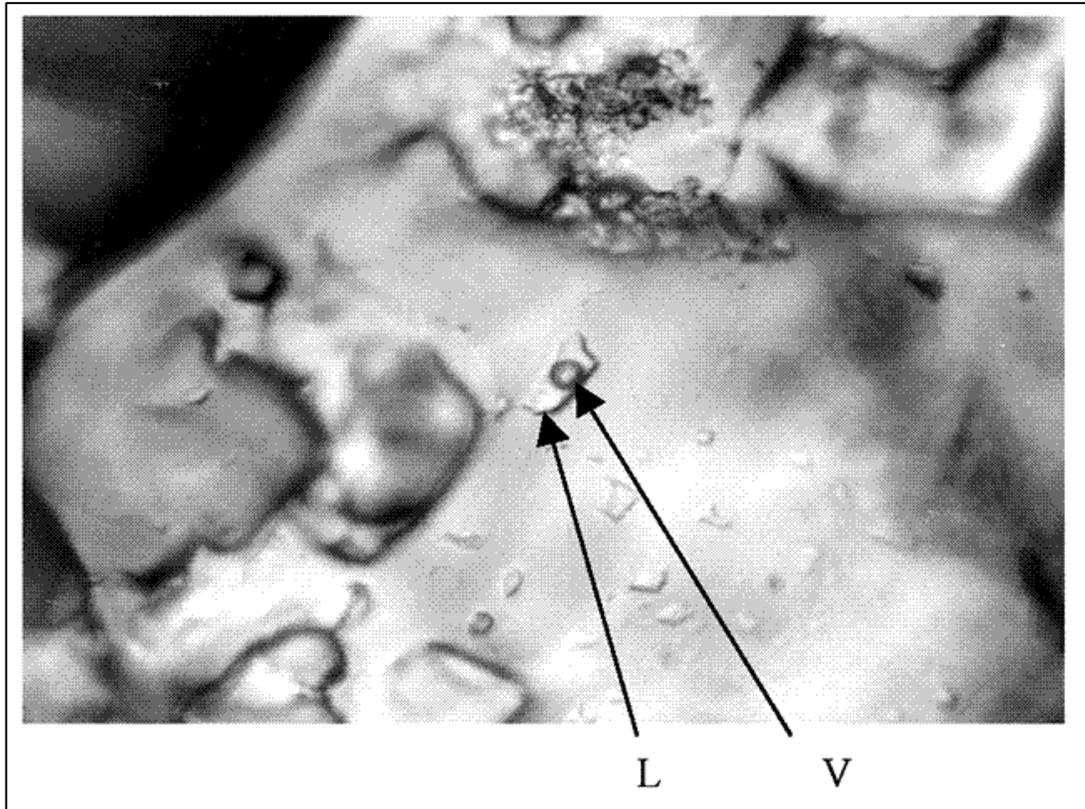


Figura 12.- Partes de una inclusión Líquido + Vapor.

6.4.1.- Temperatura de homogeneización (T_h)

La temperatura de homogeneización es una temperatura mínima del atrapamiento del fluido hidrotermal (menor que la temperatura verdadera) ya que no conocemos la presión a la que fue atrapada.

T° de atrapamiento – T° de homogeneización = corrección por presión

La corrección de presión no es significativa en depósitos formados a bajas temperaturas y poca profundidad con fluidos salinos y densos, habitualmente en estos casos la corrección no excede de 25°C. Sin embargo, en minerales formados a altas temperaturas a partir de fluidos de baja salinidad y a profundidades mayores de 10 Km, la corrección puede exceder de 300°C. La corrección de presión se

puede realizar si existen datos independientes de la profundidad en que se emplazó el depósito mineral hidrotermal y si la depositación ocurrió en condiciones de presión hidrostática o litostática.

Si se atrapa una fase vapor (V) la inclusión se enfriará a lo largo de una línea casi paralela con el eje de la temperatura y aparecerá líquido al interceptar la línea de fase líquido – vapor (L+V). Una inclusión rica en vapor no dará una buena estimación de la temperatura, porque las líneas de isodensidad son planas y porque en el microscopio es muy difícil (Figura 13).

Apreciar la homogenización de una inclusión fluida rica en vapor; pero puede dar una estimación de la presión de atrapamiento.

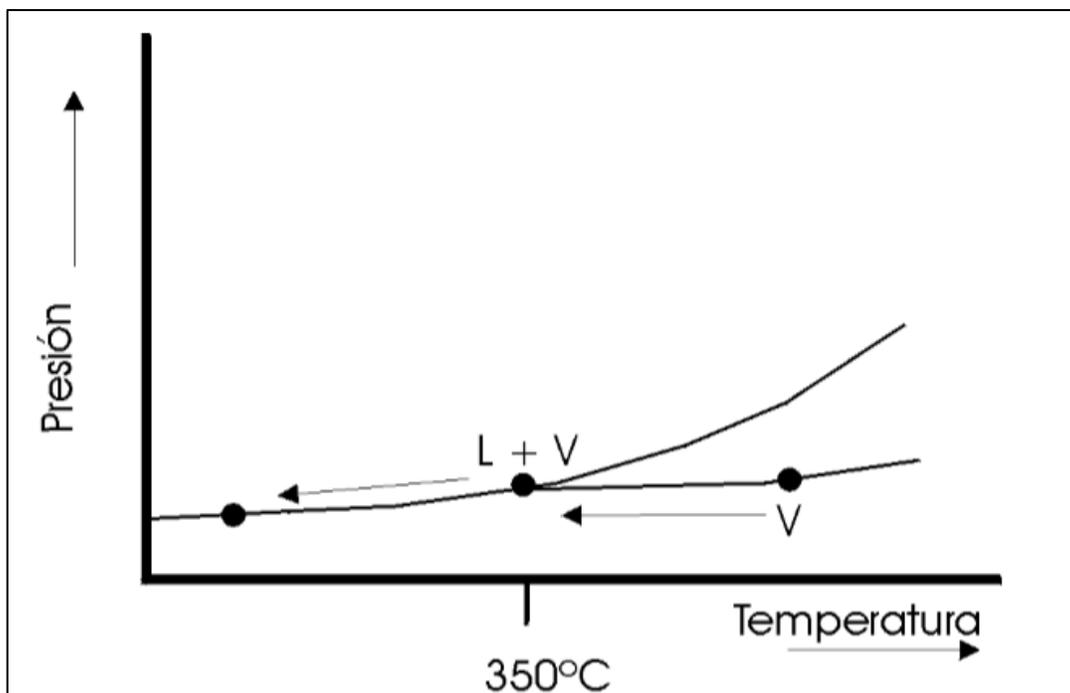


Figura 13.- Gráfico indicando la trayectoria al descender la temperatura de un vapor (V) atrapado en una inclusión (L= líquido).

Si el mineral se depositó en condiciones de ebullición del fluido hidrotermal en el diagrama de fases del H₂O esto corresponde a una posición en la línea de fase líquido – vapor y las inclusiones formadas tendrán distintas proporciones de líquido y vapor (Figura 14).

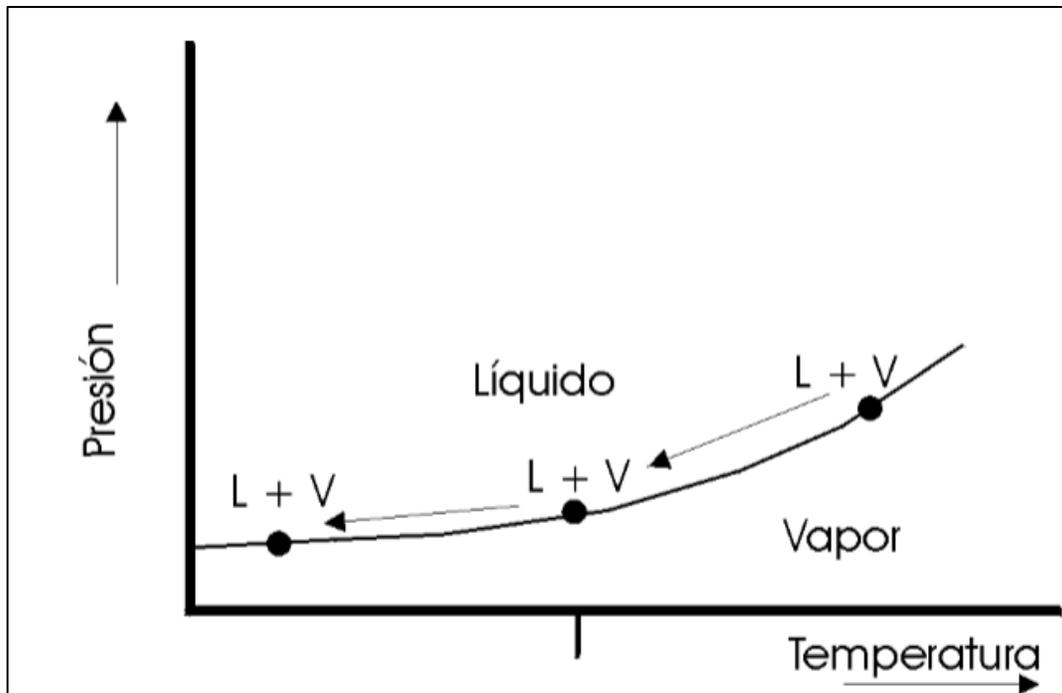


Figura 14.- Gráfico indicando la trayectoria al descender la temperatura de un fluido de dos fases (agua en ebullición; L= líquido, V= vapor).

Si existen en un mineral hidrotermal coexisten inclusiones ricas en vapor y líquidas se puede obtener una buena estimación de la temperatura y presión verdaderas de atrapamiento. Sin embargo, cabe señalar que las condiciones para la ebullición de un fluido hidrotermal.

Si se atrapa una inclusión únicamente con vapor (V), la inclusión se enfriará a lo largo de una línea casi paralela con el eje de la temperatura y aparecerá líquido al interceptar la línea de fase líquido – vapor (L+V).

Si el mineral se depositó en condiciones de ebullición del fluido hidrotermal en el diagrama de fases del H₂O, esta situación corresponde a una posición en la línea de fase líquido – vapor y las inclusiones mostrarán distintas proporciones de líquido y vapor. Si corresponden al mismo proceso mostrarán la misma temperatura de homogenización (Izquierdo et al 2008).

6.4.2.- Temperatura de fusión del hielo (T_f)

La temperatura de fusión permite determinar la salinidad del fluido en % peso NaCl equivalente de acuerdo a curvas determinadas experimentalmente. Cabe señalar que las inclusiones frecuentemente tienen otras sales disueltas. Ejemplo. KCl, CaCl, etc., pero como la determinación es indirecta se asume un sistema

simple de H₂O + NaCl y se determina la salinidad relativa a este sistema. Ahora bien existen fórmulas que permiten el cálculo numérico de la salinidad, a saber:

a) cuando no hay sales (sólidas) en la inclusión, la salinidad puede determinarse por la fórmula planteada por Potter (1977):

$$\% \text{ peso NaCl eq.} = 1,76958\theta - 4,2384 \times 10^{-2}\theta^2 + 5,2778 \times 10^{-4}\theta^3 \pm 0,028$$

$$\text{NaCl eq. Molar} = 0,30604\theta - 2,8598 \times 10^{-3}\theta^2 + 4,8690 \times 10^{-6}\theta^3 \pm 0,007$$

θ = temperatura en °C a la que se funde el último cristal de hielo en la inclusión.

La fórmula permite calcular la salinidad en el rango $-20,8^\circ\text{C} < \theta < 0^\circ\text{C}$ de temperaturas de fusión.

En inclusiones fluidas saturadas que contienen fases sólidas de sales hay que calentarlas para disolver la fase sólida y con la temperatura a la que se disuelve el último cristal de sal se puede determinar la salinidad por la fórmula:

$$\% \text{ peso NaCl eq.} = 26,218 + 0,0072t + 0,000106t^2 \pm 0,05$$

t = temperatura a la que el último cristal de sal se disuelve en la inclusión (en este caso no es la temperatura de fusión; hay que calentar la inclusión para que la sal se disuelva).

También puede estimarse la salinidad de inclusiones fluidas utilizando la temperatura de disolución de las halita o silvita del gráfico de Shepperd et al. (1985) (Figura 15).

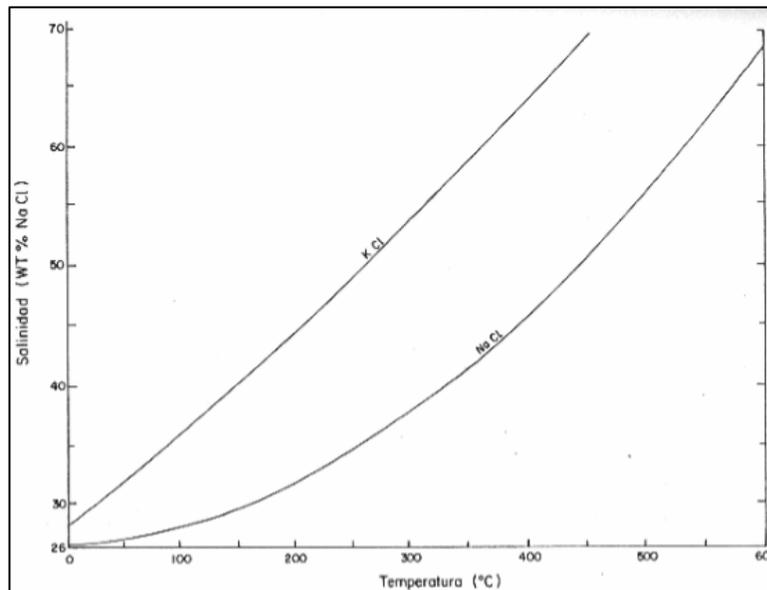


Figura 15.- Gráfico de Shepperd et al. (1985) indicando las curvas de solubilidad para NaCl y KCl; en el eje X temperatura de disolución de halita o silvita y en el eje Y salinidad del fluido en la inclusión.

6.5.- Geobarometría de inclusiones fluidas

Existen varios razonamientos para estimar la presión de atrapamiento, asumiendo condiciones de presión hidrostática (sistema hidrológico abierto hacia la superficie). La evidencia de ebullición es la coexistencia de inclusiones fluidas ricas en líquido con inclusiones ricas en vapor y ambas deberán homogeneizarse dentro de un mismo rango de temperatura, tanto a líquido como a vapor respectivamente. Cuando existe ebullición, la presión de vapor puede usarse para estimar la profundidad de atrapamiento (presión). Sin embargo, en la mayoría de los estudios de inclusiones fluidas (casi todas) la presión no se determina a partir de inclusiones fluidas. Muchas inclusiones son atrapadas a presiones mayores que su presión de vapor y generalmente la presión a la que esto ocurrió se determina a partir de evidencias geológicas, independientes de la profundidad. Se considera que la geobarometría de inclusiones fluidas es poco precisa y no es exacta, ya que algunos de los métodos comunes usados para determinar presión de inclusiones fluidas, dan valores de presión erróneos (Roedder, 1984).

Por otra parte, la densidad del fluido atrapado en una inclusión fluida, puede derivarse de las relaciones de fase y la temperatura de homogenización de la inclusión. Ésta es la única manera de estimar la densidad del fluido hidrotermal que circuló durante la formación de un depósito mineral (Izquierdo et al 2008).

7.- Metodología.

7.1.- Documentación

Hacer una documentación sobre la técnica de inclusiones fluidas con la finalidad de tener los conceptos y procedimientos a realizar en este trabajo, haciendo una síntesis del procedimiento de lograr llevar una muestra de mano hasta los análisis que se aplican en la industria geotérmica.

7.2. Selección de muestras

Seleccionar los núcleos de perforación que contengan mineralización precipitada en forma de vetillas particularmente que el mineral sea un mineral transparente, lo cual para la industria geotérmica pueden ser cuarzo, calcita, epidota y anhidrita ya que son los minerales translucidos más abundantes en la zona del reservorio (Figura 16).



Figura 16:- Fractura rellena de fluidos hidrotermales en un núcleo.

7.3.- Descripción macroscópica de muestra

Se realiza una descripción de la muestra bajo una lupa, con la cual se puedan definir tipo de roca, color, textura, si existe alteración, o cualquier característica de la muestra de mano (figura 17).



Figura 17.- Descripción macroscópica en lupa con aumento de x10, x20 y x40.

7.4.- Preparación de láminas doblemente pulidas o chips

- **7.4.1.- Cortar la muestra de mano** con una sierra circular con disco de diamante, reduciendo las dimensiones a una esquirla, dejando una cara plana del tamaño de un vidrio para láminas delgadas, ya que esa es la medida máxima con la que se trabajara y poder usar el dispositivo de seguridad para sujetar laminas delgadas a la hora de pulir (Figura 18).

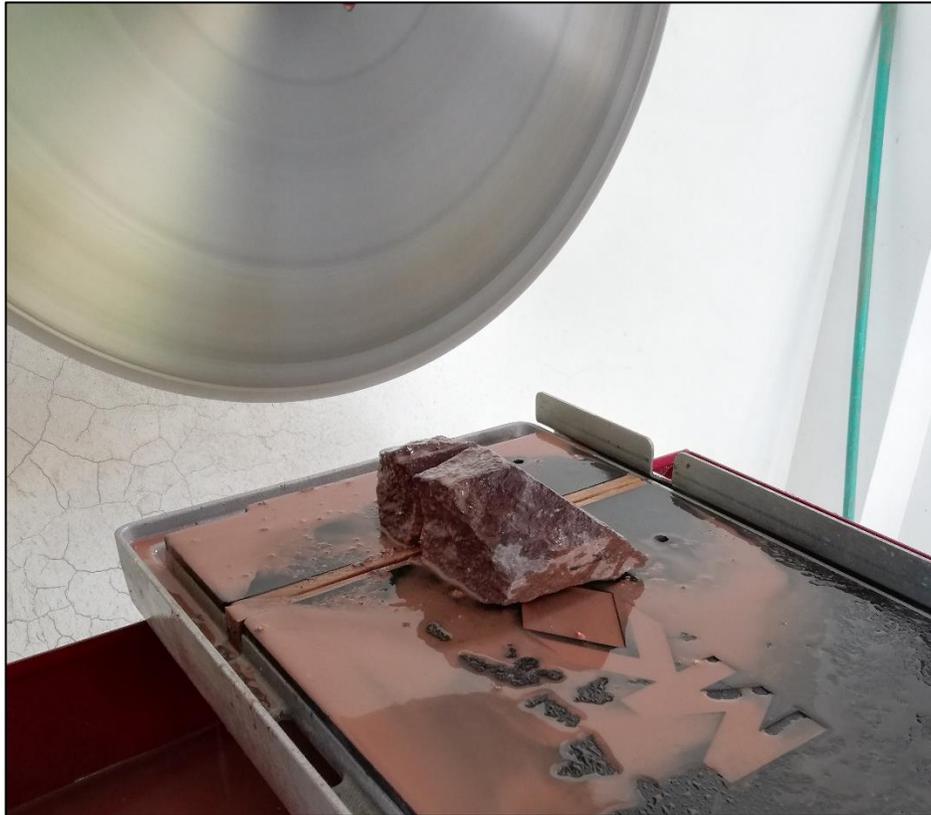


Figura 18.- Sierra con disco diamante cortando muestra de mano.

- **7.4.2. Eliminar surcos** de la muestra que son creados a la hora del corte con el disco de diamante, desgastando con abrasivo #120 para suavizar las impurezas del corte y desgastar los bordes (aristas) para no dañar posteriormente los paños (tela) (Figura 19).



Figura 19.- Desgaste de muestra.

- **7.4.3.- Pulir** usando abrasivo #320 y #400 en la pulidora y con polvo abrasivo #600 y #1000 aplicando presión con los dedos en el vidrio, siempre revisando constantemente que la muestra esté nivelada (Figura 20).



Figura 20.- Muestras de abrasivos marca y numero de grid que se usan.

- **7.4.4.- Preparar la solución de Alúmina** (Micropolish B, 0.05 micron gamma alúmina): 3 cucharadas de alúmina y agua destilada hasta llenar el bote de 178 ml.

- **7.4.5 Pulida final primera etapa**

El disco de la pulidora debe ser cubierto con lona (mezclilla) (Figura 21), pulir durante 10 minutos a 450 a 500 rpm, aplicando una presión moderada. Para esto, aplicar inicialmente alúmina y agregar agua para evitar que el paño se seque y se raye la muestra. A medida que se agregue agua, poner nuevamente alúmina, (aproximadamente 1 de alúmina y 3 de agua). La muestra debe quedarse brillante.



Figura 21.- Disco de la pulidora debe ser cubierto con lona (mezclilla).

- **7.4.6.- Pulida final segunda etapa**

Colocar el paño adhesivo blanco (Texmet 2500 8" PSA) y agregar pasta verde de diamante (METADI II, Diamond Polishing Compound, 3 micron) a la muestra. Con una jeringa, colocar cantidad mínima (en forma de puntos) distribuida en la muestra. Pulir por 4 a 5 minutos con aproximadamente 100 rpm (Figura 22).



Figura 22.- Paño adhesivo blanco (Texmet 2500 8" PSA) y agregar pasta de diamante (METADI II, Diamond Polishing Compound, 3 micron).

- **7.4.7.- pulido final tercera etapa**

Colocar el paño adhesivo café (Microcloth 8". PSA), y agregar una mezcla de solución micropolish II 0.3 micron previamente preparada (aproximadamente 1 de

alúmina y 3 de agua), puliendo durante 10 minutos a 450 a 500 rpm, aplicando una presión moderada (Figura 23).

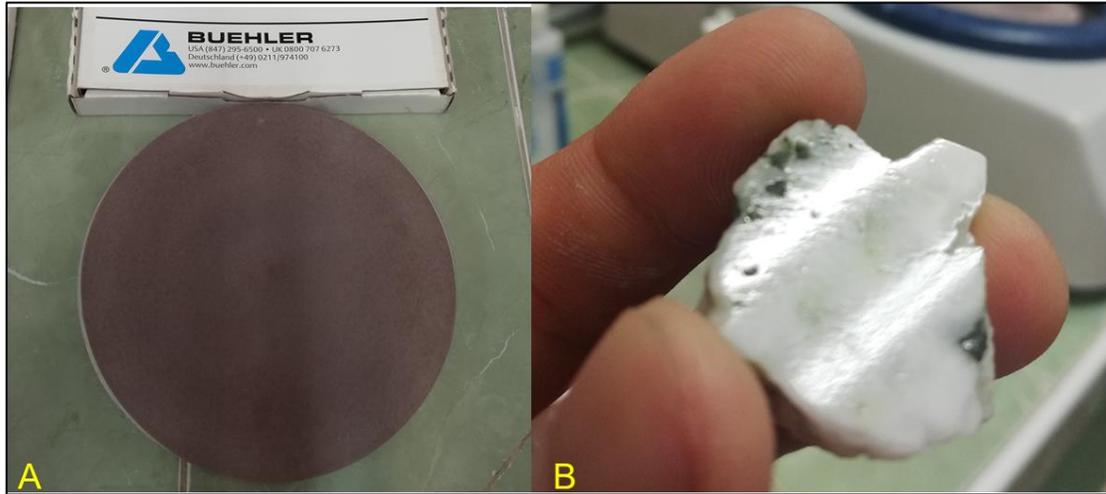


Figura 23.- A) Paño adhesivo café (Microcloth 8". PSA), B) Muestra pulida por una cara.

- 7.4.8.- Empañar (nevar) el vidrio

Consiste en hacer áspero el vidrio para muestra por un lado y pegar la cara pulida con abundante cementante termoplástico evitando que entre abrasivo y/o aire y que se despegue la muestra durante el desgaste (Figura 24).



Figura 24.- cementante utilizado y muestra pulida adherida al vidrio para lámina delgada.

- **7.4.9.- Realizar el segundo pulido**

Una vez pegada la muestra, repetir el procedimiento. Cortar o desgastar la cara no pulida con abrasivos #120, #320, #400, #600 y #1000. Cuando tenga el espesor deseado, realizar las tres etapas de pulido descritas anteriormente (Figura 25).

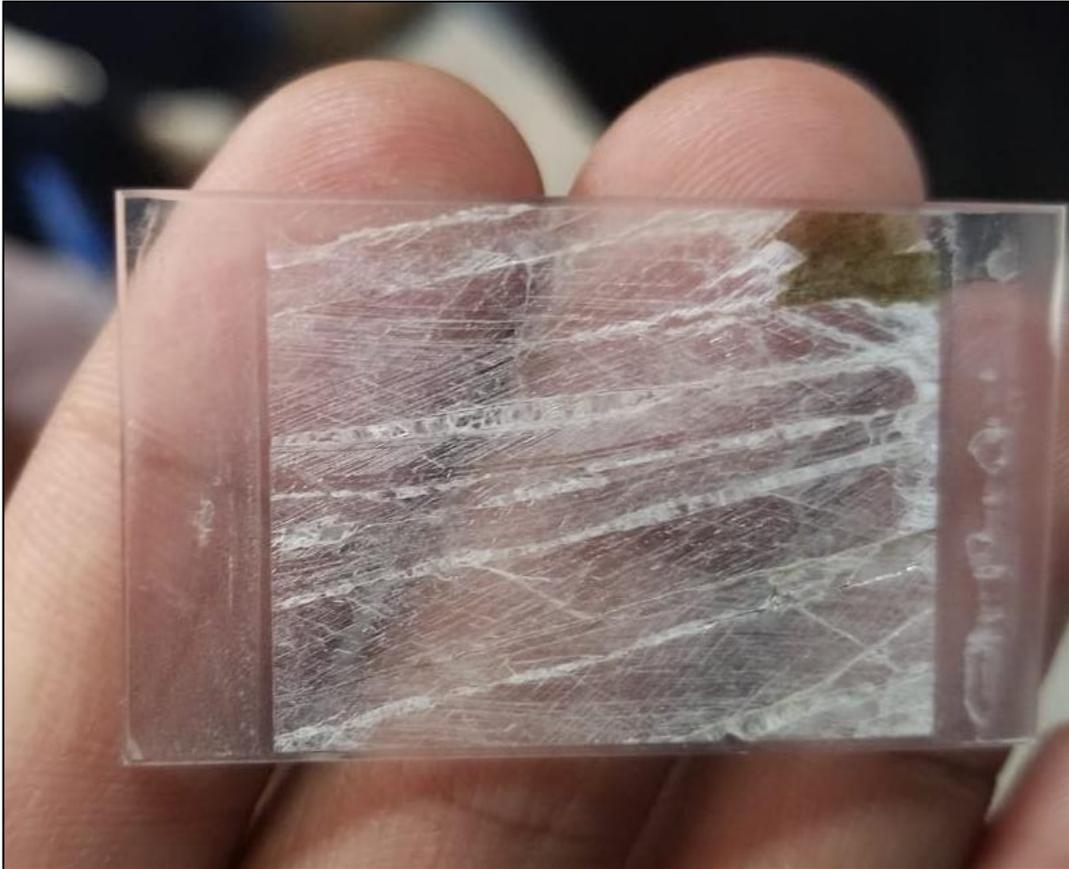


Figura 25.- Muestra con doble pulido adherida a l vidrio para lámina delgada.

- **7.4.10.- Despegar la muestra del vidrio**

Para despegar la muestra ya pulida, empujarla con una punta metálica hasta que se pueda deslizar la muestra. Colocar en un plato de Petri y agregar acetona cubriéndola por completo. Dejarla aproximadamente por 20 minutos, luego limpiarla utilizando un pincel mediano. Repetir el procedimiento dos veces, obteniendo una lámina delgada de doble pulido o chip (Figura 26).



Figura 26.- Lamina delgada con doble pulido o chip ya terminado.

7.5 Localización y descripción de inclusiones fluidas

En un microscopio realizar una búsqueda en los minerales incoloros los cuales en geotermia los más comunes son la anhidrita, epidota, cuarzo y calcita. Para describir cuales son las características de las inclusiones, así como su origen. E identificar en que área se encuentran ubicadas para posteriormente de la lámina doblemente pulida fragmentar ese pedazo, para su análisis de micro termometría (Figura 27).



Figura 27.- Vista de muestra bajo microscopio.

7.6.- Equipo de inclusiones fluidas

Consta en una platina Linkam MDSG600 para calentamiento/enfriamiento ($T^{\circ}\text{C}$ de -196 a $+600^{\circ}\text{C}$) conectada a un ordenador, esta platina se encuentra colocada en un Microscopio con luz transmitida Nikon con objetivos de 4X, 10X, 20X y 50X, con cámara integrada. Para el enfriamiento se encuentra incorporado un recipiente el cual debe ser llenado con nitrógeno líquido, este equipo es de enfriamiento/calentamiento automático de 0.01 a $130^{\circ}\text{C}/\text{min}$, con una exactitud de 0.1°C (Figura 28).



Figura 28.- Equipo de inclusiones fluidas.

7.7.- Inserción de la muestra

Para colocar la lámina con doble pulido o chip en el equipo de inclusiones fluidas es necesario quitar la parte superior de la platina, poner la muestra en el centro de la lámina de cuarzo que y colocar la protección de nuevo, antes de comenzar a centrar y realizar los análisis (Figura 29).

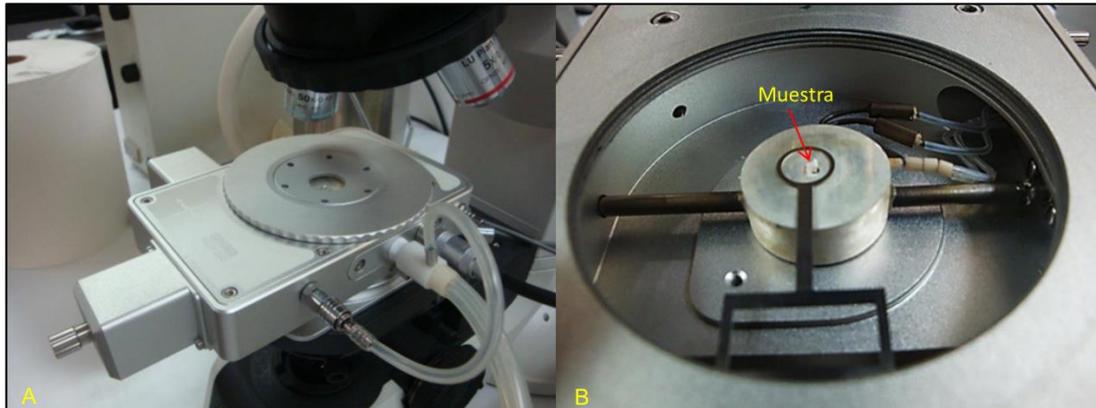


Figura 29.- A) platina montada, B) Platina abierta para la colocación de muestra.

7.8 Temperatura de homogenización (Th)

El calentamiento se logra a través de un sistema de resistencias eléctricas incluidas en el bloque metálico de la platina, complementado con un disipador de calor (flujo de agua en circuito cerrado) montado sobre el objetivo del microscopio para evitar que se afecte el lente por el incremento de temperatura. La temperatura se controla mediante el Software Linksys32, se debe crear un perfil para calentar la muestra con los tiempos y temperaturas que se desean (Figura 30).



Linksys32 : Connected to > MDS 600 Stage					
Profile					
Profile - Cycle mode off					
Ramp	Rate	Limit	Time	Delay	
1	50	150.0	0	-	
2	50	200.0	0	-	
3	20	220.0	1	-	
4	20	240.0	1	-	
5	20	260.0	1	-	
6	20	280.0	1	-	
7	10	290.0	1	-	
8	10	295.0	1	-	
9	0	0.0	0	-	
10	0	0.0	0	-	
11	0	0.0	0	-	

Figura 30.- Perfil de calentamiento en Software Linksys32.

Al comenzar con el análisis de la temperatura de homogenización (Th) se calienta la muestra en el equipo gradualmente, en donde se observara como la burbuja de vapor comienza a disminuir su volumen y a realizar movimientos por el espacio de la inclusión hasta desaparecer. Realizando la anotación de la temperatura la cual se interpreta como la mínima temperatura a la que ocurrió el atrapamiento del fluido hidrotermal (Figura 31).

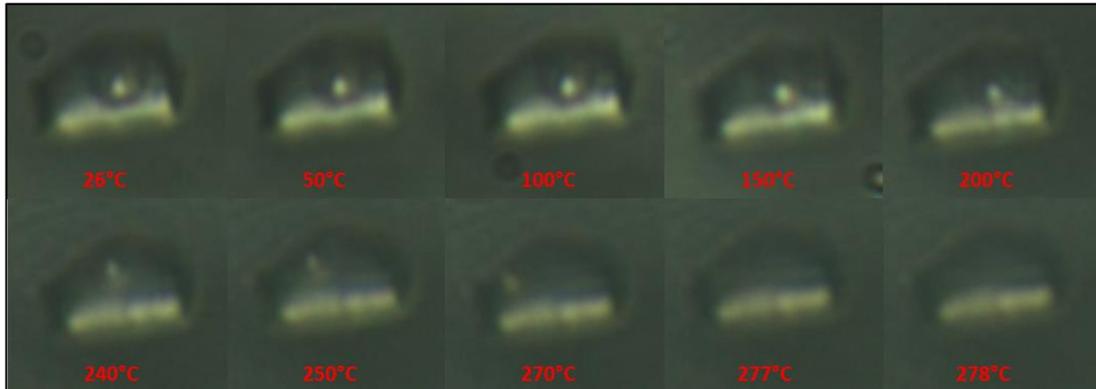


Figura 31.- Evolución de la burbuja de vapor durante el análisis de temperatura de homogenización (Th).

7.9 Temperatura de fusión (Tf)

El procedimiento consiste en congelar las inclusiones con utilizando nitrógeno líquido hasta una temperatura de -60°C . Con el Software Linksys32, se debe crear un perfil de temperatura el cual controlara los tiempos y las temperaturas que se desean alcanzar (Figura 32).

Figura 32 is a screenshot of the Linksys32 software interface showing a temperature profile. The window title is 'Linksys32 : Connected to > MDS 600 Stage'. The main area is titled 'Profile' and 'Profile - Cycle mode off'. It contains a table with columns for Ramp, Rate, Limit, Time, and Delay. The table has 17 rows, with row 14 highlighted in red.

Ramp	Rate	Limit	Time	Delay
1	50	-60.0	0	-
2	30	-2.0	0	-
3	1	-1.0	0	-
4	1	-0.9	0	-
5	1	-0.7	0	-
6	1	-0.6	0	-
7	1	-0.5	1	-
8	1	-0.4	1	-
9	1	-0.3	1	-
10	1	-0.2	1	-
11	1	-0.1	1	-
12	1	0.0	1	-
13	1	0.1	1	-
14	1	0.2	1	-
15	0	0.0	0	-
16	0	0.0	0	-
17	0	0.0	0	-

Figura 32.- Perfil de enfriamiento en Software Linksys32.

Las inclusiones antes de ser sometidas a un congelamiento, para este análisis es muy importante observar la posición de la burbuja de vapor dentro de la inclusión, cuando el nitrógeno líquido comienza a la temperatura de $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ se debe de comenzar la observación del comportamiento dentro del área de la inclusión para hacer la anotación del valor de temperatura en el que el ultimo cristal de hielo desaparece cuyo indicador es la reubicación de la burbuja de vapor que se observó en temperatura ambiente (Figura 33).

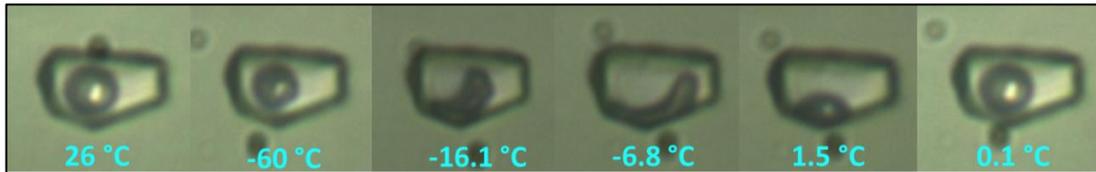


Figura 33.- Evolución de la burbuja de vapor durante el análisis de temperatura de fusión (T_f).

8.- Análisis de datos

En este trabajo se realizó el análisis de microtermometría de inclusiones fluidas en dos profundidades de un pozo geotérmico (700 m y 1000 m), en el cual se realizaron los estudios de temperatura de homogenización y posteriormente la temperatura de fusión, los cuales se presentaran cada uno.

8.1.- 700 m de profundidad

8.1.1.- Descripción megascópica

El núcleo tomado a la profundidad de 700 m debido al ambiente en el que fue tomado se trata de una roca ígnea alterada color gris claro, con una textura afanítica en muestra de mano, se puede observar una alteración debido a la presencia de clorita, dentro de la matriz se encuentran cristales de pirita. Dentro de la muestra se puede observar una fractura con un diámetro de 0.5 cm con precipitación de sílice. Conectado con la fractura se encuentran en una cavidad cristales de cuarzo. Por lo tanto para realizar el estudio de inclusiones fluidas se analizaran los minerales que están en la vetilla (Figura 34).

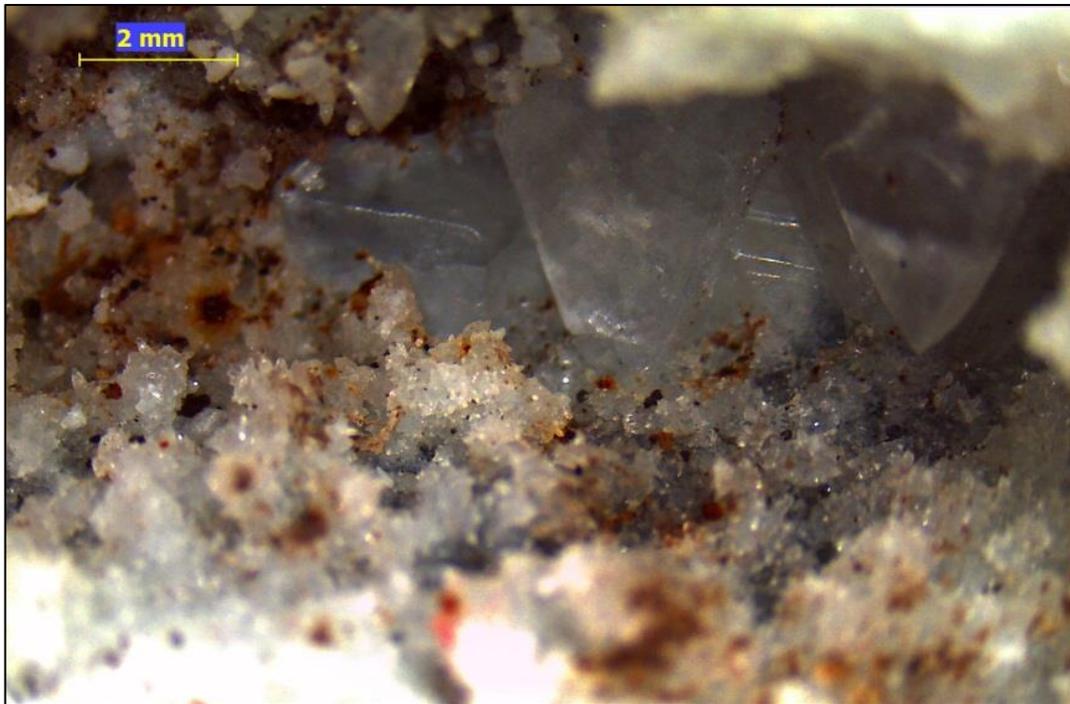


Figura 34.- Vista de la muestra con precipitación de sílice.

8.1.2.- Descripción microscópica

Las inclusiones fluidas se encuentran dentro de cristales de cuarzo donde se puede apreciar que las inclusiones fluidas son de origen secundarias en su mayoría ya que se encuentran alineadas en planos de fracturamiento que cortan a lo ancho del cristal en la mayoría de los casos (Figura 35).

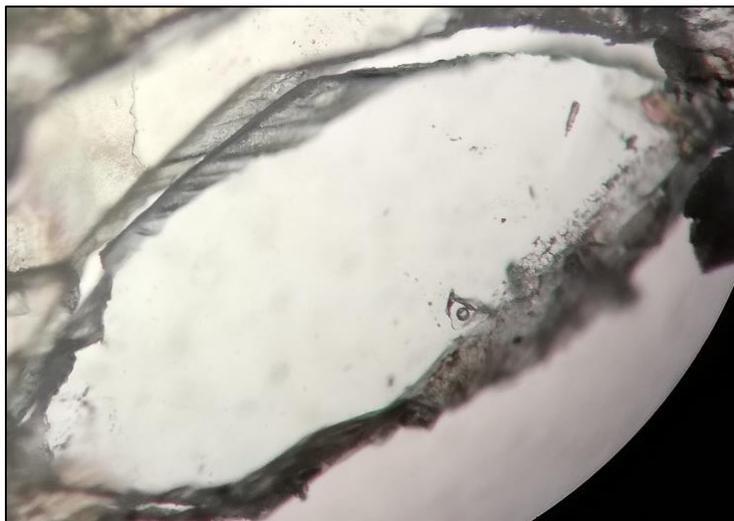


Figura 35.- Cristal de cuarzo con inclusiones fluidas.

8.1.3.- Descripción de inclusiones

Las inclusiones de origen secundaria que se encuentran en este cristal de acuerdo a la clasificación de Nash (1976), pertenecen al Tipo I, que son de dos fases (Líquido + Vapor), se pueden observar en grupos a lo largo fracturas del cristal, en formas ovaladas e irregulares, con un 80% de líquido y un 20% de vapor (Figura 36).

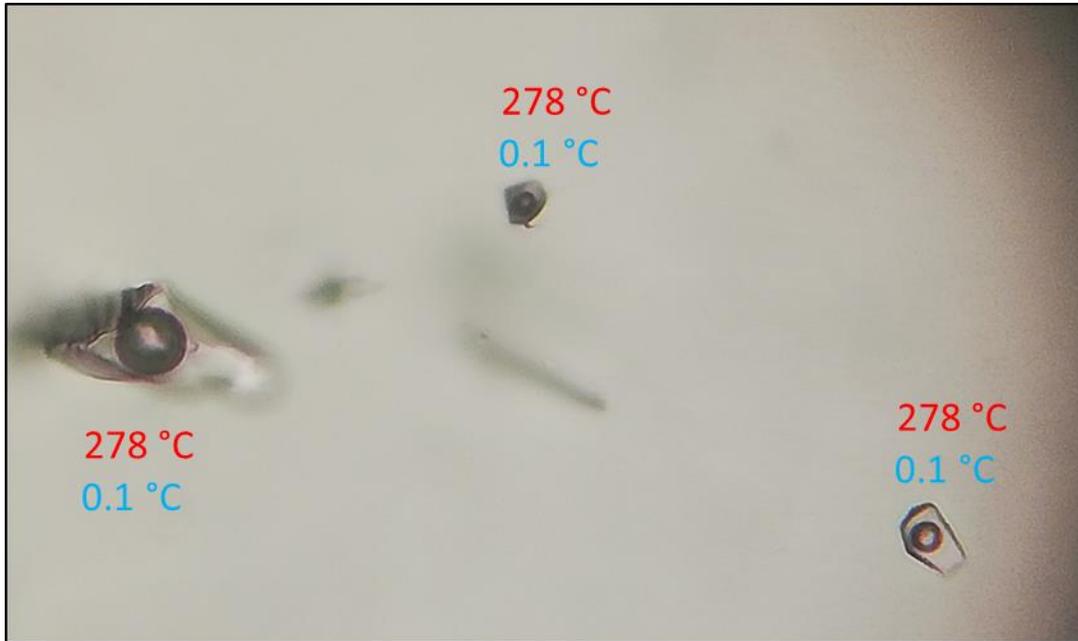


Figura 36.- Inclusiones fluidas observadas bajo el microscopio antes de iniciar el análisis de microtermometría.

8.2.- 1000 m de profundidad

8.2.1.- Descripción megascópica

Roca ígnea alterada color gris claro, con precipitación de pirita, se encuentra facturada y en una porción de la muestra existe una vetilla la cual esta rellena con sílice y calcita (Figura 37).

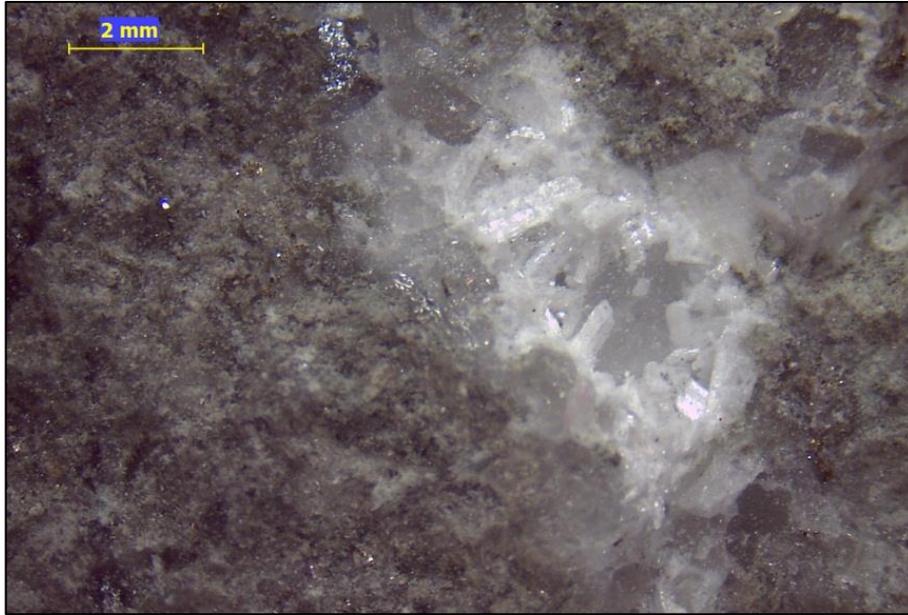


Figura 37.- Vista de la muestra con precipitación de sílice.

8.2.2.- Descripción microscópica

Dentro de un cristal de cuarzo, se encontraron inclusiones fluidas secundarias ya que se encuentran dentro de los planos de fractura, con una composición de líquido dominante ya que se observan inclusiones con contenido de vapor que conforme avanza dentro de la fractura el porcentaje de vapor de aproximadamente 10% en cuestión de una familia de inclusiones el porcentaje disminuye a cero (Figura 38).

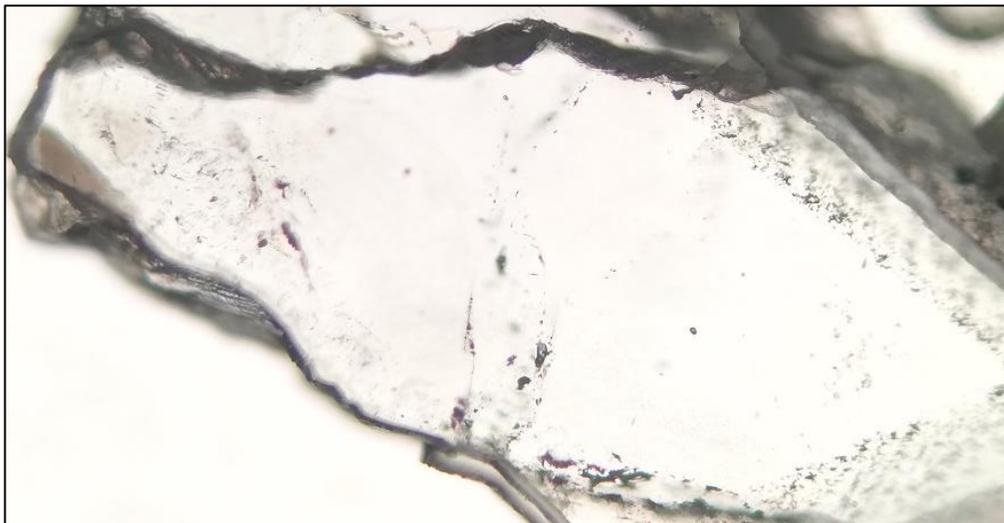


Figura 38.- Cristal de cuarzo con inclusiones fluidas.

8.2.3.- Descripción de inclusiones

Las inclusiones de origen secundaria que se encuentran en este cristal de acuerdo a la clasificación de Nash (1976), pertenecen al Tipo I, que son de dos fases (Líquido + Vapor), se pueden observar en grupos a lo largo fracturas del cristal, en ovaladas e irregulares, con un 80% de líquido y un 20% de vapor como también se observaron inclusiones Tipo II con un mayor porcentaje de vapor.

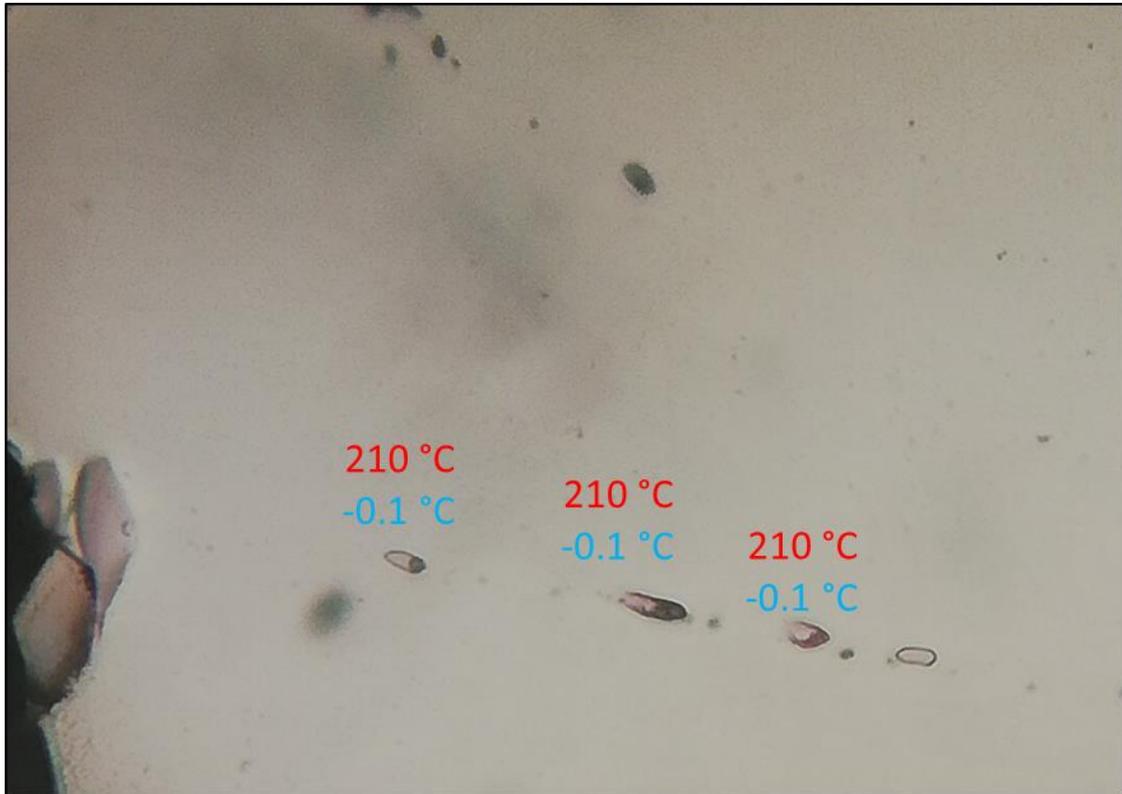


Figura 39.- Inclusiones fluidas observadas bajo el microscopio antes de iniciar el análisis de microtermometría.

9.- Presentación de resultados

Se presenta los resultados de microtermometría realizada en las muestras del pozo 1 (Tabla 1).

Tabla 1.- Resultado del estudio de microtermometría en las muestras analizadas.

Pozo	Prof. (m)	Frecuencia	Tipo de Inclusión	Th (°C) prom .IF	Tf (°C) prom .IF	Salinidad (wt% NaCl)	Cristal	Temp. Medida (°C)	Comentario
1	700	23	L+V	179.6	-0.24	0.42	Cuarzo	180	Th = Tmed
1	1000	45	L+V	207.5	0.1	0.18	Cuarzo	255	Th < Tmed
1	1000	3	v				Cuarzo		

9.1 Evolución térmica

En el pozo 1 se lograron analizar 23 inclusiones fluidas a la profundidad de 700 m y 45 inclusiones fluidas en la muestra de 1000 m (anexo 1). Los valores que se obtuvieron de temperatura de homogenización, se agruparon en rangos y se realizó un análisis estadístico por medio de histogramas de frecuencia para determinar la temperatura del fluido hidrotermal a partir del cual se originaron estas inclusiones. A continuación se muestran los datos obtenidos:

- A) Temperatura de homogenización del Pozo 1 a la profundidad de 700 m, obteniendo una temperatura promedio de 179.6°C (Figura 40)

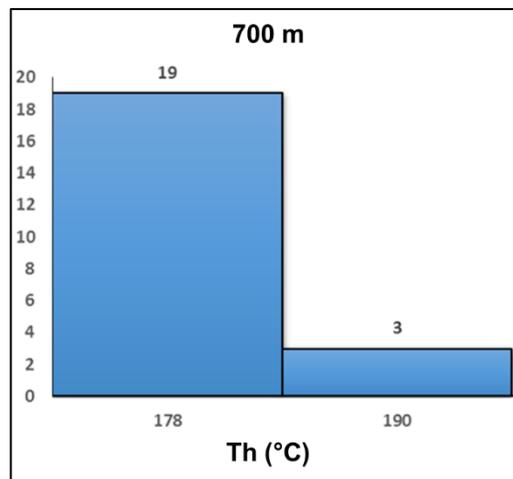


Figura 40.- Th a los 700 m de profundidad.

- B) Temperatura de homogenización del Pozo 1 a la profundidad de 1000 m, obteniendo una temperatura promedio de 207.5°C (Figura 41).

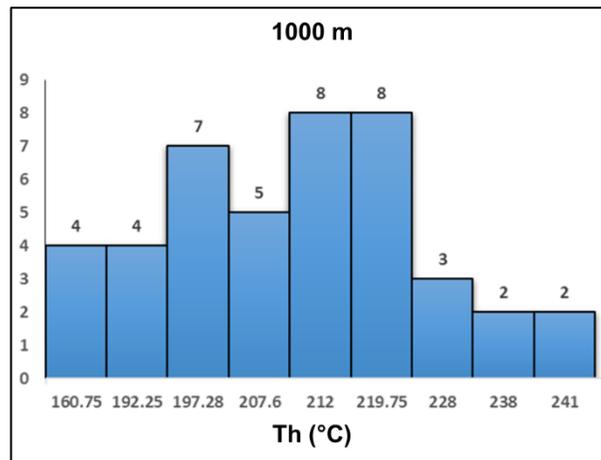


Figura 41.- Th a los 1000m de profundidad.

Se realizó la comparación de los datos de temperatura de homogenización con el perfil de temperatura medida del pozo. A los 700 m se puede observar que la temperatura medida y la temperatura de homogenización promedio se encuentran en el mismo rango de temperatura de 178° - 182° C, por lo cual se puede indicar un equilibrio entre las dos temperaturas medidas donde el fluido atrapado es el fluido que tiene el pozo ahora.

A los 1000 m de profundidad la temperatura medida y la temperatura de homogenización se encuentran desfasadas, y de acuerdo las inclusiones fluidas, la temperatura del fluido hidrotermal a partir del cual se originaron se encuentran en un rango de 190° - 220 °C lo que es una temperatura inferior a la temperatura medida de 248°C por lo que se puede interpretar que existió una evolución del sistema, específicamente un calentamiento del reservorio (Figura 42).

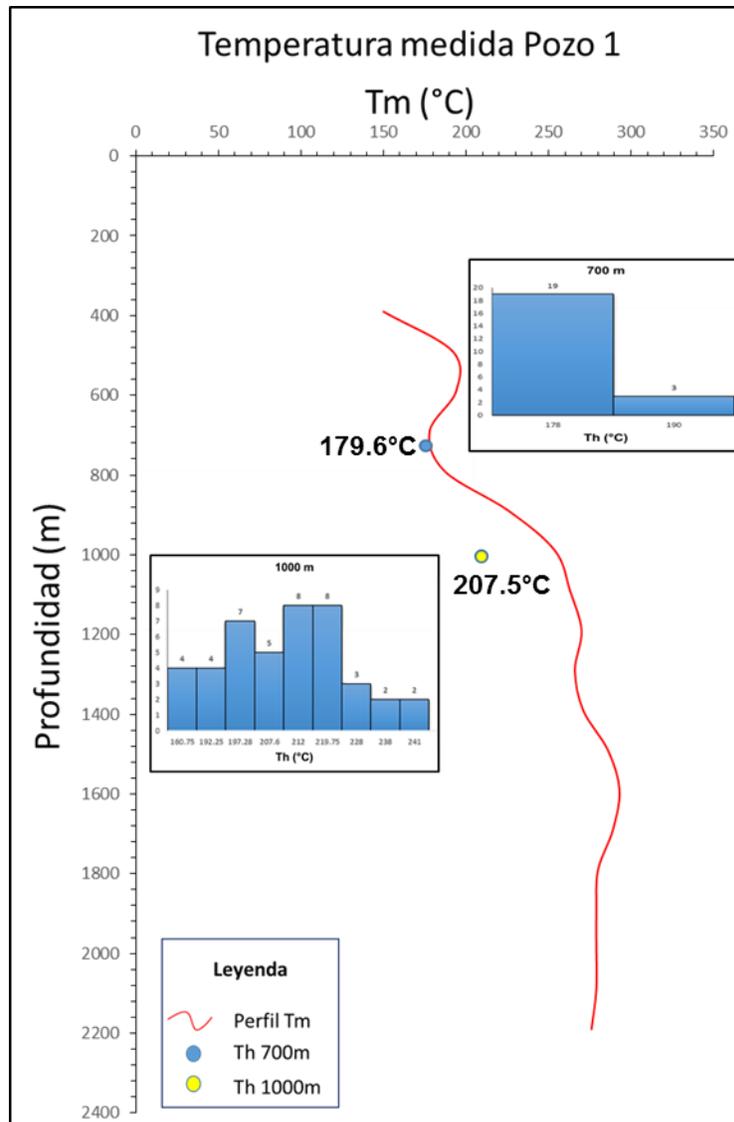


Figura 42.- Comparación de temperatura media con temperatura de homogenización.

La salinidad encontrada en las inclusiones fluidas fue calculada por medio de la fórmula de Potter 1977 aplicada a la temperatura de fusión, y al realizar una gráfica de salinidad contra temperatura de homogenización se puede analizar los procesos químicos (evolución de los fluidos).

Se puede observar que a los 700 m de profundidad solo existió un evento de descompresión o calentamiento, ya que no existió variación en la cantidad de sales, solo aumento de temperatura (Figura 43).

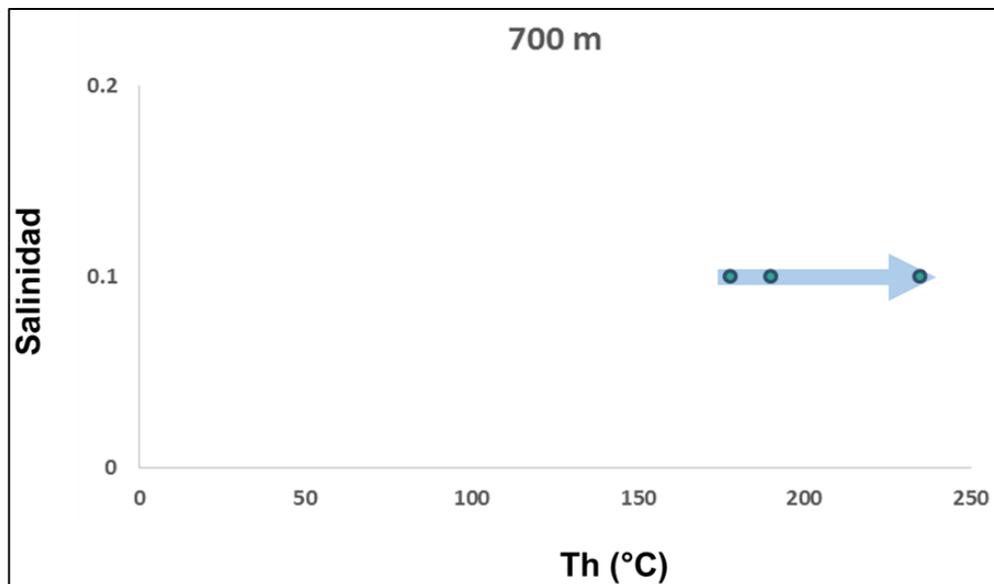


Figura 43.- asociación de temperatura de homogenización con la salinidad a la profundidad de 700m.

A los 1000 m de profundidad de acuerdo al análisis de los datos se observó que la evolución de los fluidos ha tenido tres etapas. Si consideramos que la temperatura original es de 235°C (con salinidad de 0.9 o peso % NaCl) el primer proceso se trata de una dilución (1): la disminución de temperatura y salinidad, por la entrada de agua meteórica, el segundo proceso que se interpreto fue un evento de descompresión o calentamiento (2): donde la cantidad de sales no tuvo ningún cambio y se encuentra un incremento en la temperatura posiblemente por conducción o por la presencia de un intrusivo. Por último se puede apreciar el tercer evento que se interpreta como un proceso de ebullición (3) donde existe el enriquecimiento de salinidad y disminución de temperatura a 200° C y se depositó calcita en las vetas.

La temperatura medida de 248°C a los 1000 m es mayor que la temperatura de homogenización de 207.5°C, por lo que probablemente se repitieron los tres procesos con más calentamiento y más salinidad, alcanzando la presente temperatura de 248C.

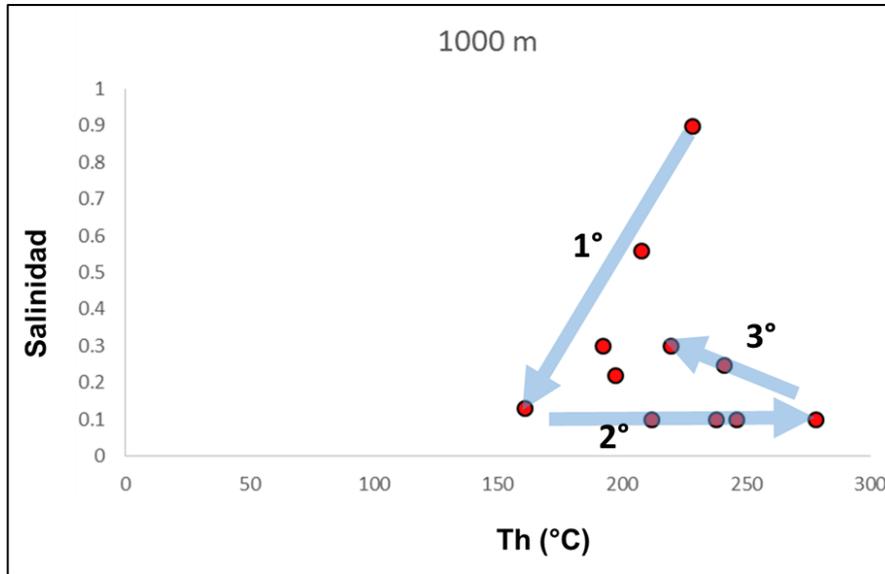


Figura 44.- Correlación de temperatura de homogenización y la salinidad a la profundidad de 700m.

10.- Conclusiones

1.- Un estudio microtermométrico tiene el alcance de poder interpretar los distintos eventos que ocurrieron durante la cristalización de un mineral, ya que en las inclusiones fluidas se puede observar la temperatura y salinidad del fluido en el momento de su atrapamiento.

2.- El pozo analizado de acuerdo a la curva de temperatura medida durante la perforación y los diagramas de Th, se concluye que a los 700m de profundidad se encuentra en equilibrio.

3.- El pozo analizado de acuerdo a la curva de temperatura medida durante la perforación y los diagramas de Th, se concluye que a los 1000m de profundidad se encuentra en una zona sobre calentada 40° – 45° C.

4.- La salinidad que se encuentra en las muestras corresponde al promedio que existe en las aguas geotérmicas.

5.- La evolución química en el parámetro de 700m al encontrarse en equilibrio solo se observó que existió calentamiento el cual podría corresponder con el sobrecalentamiento evaluado en el parámetro de 1000m de profundidad.

6.- Se puede observar que en los 1000m de profundidad al no encontrarse en equilibrio térmico con el perfil de temperatura medido durante la perforación, se ve reflejado en la cantidad de eventos interpretados de la evolución química.

11.- Recomendaciones

1.- Realizar este análisis en vetillas que se observen translucidas a simple vista.

2.- Realizar el estudio a una mayor cantidad de inclusiones por rango a evaluar, 100 análisis por cada parámetro sería una cantidad favorable para una buena distribución.

3.- Realizar el estudio de ser posible en núcleos tomados en la zona convectiva del reservorio, y usar el perfil de temperatura estabilizada.

12.- Agradecimientos

Doy gracias a infinitas a los organizadores de este “Diplomado en Geotermia para América Latina, El Salvador 2018”, que es el Fondo Nórdico para el Desarrollo (NDF), el Ministerio de Asuntos Exteriores de Islandia (MFA-ICEIDA), LaGeo (empresa geotérmica salvadoreña miembro del Grupo CEL), el United Nations University Geothermal Training Programme de Islandia (UNU-GTP) y la Universidad de El Salvador (UES). ya que son instituciones responsablemente comprometidas con el cuidado del medio ambiente, apoyando el progreso de la geotermia en el más sagrado contexto que es iniciando al especializado en un área en específico, aplicando la filosofía del hermetismo “Los labios de la sabiduría permanecen cerrados, excepto para el oído capaz de comprender” (El Kybalion), ya que a la hora de realizar los trabajos multidisciplinarios en nuestros países, nuestra comprensión y capacidad de integración lograda con los esfuerzos de estas nobles instituciones, se notara con los resultados positivos en el desarrollo de la geotermia.

De igual manera quiero agradecer a la Comisión Federal de Electricidad (CFE), por creer en sus trabajadores dando la oportunidad de enriquecimiento en conocimientos internacionales, para lograr los objetivos y misiones que se tienen de una manera más eficaz y desde otro punto de vista.

Doy gracias a mi familia y amigos que apoyan en cada momento a mi desarrollo profesional y como personas, siendo una fuente de inspiración para lograr mis metas.

Por ultimo quiero externar mi agradecimiento a mis compañeros del diplomado ya que fueron parte fundamental para el logro de este proceso, ya que llegue solo y me regreso con amigos casi hermanos a mi país.

12.- Referencias bibliográficas

- Garza-González, C., Camprubí, A., González-Partida, E., Arriaga-García, G., Rosique-Naranjo, F., 2006, Hydrothermal alteration and fluid inclusion study of the Lower Cretaceous porphyry Cu-Au deposit of Tiámaro, Michoacán, Mexico: Journal of Geochemical Exploration, 89, 124-128.
- Izquierdo Montalvo Georgina, Aragón Aguilar Alfonso y Viggiano Guerra J. César. (2008). Microtermometría de inclusiones fluidas en ambientes hidrotermales. Caso de estudio del campo geotérmico de Las Tres Vírgenes, BCS México, Boletín IIE, Divulgación.
- Nash, J.T., 1976. Fluid inclusión petrology – data from porphyry copper deposits and applications to exploration. U.S.G.S. Professional Paper 907D, 16 p.
- Potter. R.W., 1977. Pressure correction for fluid inclusions homogenization temperatures based on the volumetric properties of the system NaCl – H₂O. U.S. Geological Survey Journ. Res. 5, p. 603-607.
- ROEDDER, E.: (tAncien fluids in crystalw. Sc. Am., 207: 38-47 (1962a)
- ROEDDER, E.: (1979a). (Origin and significance of magmatic inclusions). Bull. Minér., 102: 487-510 p.
- ROEDDER, E.: (1981). (Origen of fluid inclusions and changes that occur after trapping). En: Hollister y Crawford (eds.), Miner. Assoc. Canada. Short Course NI fluid inclusiorts, 6: 101-137 p.
- Roedder, E., 1984, Fluid inclusions: Reviews in Mineralogy, 12, 644 p.
- Shepperd, T., Rankin, A.H., and Alderton, D.H.M., 1985. A practical guide to fluid inclusions studies, Blakie, Glasgow, 235 p.
- Van den Kerkhof, A.M., Hein, U.F., 2001, Fluid inclusion petrography: Lithos, 55, 27-47 p.

13.- Anexo 1

Base de datos de acuerdo al estudio de microtermometría realizado.

N°	Muestra	Cristal	Origen	Tipo	forma	Th	Tf	Salinidad % eq. NaCl	Formula cálculo de salinidad
1	700m	Cuarzo	Secundario	L +V	Triangular	178	0.1	-0.1769558	Potter 1977
2	700m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	178	0.1	-0.1769558	Potter 1977
3	700m	Cuarzo	Secundario	L +V	Irregular	178	0.1	-0.1769558	Potter 1977
4	700m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	178	0.1	-0.1769558	Potter 1977
5	700m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	178	0.1	-0.1769558	Potter 1977
6	700m	Cuarzo	Secundario	L +V	Irregular	178	0.1	-0.1769558	Potter 1977
7	700m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	178	0.1	-0.1769558	Potter 1977
8	700m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	178	0.1	-0.1769558	Potter 1977
9	700m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	178	0.1	-0.1769558	Potter 1977
10	700m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	178	0.1	-0.1769558	Potter 1977
11	700m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	235	0.1	-0.1769558	Potter 1977
12	700m	Cuarzo	Secundario	L +V	Irregular	190	0.1	-0.1769558	Potter 1977
13	700m	Cuarzo	Secundario	L +V	Irregular	178	0.1	-0.1769558	Potter 1977
14	700m	Cuarzo	Secundario	L +V	Irregular	178	0.1	-0.1769558	Potter 1977
15	700m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	178	0.1	-0.1769558	Potter 1977
16	700m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	178	0.1	-0.1769558	Potter 1977
17	700m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	178	0.1	-0.1769558	Potter 1977
18	700m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	178	0.1	-0.1769558	Potter 1977
19	700m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	190	0.1	-0.1769558	Potter 1977
20	700m	Cuarzo	Secundario	L +V	Irregular	190	0.1	-0.1769558	Potter 1977
21	700m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	178	0.1	-0.1769558	Potter 1977
22	700m	Cuarzo	Secundario	L +V	Irregular	178	0.1	-0.1769558	Potter 1977
23	700m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	178	0.1	-0.1769558	Potter 1977

N°	Muestra	Cristal	Origen	Tipo	forma	Th	Tf	Salinidad % eq. NaCl	Formula cálculo de salinidad
1	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	212	-0.2	0.3538444	Potter 1977
2	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	207	-0.9	1.4605328	Potter 1977
3	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	207	-0.2	0.3538444	Potter 1977
4	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	193	-0.2	0.3538444	Potter 1977
5	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	207	-0.2	0.3538444	Potter 1977
6	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	193	-0.2	0.3538444	Potter 1977
7	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	199	-0.4	0.7055414	Potter 1977
8	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	193	-0.5	0.8777996	Potter 1977
9	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	190	-0.3	0.5303304	Potter 1977
10	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	241	-0.2	0.3538444	Potter 1977
11	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	241	-0.3	0.5303304	Potter 1977
12	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	197	-0.2	0.3538444	Potter 1977
13	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	197	-0.2	0.3538444	Potter 1977
14	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	197	-0.2	0.3538444	Potter 1977
15	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	197	-0.2	0.3538444	Potter 1977
16	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	197	-0.2	0.3538444	Potter 1977
17	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	163	-0.2	0.3538444	Potter 1977
18	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	197	-0.2	0.3538444	Potter 1977
19	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Triangular	227	-1.6	0.4857235	Potter 1977
20	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Irregular	209	-1.6	0.4857235	Potter 1977
21	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Irregular	218		0	Potter 1977
22	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Triangular	227	-1	1.5458857	Potter 1977
23	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Triangular	212	-0.2	0.3538444	Potter 1977

N°	Muestra	Cristal	Origen	Tipo	forma	Th	Tf	Salinidad % eq. NaCl	Formula cálculo de salinidad
24	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	238	-0.1	0.1769558	Potter 1977
25	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	215	-0.1	0.1769558	Potter 1977
26	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	215	-0.1	0.1769558	Potter 1977
27	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	208	0.1	0.1769558	Potter 1977
28	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	210	-0.1	0.1769558	Potter 1977
29	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	210	0.1	0.1769558	Potter 1977
30	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	246	-0.1	0.1769558	Potter 1977
31	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	220	-0.1	0.1769558	Potter 1977
32	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	210	-0.1	0.1769558	Potter 1977
33	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Triangular	212	-0.1	0.1769558	Potter 1977
34	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Irregular	220	0.1	0.1769558	Potter 1977
35	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Irregular	217	0.1	0.1769558	Potter 1977
36	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	278	0.1	0.1769558	Potter 1977
37	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	238	-0.1	0.1769558	Potter 1977
38	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	220	-0.1	0.1769558	Potter 1977
39	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	230	-0.1	0.1769558	Potter 1977
40	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	220	-0.1	0.1769558	Potter 1977
41	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	220	-0.1	0.1769558	Potter 1977
42	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	220	-0.1	0.1769558	Potter 1977
43	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	160	-0.1	0.1769558	Potter 1977
44	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	160	-0.1	0.1769558	Potter 1977
45	1000m	Cuarzo	Secundario	L +V	Ovalada	160		0	Potter 1977
46	1000m	Cuarzo	Secundario	V	Ovalada				
47	1000m	Cuarzo	Secundario	V	Ovalada				
48	1000m	Cuarzo	Secundario	V	Ovalada				