

1. mediciones directas la medición de la T° de las lavas, fumarolas y manantiales calientes es lo que proporciona la T° max para los minerales contenidos en los mismos lavas básicas 1185°C lavas acidas (600- 870°C)

2. punto de fusión (fusibilidad): Nos indican las temperaturas máximas de cristalización o los límites superiores del ámbito de la temperatura de formación. La presencia de otras sustancias contenidas en el mineral hace descender generalmente el punto de fusión. Ejemplos: Ortoza (1150°C) uno de los minerales con mayor punto de fusión, Estibina (540°C), Bismuto (270 °C).

3. disociación: Los minerales que pierden constituyentes volátiles a ciertas temperaturas, pueden servir también como termómetros geológicos (tiene que ver con la presión) por ejemplo: Cuando la pirita se disocia en vapor de azufre y la pirrotina, y si la presión parcial del azufre es de 20 mm Hg no puede formarse pirita a una

PROCESOS DE FORMACION DE YACIMIENTOS METALICOS:

consideraciones generales: La formación de los yacimientos minerales tienen procesos complicados; y existen muchos tipos que generalmente contienen varias menas y gangas. No existen dos iguales, porque difieren en la mineralogía, textura, contenido, forma, volumen y otras características. Los yacimientos se han formando mediante diversos procesos y en la formación de un solo deposito puede haber intervenido mas de un proceso. Los modos de formación de los minerales que hemos visto anteriormente con ser muchos son solo una parte de los procesos principales que forman los depósitos minerales. Entre los agentes que intervienen en la formación de los yacimientos minerales, el agua desempeña un papel predominante, ya sea en forma de vapor (como agua magmática caliente) o como agua meteórica fría o como agua de mar, de un lago de un lago o de un río. Otro

clasificación de los yacimientos magmáticos y sus procesos:

yacimientos magmáticos primarios:

Son el resultado directo de procesos magmáticos que se denominan ortotecticos, ortomagmaticos, los cuales han sido formado por los siguientes proceso:

*Simple cristalización, pero sin concentración.

*Segregación de cristales, de la primera formación.

*Inyecciones de materias concentradas, en otros lugares por diferenciación.

Los minerales metálicos cristalizaron antes que los silicatos de las rocas, y es de suponer que se separan por cristalización.

Procesos:

a) **DISEMINACION:**La cristalización simple de un magma profundo "in situ" producirá una roca ígnea granuda en cuya masa pueden estar diseminados los cristales que se formaron primero. Si

temperatura mayor a los 615 °C y entonces se deposita pirrotina.

4. inversion: (O punto de inversión) Son los indicadores mas útiles de la temperatura porque están poco afectados por la presión, entonces los cambios se reconocen fácilmente en su mayoría. Se conocen muchos puntos de inversión a las temperaturas establecidas en la formación de la mayor parte de los depósitos minerales. La sílice es la que se usa con mayor frecuencia debido a que tiene 4 modificaciones cristalinas estables y cuyas zonas de estabilidad son conocidas. El cuarzo es uno de los minerales de mayor confianza para la determinación de temperatura y no se permite establecer las temperaturas a la que se han formado los yacimientos donde el cuarzo esta presente.

5. desmezcla: Los minerales que forman soluciones sólidas naturales y que se separan de sus mezclas a determinadas temperaturas inferiores dando interformaciones minerales distintas, sirven también como

agente que desempeña un papel importante es la temperatura, con otros agentes son los tipos de magmas, gases, vapores, sólidos en solución, la atmósfera, los organismos y la roca encajonante. Diferentes procesos pueden actuar para producir tipos distintos de yacimientos de un mismo metal, por ejemplo: los depósitos de un mineral de hierro pueden ser formados por procesos magmáticos, metasomáticos de contacto, sustitución, sedimentación y supergenericos. La distinción entre ellos es de vital importancia desde el punto de vista económico (leyes).

diferentes procesos:

*Concentración magmática

*Sublimación

*Metasomatismo de contacto

*Procesos hidrotermales: Relleno de cavidades, Reemplazamiento

*Sedimentación (excluida la evaporación)

*Evaporación

*Concentración residual y mecánica

estos son valiosos y abundantes el resultado será un yacimiento de mineral magmático.

Toda la masa rocosa, o parte de ella puede constituir el yacimiento y los cristales pueden ser o no fenocristales, en este proceso también los depósitos resultantes tendrán la forma de la roca intrusiva, que puede ser un dique, chimenea o una pequeña masa en forma de bolsónada con un volumen considerable comprada con la mayoría, de los yacimientos minerales.

b) **SEGREGACION:** Este término se emplea a menudo de un modo general para designar los depósitos magmáticos, diferenciándolos de las formadas por solución u otros medios.

*Sin embargo siguiendo el significado original, segregación serian concentraciones minerales que

termómetros geológicos, pues indican la T° de lugar la desmezcla, por ejemplo: Se ha demostrado que la calcopirita y la bornita se separan de sus mezclas a 475 °C .

6. recristalización: Este cambio es parecido a las dos anteriores, pero se aplica de un modo más específico a los metales nativos. Por ejemplo: esta establecido que el cobre nativo experimenta una recristalización a una temperatura de 450 °C.

7. inclusiones líquidas. También esta demostrado que las inclusiones líquidas en cavidades de los cristales indican la temperatura aproximada de formación de los cristales, mediante el volumen de contracción de líquidos, suponiendo que esta llenaba originalmente la cavidad del cristal; se ha demostrado por ejemplo que a temperaturas comprendidas entre 115 °C-135°C indican que la blenda a tenido un origen hipogénico.

* También se ha utilizado la deposición de los cristales de sales en

*Oxidación y enriquecimiento supergenico

*Metamorfismo

A concentración magmática:

Modos de formación: ciertos constituyentes accesorios (o no comunes) de los magmas pueden concentrarse en masas de:

*Suficiente volumen y riqueza llegando a constituir yacimientos minerales de valor económico.

Algunos son bastante extensos y ricos en mineralización; otros como por ejemplo: los yacimientos de cromita y platino constituyen la única fuente de procedencia de estos minerales, los representantes de la concentración magmática son muchos y están bastante difundidos, pero existen pocos tipos de los mismos.

*Estos yacimientos se caracterizan porque presentan mineralización simple o sencilla y los productos que rinden no son numerosos.

*Aunque los depósitos en si son de gran valor, en conjunto quedan superados por la importancia de los

cristalizaran "in situ" y a los que hay que distinguir de la inyección.

*Las segregaciones magmáticas tempranas vienen a ser concentraciones de valiosos constituyentes del magma, producidos como resultado de la diferenciación por cristalización gravitativa.

*La segregación puede tener lugar también por la caída de los cristales pesados formados: Primero en la parte inferior de la cámara magmática.

c) **INYECCIONES:** Los minerales metálicos, se concentraran probablemente por diferenciación, por cristalización y son anteriores o contemporáneos de los minerales primarios asociados y que no han permanecido en su lugar de acumulación original, sino que fueron inyectados en la roca huésped o en las rocas circundantes.

Yac. magmáticos secundarios: Son masas de minerales pirogénicos que

soluciones incluidas para indicar la temperatura mínima de la inclusión. Así se ha obtenido cifras de alrededor de 500 °C para la cristalización del cloruro de sodio y de 300 °C para el cloruro de potasio.

consideraciones generales

(conclusiones de todo lo visto en termómetros geológicos) : Todo lo anteriormente expuesto en relación a la termometría geológica demuestra que existen varias clases de termómetros geológicos, algunos de los cuales registran con bastante exactitud las condiciones de temperatura específica de formación de yacimientos; algunos dan una temperatura superior o inferior, por encima o por debajo de la cual no se forman; otros nos presentan una curva de temperatura dentro de lo cual puede formarse; y otros sirven solo de indicadores en líneas generales. Se debe tener en cuenta que las cifras de temperaturas están sujetas a una ligera variación debida a la precisión u otros factores.

yacimientos formados por otros procesos. Los yacimientos minerales magmáticos también se caracterizan porque tienen una estrecha relación con las rocas ígneas intrusivas intermedias o profundas.

*Su modo de formación consecuentemente, se forman por simple cristalización o por concentración por diferenciación.

*También es conocido que en muchos yacimientos las menas han cristalizado posteriormente a los minerales de las rocas; actualmente se sabe que existen varios modos de formaciones de yacimientos magmáticos y que se originan en periodos diferentes de cristalización de magma, es decir que en algunos casos los minerales cristalizaron pronto y en otros después; mas aun hay otros casos en que los minerales permanecieron en forma de líquidos inmiscibles (no solubles) hasta haber cristalizado la roca huésped.

cristalizaron hacia el final del periodo magmático. Son las partes consolidadas de las fracciones ígneas que subsistieron después de la cristalización de los silicatos y se forman primero. Por consiguiente, los minerales metálicos de los yacimientos secundarios se formaron después de los silicatos de las rocas y los atraviesan, los inundan y reaccionan con ellos produciendo bordes de reacción. Estos cambios denominados alteraciones deutericas ocurrieron antes de la consolidación final de la masa ígnea. Los yacimientos magmáticos secundarios están predominantemente asociados a rocas ígneas básicas, y se han formado por variaciones de la diferenciación por cristalización, acumulación gravitativa de líquido residual pesado.

procesos:

a. **SEGREGACIONES LIQUIDAS RESIDUALES:** En un magma en proceso de diferenciación, el magma

residual se enriquece progresivamente en el sílice, álcalis y agua, pero en ciertos tipos de magma básico, el magma residual puede enriquecerse especialmente en hierro y titanio. Este líquido residual puede segregarse de los intersticios cristalinios hacia el interior de la cámara magmática y cristalizar sin que se produzca posterior desplazamiento, dando lugar a la formación de los últimos minerales pirogénicos. En caso de inmovilidad, este líquido forma segregaciones magmáticas secundarias. Estas masas pueden llegar a tener suficiente volumen y riqueza para formar valiosos depósitos de mineral metálico. Las rocas huéspedes son comúnmente la anartita, norita, gabro, o rocas afines.

b. INYECCIONES LIQUIDAS RESIDUALES: En este proceso el líquido residual rico en hierro se acumula en circunstancias de perturbaciones conjuntas como suelen acompañar a las intrusiones ígneas, pudiendo darse dos cosas: uno que puede ser desviado hasta lugares de menor precisión en las porciones consolidadas suprayacentes de la roca madre, o hacia el interior de las rocas que la encierran, o dos si no se ha producido acumulación de líquido, el líquido residual rico en hierro puede filtrarse por presión hacia fuera y formar inyecciones magmáticas posteriores. El aspecto de inyección de estos yacimientos las diferencian de las segregaciones.

Las masas minerales resultantes pueden ser de forma irregular, en forma de capas o diques y generalmente atraviesan la estructura primaria de las rocas huéspedes, o cortan a las rocas invadidas.

c. SEGREGACION DE LIQUIDOS NO MISIBLES: Aunque al parecer los óxidos metálicos no pueden formar soluciones no miscibles en magmas de silicatos, se ha demostrado que los sulfuros de hierro, níquel y cobre son solubles hasta un 6 o 7 % en magmas básicos y que al enfriarse pueden separarse en parte en forma de gotas no miscibles que se acumulan en el fondo de la cámara magmática donde forman segregaciones del sulfuro líquido. Los sulfuros permanecen hasta después de que cristalizaron los silicatos, y entonces penetran en estos, los corroen y cristalizan alrededor de las mismas. Los yacimientos formados de esta manera están constituidos principalmente por calcopirita, pirrotina, níquel, cobre, pentlandita, a los que también acompañan platino, oro, plata y otros elementos, los cuales están confinados a las rocas ígneas básicas de la familia del gabro. Este tipo de depósitos comúnmente se encuentran en forma de masas aisladas en las paredes inferiores de las intrusiones diferenciadas, principalmente cuando hay depresiones en el suelo. Su volumen esta en proporción al de la intrusión madre.

d. INYECCION DE LIQUIDOS NO MISIBLES: Si la fracción rica en sulfuros acumulados es sometida a perturbaciones antes de consolidarse puede verse impulsada a lugares de

menos presión, tales como las zonas de cisalladura o de brechas a lo largo de las paredes de la roca madre donde se consolidaron y formaron inyecciones de líquidos no miscibles.

Estos yacimientos son un inconfundible testimonio de una actividad magmática secundaria. Penetran enocas mas antiguas en incluyen fragmentos brechosos de la roca huésped o de otras rocas ajenas. Los depósitos son irregulares o tienen forma de diques. Si la fracción residual es rica en matrices volátiles los depósitos resultantes pueden presentar algunos estados de transición que se asemejan a los tipos hidrotermales.

B) yacimientos formados por sublimación: Es un proceso de menor importancia en la formación de los yacimientos minerales; y esta relacionada tan solo con compuestos que son volatilizados y posteriormente depositados a partir de vapor a una menor presión y temperatura. Implica una transición directa del estado sólido al gaseoso o viceversa, sin pasar por el estado líquido que usualmente se encuentra entre los dos (sólido-gaseoso). El proceso esta asociado al vulcanismo, especialmente a las fumarolas; es decir alrededor de los cráteres de los volcanes y fumarolas se depositan muchos sublimados que muy pocas veces son en abundancia como para constituir yacimientos explotables.

C) metasomatismo de contacto: Veremos ahora los efectos del contacto de las emanaciones gaseosas a elevadas temperaturas que escapan durante la consolidación de los magmas intrusivos o un poco después de la consolidación. Estos efectos han sido divididos por el autor Barrell en dos tipos:

1º Efectos Térmicos- En el se considera que no se produce una probable adición de nuevas materias que dan origen al metamorfismo de contacto.

2º Efectos térmicos combinados- Si se considera adiciones de materiales procedentes de la cámara magmática que dan origen a metasomatismo de contacto.

* Se debe hacer una clara distinción entre ambos efectos (y lo que ocasiona cada uno) puesto que el METAMORFISMO DE CONTACTO no da origen a yacimientos minerales, salvo algunos casos poco comunes de yacimientos no metálicos; en cambio el METASOMATISMO DE CONTACTO si puede dar origen a yacimientos valiosos.

a) metamorfismo de contacto: Se manifiesta por dos efectos:

*ENDOGENOS O INTERNOS: Que se producen en los márgenes de la masa intrusiva y que consisten principalmente en cambios de textura o de composición mineral en la zona marginal pudiendo presentarse algunos minerales pegmatíticos como por ejemplo: la turmalina, el berilo o los granates.

*EXOGENOS O EXTERNOS: Se producen en las rocas invadidas por la masa ígnea; estos efectos de grandes masas intrusivas son originalmente

muy importantes; consisten en una cocción y endurecimiento de las rocas circundantes produciendo en ellas una completa transformación.

Los minerales antiguos se deshacen y sus iones se recombinan formando nuevos minerales que son estables bajo las nuevas condiciones. Ejemplo: en una caliza impura que contenga Mg y Fe, o Cuarzo y arcilla el óxido de calcio y el Cuarzo pueden combinarse para formar la wollastonita, si se combina la dolomita+cuarzo+agua forman la tremolita.

Si fueran arcillas y calcita+ cuarzo forman granates.

Este efecto también puede darse en las rocas; por ejemplo: una roca cristalizada simple como la cuarcita proveniente de las areniscas o el caso de los mármoles que provienen de la recristalización de las calizas o dolomitas.

La alteración será mas intensa mientras más cerca este de la intrusión formando las conocidas aureolas metamórficas de contacto que varían de forma y tamaño.

b) Metasomatismo de contacto: Implica adiciones importantes a partir del magma, los cuales por reacción metasomática con las rocas circundantes o adyacentes forman nuevos minerales estables en condiciones de elevadas temperaturas y presión.

Si a los efectos del calor producido por el metamorfismo se añade el calor mucho mas elevado del metasomatismo, formaran los nuevos minerales que están constituidos por adiciones q se agregan del magma; constituyendo de esta manera una mineralogía mas variada y compleja. Si las emanaciones magmáticas están muy cargadas de minerales, resultaran yacimientos metasomáticos de contacto, particularmente en ambientes de rocas favorables como las calcáreas; Así como capas enteras de estas rocas pueden ser silicificadas, las que llamamos tactitas y si hay aportes de minerales metálicos se le conoce como SKARNES.

PROCESOS Y EFECTOS: La temperatura en el contacto inmediato debe ser similar a la que tiene el magma y cuando estos son mayormente silicios esta temperatura oscila entre 500 y 1100 °C

RECRISTALIZACION, RECOMBINACION Y APORTES: Estos efectos de los nuevos minerales rocosos tienen lugar en el halo de alteración. Ejemplos: la caliza y las dolomita, hay recristalización pero no hay muchos aportes y nos da mármol. Las impurezas carbonosas también por este proceso pueden producir grafito. La arenisca va a producir cuarcita y los principales aportes magmáticos consisten en metales, sílice, azufre, boro, flúor, magnesio, potasio y algo de sodio.

cambio de volumen: A las rocas invadidas se les adiciona grandes cantidades de materiales y de las mismas rocas también se sustraen otras cantidades de materiales. Sin embargo este intercambio no se produce en la

misma cantidad, de manera que se producen cambios de volumen.

fases de formación: Al parecer el metasomatismo de contacto empieza poco después de la intrusión y continúa hasta mucho después de la consolidación de la parte exterior del magma. En general la primera fase que es térmica produce recristalización y recombinación con o si aportes desde el magma; lo cual da origen a muchos silicatos. Ejemplos: la magnetita y el oligisto se forman conjuntamente con los silicatos y también después de ellos, pero generalmente proceden a la formación de los sulfuros (los sulfuros se forman en su mayoría después de los silicatos y los óxidos) comúnmente el orden de estas fases de formación es la siguiente:

Pirita y arsenopirita, Pirrotina, Molibdenita, Blenda, Calcopirita, Galena, Sulfosales.

reaccion con la intrusion: El metasomatismo de contacto que da origen a los yacimientos minerales no se presenta indistintamente en todos los magmas sino que están restringidos a los magmas intrusivos y depende de su composición, su volumen y profundidad de formación, de la masa intrusiva.

yacimientos resultantes: (del metasomatismo de contacto) constituyen una clase distinta caracterizada por una reunión no usual de minerales de mena y ganga; en su mayor parte son pequeños en comparación con los cobres porfiríticos o los yacimientos sedimentarios.

Son yacimientos de explotación difícil y engorrosa, debido a que su volumen es relativamente pequeño y sus terminaciones son abruptas.

Los depósitos son generalmente diseminados pero en forma muy irregular alrededor de la zona de contacto y tienden a concentrarse en el lado de la intrusión donde su buzamiento o inclinación es bastante suave.

forma y tamaño: Pueden tener casi todas las formas y sus ramificaciones pueden proyectarse hacia el exterior a lo largo de los planos de estratificación, las fisuras (o juntas) las formas mas irregulares se presentan en las calizas. En general los depósitos de metamorfismo de contacto son de volumen relativamente pequeño con dimensiones que pueden variar entre 25-150m, la textura de los minerales también es bastante variable y sus cristales pueden ser grandes o pequeños.

mineralogía característica: El rasgo sobresaliente de estos depósitos es la notable asociación de minerales de ganga, característicos de alta temperatura en los que figuran la wollastonita, Glosolaria, Fluorita, Granate, Andradita, Actinolita, Micas, etc. Conjuntamente con estos minerales están presentes el cuarzo y los carbonatos; y como minerales de mena se tienen óxidos, tales como la magnetita y limeñita, corindón, holigisto, etc. También pueden estar presentes metales nativos, algunos sulfuros, arseniuros y sulfosales