



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA

ESTUDIO DE LA SÍNTESIS POR SOL-GEL DE
MATERIALES UTILIZADOS PARA REACCIONES DE
CARBONATACIÓN

T E S I S P R O F E S I O N A L
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA:
MIRIAM MARTÍNEZ ROJAS

DIRECTOR DE TESIS:
DR. ROBERTO MENDOZA SERNA



MÉXICO D.F., JUNIO DEL 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Autónoma de México por haberme abierto las puertas permitiéndome una formación dentro de sus instalaciones además de ser mi alma máter nutriéndome intelectualmente.

Agradezco a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza por haber sido mi segunda casa en los últimos 5 años brindándome un sin fin de oportunidades haciéndome crecer como persona enseñándome una profesión que me enorgullece la cual ejerceré con gran dedicación, amor y ahínco.

Al Dr. Roberto Mendoza Serna por brindarme su apoyo, tiempo y dedicación para la realización del presente trabajo ya que sin su colaboración y enseñanza este trabajo no se hubiera podido llevar a cabo.

A la I.Q. Consuelo por el intercambio de ideas y de opiniones y la asesoría constante en este trabajo.

Al I.Q. Raúl Ramón Mora Hernández por los comentarios y sugerencias para la mejora del presente trabajo.

Al Mtro. Víctor Alberto Corbera Pillado por los comentarios y sugerencias en este proyecto de Licenciatura.

Al Dr. José Ángel Rojas Zamorano por el intercambio de ideas, comentarios, sugerencias y asesoría constante en este trabajo.

DEDICATORIAS

Principalmente a mis padres Eva y Javier por ser mi apoyo durante toda mi vida siendo mi base e inspiración demostrándome que el trabajo en equipo la dedicación y la constancia hacen la diferencia, Para mi madre que siempre ha estado para mí, llevándome de la mano por ésta gran ladera enseñándome todo lo que sabe y siempre incitarme a mejorar no solo en el ámbito profesional sino como ser humano. Para mi padre por todo el apoyo recibido de tu parte, el esfuerzo que pones en cada hora de trabajo para lograr sacar a tu familia adelante además de aconsejarme en la vida. Para ustedes que siempre están para mí cuando los necesito siendo el orgullo de mi vida.

A mis hermanos Sandra Javier y Diana por estar a mi lado durante éste camino enseñándome lo que saben, apoyarme en mis decisiones y haciéndome notar mis errores siendo mi ejemplo a seguir.

A mis amigos y compañeros Javier, Leonardo, Candy, Xareni Amado, Pablo, Zavaleta, Tayde y Araceli por ese apoyo constante, intercambio de ideas y enseñanzas no sólo en lo escolar siendo no solo mis compañeros de pupitre sino algo más.

A mis profesores Elvia, Raúl, Antonio Francisco y Mosso por haberme enseñado muchas cosas haciéndome ver que hay un gran mundo de posibilidades allá afuera, por enseñarme que no se necesita ser el mejor para llegar a ser alguien sino dar lo mejor de ti, nunca rendirme y siempre mirar hacia adelante sin importar los obstáculos que tenga que enfrentar.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	3
MARCO TEÓRICO.....	8
EL CLIMA.....	9
DE QUE DEPENDE EL CLIMA EN ALGUNA DETERMINADA REGIÓN	9
EL CAMBIO CLIMÁTICO	10
PANEL INTERGUBERNAMENTAL PARA EL CAMBIO CLIMÁTICO (PICC)....	12
ACTIVIDADES PRINCIPALES DEL PICC.....	13
REDUCCION DE LAS EMISIONES DE CO ₂	13
EL ALMACENAMIENTO GEOLÓGICO	13
SECTOR FORESTAL.....	14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	15
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
OBJETIVO GENERAL	16
OBJETIVOS PARTICULARES	16
HIPOTESIS	17
CAPÍTULO I	
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA SOBRE LA CARBONATACIÓN MINERAL.....	18
1.1 EL DIOXIDO DE CARBONO.....	19
1.1.1. EL DIOXIDO DE CARBONO COMO CONTAMINANTE.....	19
1.1.2. CAPTURA DE CO ₂	20
1.3. CARBONATACIÓN MINERAL.....	21
CAPÍTULO II	
TÉCNICA SOL-GEL	27
2.1. ¿QUÉ ES LA SÍNTESIS SOL-GEL?	28
2.1.1. VENTAJAS Y LIMITACIONES	31
2.2. PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCION DEL SOL-GEL	31
2.2.1. MEZCLA	31
2.2.2. GELIFICACIÓN.....	32
2.2.3. ENVEJECIMIENTO.	33

CAPITULO I11

SECCIÓN EXPERIMENTAL	34
3.2. PROCEDIMIENTO.....	37
3.2.1. MATERIAL, EQUIPO Y SERVICIOS	37
3.2.2. SECCIÓN EXPERIMENTAL.....	38
RESULTADOS.....	42
CONCLUSIONES.....	50
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	52
ANEXOS	57
HOJAS DE SEGURIDAD DE LOS REACTIVOS	58
HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL CO ₂	58
HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL CaSiO ₃	66
HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL CaO	77
HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL MgO	82
HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL SiO ₂	87
GLOSARIO	93
NOMENCLATURA Y SIMBOLOS.....	95



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA



RESUMEN

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

En el presente trabajo se realizó una síntesis mediante el proceso sol-gel de materiales conformados por un alcóxido, etanol, agua y ácido clorhídrico. Donde después de estudiar algunos métodos para secuestrar CO_2 se eligió el método sol gel por sus ventajas que tiene sobre los demás métodos como su alta pureza y homogeneidad del producto además de no ser tan costoso, antes de que gelificara se le agregó un nitrato y se dejó gelificar. Después de secar el gel, pulverizarlo y hacerle burbujear el CO_2 , se le realizó un método gravimétrico para poder determinar la formación del carbonato y aunque la formación de éste fue muy baja se pudo determinar que se puede acelerar el proceso que la naturaleza hace por si misma pero tarda miles de años además de realizarlo a condiciones no tan rigurosas como las mencionadas en la literatura. Se trata de una técnica prometedora, sin embargo es necesaria mayor investigación para concluir con una tecnología efectiva económicamente y aceptable energéticamente.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA



INTRODUCCIÓN

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

El término "clima" se refiere a las condiciones promedio del estado del tiempo en una región particular, calculadas a partir de varios años de datos. Pero este promedio cambia a través del tiempo. El clima ha variado siempre en distintas escalas de tiempo y estas variaciones están sólidamente documentadas. Entre las causas más importantes se encuentran los cambios en la cantidad de energía que la Tierra recibe del Sol (debido a variaciones naturales en la actividad solar) y la manera en que se distribuye esta energía por el planeta. También afectan los movimientos de la Tierra, cuyo eje de rotación cambia de orientación y cuya órbita se vuelve más o menos alargada en escalas de tiempo muy grandes. Sin embargo, la mayoría de los estudios serios indican que el cambio climático que se está observando y el que se prevé para los próximos 100 años se debe principalmente a la actividad humana. ^[1] Los científicos definen al cambio climático como "todo cambio que ocurre en el clima a través del tiempo resultado de la variabilidad natural o de las actividades humanas." El calentamiento global, por su parte, es la manifestación más evidente del cambio climático y se refiere al incremento promedio de las temperaturas terrestres y marinas globales. ^[2] El Cambio Climático es un hecho constatado, consecuencia del aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, especialmente de CO₂ antropogénico, según se afirma en el último informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). ^[3]

Se denomina efecto invernadero al fenómeno por el cual determinados gases que son componentes de la atmósfera planetaria, retienen parte de la energía que el suelo emite por haber sido calentado por la radiación solar. Afecta a todos los cuerpos planetarios dotados de atmósfera. De acuerdo con la mayoría de la comunidad científica, el efecto invernadero se está viendo acentuado en la Tierra por la emisión de ciertos gases, como el dióxido de carbono y el metano, debido a la actividad humana. Este fenómeno evita que la energía solar recibida constantemente por la Tierra vuelva inmediatamente al espacio, produciendo a escala mundial un efecto similar al observado en un invernadero a excepción de que en la tierra no nos es posible manipular su temperatura. ^[5]

El efecto invernadero es un fenómeno natural, el cual provoca un calentamiento de la atmósfera en sus capas bajas; los gases que lo producen se denominan de efecto invernadero, compuestos naturales de la atmósfera donde su concentración y distribución está regulada por los ciclos de carbono y nitrógeno. El efecto invernadero permite mantener una temperatura agradable en el planeta, al retener parte de la energía que proviene del sol. ^[5]



A través de las actividades humanas se liberan grandes cantidades de carbono a la atmósfera a un ritmo mayor de aquel con que los productores y el océano pueden absorberlo, éstas actividades han perturbado el presupuesto global del carbono, aumentando, en forma lenta pero continua el CO_2 en la atmósfera; propiciando cambios en el clima con consecuencias en el ascenso en el nivel del mar, cambios en las precipitaciones, desaparición de bosques, extinción de organismos y problemas para la agricultura. ^{[4][5]}

Los principales gases de efecto invernadero son producto de la actividad humana, como son el N_2O producto de cambios de suelo agrícola, CH_4 del gas natural, residuos sólidos y aguas residuales, CFC, PFC, SF_6 provenientes de refrigerantes, repelentes y productos en aerosol y el CO_2 producto de la combustión de combustibles fósiles. El CO_2 es emitido principalmente por 3 sectores: transporte, terciario (doméstico y servicios) y el sector eléctrico. ^[5]

Buscando comprometerse con el cuidado del medio ambiente y cumplir con las nuevas normativas ambientales acordadas (como el protocolo de Kioto) es que los países más desarrollados han llevado a cabo numerosas investigaciones invirtiendo importantes sumas de dinero con el objetivo de implementar tecnologías que puedan reducir las emisiones de CO_2 en los procesos de generación de energía, mediante tecnologías de captura, secuestro y almacenamiento de este gas. Se han propuesto muchas estrategias para reducir el dióxido de carbono, incluyendo la transformación química y la reducción foto catalítica de CO_2 a los productos valiosos, tales como metanol o metano. La fijación química del dióxido de carbono es uno de los medios eficaces y viables para reducir la concentración de CO_2 generada a partir de fuentes industriales y de otro tipo en la atmósfera así como el almacenamiento a largo plazo en depósitos geológicos, tanto terrestre y oceánica, así como la conversión de CO_2 en materiales sólidos que son más termodinámicamente estables. ^[5]

Gracias a un proceso llamado carbonatación mineral, el CO_2 puede adoptar casi permanentemente una forma sólida mediante reacciones químicas con ciertos minerales extraídos que se encuentran en la naturaleza, como el óxido de calcio (CaO) para producir piedra caliza (CaCO_3), o el óxido de magnesio (MgO) para producir dolomita (MgCO_3). Como resultado de esta reacción se reducirían notablemente las emisiones de CO_2 a la atmósfera, los lugares de eliminación no requerirían mucho control y los riesgos asociados serían muy bajos.

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

Para la elaboración de la carbonatación mineral de manera artificial se requieren grandes cantidades de energía y de minerales para aplicar esta tecnología. Se necesitan grandes mejoras antes de que se convierta en una opción real. Sin embargo actualmente se están implementando nuevas técnicas de sintetizar compuestos que al hacerlo reaccionar con CO_2 se obtengan minerales como el carbonato de calcio o de magnesio. [7]

Existen diversos métodos para la carbonatación mineral, algunos son:

- Carbonatación gas sólido “seca”, trata del proceso más directo de reacción entre el silicato y el dióxido de carbono gas. Para que tenga lugar, son necesarias elevadas presiones (4931 psi) y temperaturas (250 °C) para obtener velocidades de reacción razonables trabajando con CO_2 supercrítico. Las condiciones de trabajo no justifican las conversiones alcanzadas.
- Carbonatación acuosa, también se conoce como el sistema en ácido carbónico. En este proceso el dióxido de carbono reacciona a una presión elevada (2175.6 psi) en una suspensión acuosa de mineral, consiguiendo conversiones elevadas en un tiempo inferior al necesario en el proceso anterior. Requiere un control continuo del pH de la disolución.
- El proceso de extracción del $\text{Mg}(\text{OH})_2$ utilizando HCl se divide en diversas etapas. Debido a la complejidad del proceso se detallan a continuación. En primer lugar el mineral se disuelve en el ácido dando lugar a cloruro de magnesio, agua y óxido de silicio en una reacción exotérmica. El cuarzo se halla en forma sólida mientras que el magnesio se encuentra en disolución, lo que permite la extracción del cuarzo del sistema. La siguiente etapa es la hidrólisis del cloruro de magnesio formando $\text{MgCl}(\text{OH})$ y HCl mediante calor, permitiendo la recuperación del ácido que se encuentra en forma gaseosa. Se deben alcanzar temperaturas de 200 a 260 °C siendo necesaria una cierta aportación de energía externa. Posteriormente se añade agua al compuesto $\text{MgCl}(\text{OH})$ lo que provoca la precipitación del hidróxido de magnesio y la formación de un compuesto acuoso, pudiendo extraer el hidróxido al ser sólido y prácticamente insoluble en agua. Puede ser carbonatado absorbiendo CO_2 . Este sistema también presenta ciertas desventajas, ya que debe considerarse el fuerte carácter corrosivo del solvente, lo que provoca problemas operacionales y de mantenimiento.



- Aerogeles con alta superficie específica como el material de apoyo para las reacciones de carbonatación rápidas. Los aerogeles son materiales nano porosos hechos por un proceso de sol-gel seguido de secado a condiciones supercríticas. Presentan muy fina porosidad y son muy densos durante la preparación del gel húmedo. Además, los aerogeles se pueden moldear en cualquier forma, tamaño y funcionalidad química. Sin embargo para poder lograr la obtención del aerogel se necesitan condiciones muy elevadas de presión (1149.7 psi).^[22]

Éste último método tiene un poder de conversión de 40-50% lo cual lo hace factible y si no se necesitara presiones tan elevadas para la obtención del aerogel lo convertiría en uno de los métodos más viables para ésta problemática, sin embargo el método sol-gel no solo forma aerogeles también es posible la formación de xerogeles los cuales son muy similares a los aerogeles sólo que su formación no es tan estricta ya que para la formación de éste sólo es necesario quitarle el exceso del disolvente que se empleó para la formación del gel (aproximadamente 50 °C), el xerogel no presenta la porosidad tan fina que tiene el aerogel pero es muy similar, haciéndole unas ligeras modificaciones como la de en lugar de formar un aerogel formar un xerogel el cual tal vez no sea tan poroso y tenga un rendimiento menor pero que no se necesiten presiones tal elevadas.

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

MARCO TEÓRICO



EL CLIMA

El clima es el patrón promedio de las condiciones atmosféricas anuales del tiempo en una región particular, ^[8] calculadas a partir de varios años de datos (por ejemplo, la temperatura promedio en enero en el Distrito Federal). Pero este promedio cambia a través del tiempo. El clima terrestre es producto de la constante y compleja interacción entre la atmósfera, los océanos, las capas de hielo y nieve, los continentes y, muy importante, la vida en el planeta (plantas y animales en los bosques y selvas, en océanos y en la atmósfera). ^[9] El clima ha variado siempre en distintas escalas de tiempo y estas variaciones están sólidamente documentadas. Entre las causas más importantes se encuentran los cambios en la cantidad de energía que la Tierra recibe del Sol (debido a variaciones naturales en la actividad solar) y la manera en que se distribuye esta energía por el planeta. También afectan los movimientos de la Tierra, cuyo eje de rotación cambia de orientación y cuya órbita se vuelve más o menos alargada en escalas de tiempo muy grandes. Sin embargo, la mayoría de los estudios serios indican que el cambio climático que se está observando y el que se prevé para los próximos 100 años se debe principalmente a la actividad humana. ^[1]

DE QUE DEPENDE EL CLIMA EN ALGUNA DETERMINADA REGIÓN

El clima es diferente en todas las partes del mundo inclusive en el mismo país puede variar, por ejemplo en invierno puede haber un clima cálido en el sur mientras que en el norte hace más frío inclusive en algunas zonas podría hasta nevar esto se debe a los factores de la tierra que determinan o de los que depende la distribución de los elementos del clima en la tierra y consecuentemente, el tipo de clima de una región mencionados a continuación: ^[8]

- Latitud
- Distribución Tierra-Océano
- Circulación atmosférica global (vientos dominantes)
- Corrientes oceánicas
- Altitud
- Orografía

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

Pero no solo esos factores influyen, también existe otro que es la forma redonda de la tierra puesto que los rayos solares inciden diferente en el ecuador (perpendiculares) que en los polos (tangenciales), trayendo como consecuencia temperaturas más altas en el ecuador y más bajas en los polos. ^[8] Por estos factores hay variaciones en las condiciones de nuestro planeta, por lo que cada día hay variaciones en las condiciones de temperatura y lluvia planetaria. Sin embargo, a esas variaciones no les llamamos clima, sino estado del tiempo. En buena parte del planeta y, en particular en nuestro país, esperamos frío en invierno y calor en verano. Asimismo, esperamos que en primavera inicien las lluvias y que éstas sean más intensas y regulares en verano. ^[9] Sin embargo, puede ser que alguna vez un día invernal sea sumamente caluroso o que se retrasen mucho las lluvias en primavera. Estos sucesos no nos indican que ha cambiado el clima, sino que son parte de una variación posible dentro del clima que esperamos. Diariamente, en los medios de información (radio, televisión, periódico) se anuncian los pronósticos del estado del tiempo, esto es, las posibles variaciones en las condiciones de clima esperado. Para medir al clima, esto es, para asociarle números al clima de una localidad, una región o un país, es necesario medir diariamente las condiciones de temperatura, lluvia, humedad y viento, además de observar las condiciones de nubosidad, de la trayectoria de los huracanes, de las masas de aire frío que entran por el norte a nuestro país, etc. Para ello, es necesario conocer durante varios años el estado del tiempo. Varios años de mediciones y observaciones nos permiten entonces decir que el promedio de temperatura en el verano de México es de 26 °C, y que llueve durante esa estación. ¿Cuántos años se requieren para poder decir esto? Los especialistas en el clima consideran que se precisa tener por lo menos 30 años de datos y observaciones para hablar con seguridad del clima esperado y de la historia de las variaciones posibles en el estado del tiempo de una región. ^[9].

EL CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático es un problema de naturaleza global, sus impactos mayores serán a largo plazo e involucra interacciones complejas entre procesos naturales, procesos sociales, económicos y políticos a escala mundial. ^[10] El cambio climático enfrenta la vida tal y como hoy la conocemos porque eleva la temperatura promedio del planeta. Por pequeña que sea, la variación de temperatura afecta el ciclo del agua, altera la frecuencia de los fenómenos climatológicos normales y hace más catastróficos los desastres naturales; a su vez, esto daña comunidades, cultivos y ecosistemas rompiendo el equilibrio ecológico en el cual se sustenta la vida actual en la Tierra. ^[11] Para algunos historiadores la revolución industrial se inició en 1890; desde entonces hasta 1990, la cantidad de bióxido de carbono en el planeta ha aumentado en un 30%. Y el planeta con ese exceso empieza a calentarse, tratando de redistribuir la energía que ya no puede liberar al espacio. En este proceso, se calienta la superficie terrestre y marina, aumenta el nivel del mar, hay cambios en



los patrones de lluvia, y eventualmente pueden aumentar las ondas de calor y otros eventos climáticos que afectan a la sociedad y a las diversas especies animales y vegetales. ^[10].

Aunque el cambio climático es un proceso normal en nuestro planeta, el problema es que se ha incrementado rápidamente por la acumulación en la atmósfera de gases de efecto invernadero, emitidos por actividades humanas. Hace 30 años la mayoría de los climatólogos eran escépticos acerca de la naturaleza antropogénica del cambio climático. ^[10].

Hoy en día, la inmensa mayoría de ellos reconoce una evidente huella humana en el intenso cambio climático ocurrido en los últimos cincuenta años. El ser humano impacta poderosamente en el medio. La actividad humana emite actualmente a la atmósfera más de 26 mil millones de toneladas anuales de CO₂, el gas de efecto invernadero más importante. Este gas permanece en la atmósfera alrededor de un siglo antes de ser absorbido por los océanos y por los ecosistemas terrestres. ^[11].

Dada la larga vida atmosférica de este gas y el aumento de las emisiones de CO₂ derivadas de la actividad humana, se ha producido un incremento de su concentración en la atmósfera de un 30% en los últimos dos siglos. ^[10].

El efecto invernadero es necesario para la vida en el planeta tierra así como los gases de efecto invernadero son necesarios para mantener una temperatura adecuada en la Tierra. Sin ellos la temperatura de la atmósfera en el planeta sería aproximadamente 33°C más fría. Pero una concentración excesiva de estos gases provocaría un aumento de la temperatura media del planeta que dificultaría la vida tal y como la conocemos, convirtiendo así a el principal causante de éstos cambios climáticos a el hombre. ^[11]. En los últimos 20 años se ha acumulado tanta evidencia de que se pueden dar cambios peligrosos en el clima global, que organismos internacionales han decidido pasar a la acción. Las Naciones Unidas y la Organización Meteorológica Mundial, entre otros, han apoyado la creación del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (PICC). En ese Panel participan un gran número de científicos de todo el mundo, incluyendo destacados científicos mexicanos. ^[9]

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

PANEL INTERGUBERNAMENTAL PARA EL CAMBIO CLIMÁTICO (PICC)

La década de los 80's fue nombrada como la década del invernadero debido a las temperaturas tan altas que se presentaron en esos años y la serie de condiciones climáticas inusuales presentes en esos años como sequías, inundaciones, huracanes y tifones. Estos eventos posicionaron al cambio climático como un tema de importancia en la agenda política internacional. Fue así que en 1988 el Consejo Gobernante del Programa de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente se reunió en Kenya y estableció, de manera conjunta con la OMM un organismo intergubernamental para realizar estudios sobre calentamiento global. Este organismo se convirtió en Panel Intergubernamental para el Cambio Climático [12]. El Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (PICC) recopila cada cuatro años los resultados científicos más avanzados, las evidencias del proceso de cambio climático en la actualidad, y difunde a todos los países sus resultados. [9]

La amenaza de un cambio climático mundial presenta un gran desafío a todos los responsables de políticas públicas. El cambio climático es un problema con enormes complicaciones debido a las considerables incertidumbres propias de una cuestión tan compleja; la posibilidad de daños y costos irreversibles; que son periodos muy largos entre las emisiones y los posibles efectos; que se tienen que considerar varios gases de efecto invernadero (GEI) que las causas y los efectos varían extensamente entre regiones, y que los resultados de acciones para mitigarlos son a muy largo plazo. La creación de políticas para proteger eficazmente los sistemas humanos y naturales del cambio climático se complica aún más si se considera que se requiere de la cooperación internacional. Para que los tomadores de decisiones puedan decidir el rumbo a seguir, se requieren de información científica, técnica y socioeconómica, objetiva y ampliamente aceptada sobre el cambio climático. Es necesario conocer sus repercusiones en varios ámbitos, así como posibles opciones de respuesta para poder evaluar los costos y beneficios, y los riesgos de tomar una posición activa o pasiva frente al problema. Es por esto que se hizo necesaria la existencia de un organismo que evaluara de manera objetiva, abierta y transparente la información relevante sobre el cambio climático, éste grupo de expertos no realiza investigaciones ni monitoreo de datos climáticos u otros parámetros relevantes. Su tarea es evaluar exhaustivamente la información disponible, a nivel mundial, sobre todo lo relacionado con el cambio climático. También propone asesoramiento científico, técnico y socioeconómico a la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. [9][12].



ACTIVIDADES PRINCIPALES DEL PICC

Como se mencionó anteriormente, el PICC tiene como actividad principal evaluar el conocimiento mundial actual sobre cambio climático. Con el objetivo de proveer una opinión científica, autorizada e internacional, el PICC produce informes que evalúan de manera periódica, sobre las causas, impactos y posibles estrategias de respuestas ante el cambio climático. También prepara informes especiales sobre temas concretos y documentos teóricos. Por último, el PICC lleva a cabo las tareas de elaborar metodologías y prácticas relacionadas con los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. ^[12].

Una vez que la actividad mundial ha sido evaluada se procede a la propuesta de posibles estrategias de respuesta ante el cambio climático que en la actualidad son 3, las que darían una mejor respuesta ante el gran problema que nos acontece que son: buscar fuentes de energía más limpias, reducir el consumo de energía o la captura y secuestro del CO₂ siendo esta última en la que se están centrando las investigaciones.

REDUCCION DE LAS EMISIONES DE CO₂

Debido a la gran importancia que está tomando el tema del cambio climático se han buscado varias soluciones para calmar éste cambio que cada vez toma mayor fuerza y que mientras más tiempo dejemos que pase más difícil será poder controlarlo, hay varias propuestas para su reducción en el aire de cierto modo natural, sin tener que acudir a procedimientos tan complicados como son el almacenamiento geológico y la reducción en el sector forestal,

EL ALMACENAMIENTO GEOLÓGICO

Corresponde al confinamiento del CO₂ en una formación geológica idónea, cuya estructura favorece su acumulación de forma estable y segura en el tiempo (escala geológica: cientos a miles de años). Las formaciones geológicas idóneas para el almacenamiento de CO₂ son las sedimentarias, destacando aquellas que han retenido petróleo, gas natural, agua salada y capas de carbón. El CO₂ inyectado en los poros de la formación almacén migrará a través de la roca, empujando y expulsando el fluido original contenido en los mismos. Para que el CO₂ pueda desplazarlo debe ser inyectado a una presión mayor de la existente en la formación. La inyección de CO₂ es una técnica aplicada en la producción de petróleo. ^[13]

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

SECTOR FORESTAL

Existen tres opciones básicas de poder reducir las emisiones de CO₂ en el sector forestal: ^[13]

1. La conservación: Ésta opción consiste en evitar la emisiones de carbono preservando las áreas naturales protegidas, fomentando el manejo sostenible de bosques naturales y el uso renovable de la leña, y/o reduciendo la ocurrencia de incendios.
2. La reforestación y forestación. Ésta opción consiste en recuperar áreas degradadas mediante acciones como la protección de cuencas, la reforestación urbana, la restauración para fines de subsistencia, el desarrollo de plantaciones comerciales para madera, pulpa para papel, hule entre otros, así como plantaciones energéticas (producción de leña y generación de electricidad) y de sistemas agroforestales.
3. La sustitución: Ésta opción consiste en sustituir los productos industriales por aquellos hechos de madera; es decir, ahorrar energía para producir estos productos industriales (ejemplo el cemento) y por la sustitución de combustibles fósiles por combustibles renovables, como carbono vegetal y biogás. ^[13].

Existen otro tipo de métodos que se encargan de reducir las emisiones de efecto invernadero pero serán tratados en el siguiente capítulo.



*PLANTEAMIENTO
DEL PROBLEMA
OBJETIVOS E
HIPÓTESIS*

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los drásticos cambios de clima ocurridos en las últimas décadas surgidos principalmente por la alta demanda de consumo energético centrado principalmente en la quema de combustibles fósiles, ha ocasionado un aumento de gases de efecto invernadero principalmente el CO₂ lo cual se ha convertido en un problema mundial que necesita una rápida acción obligando a tomar iniciativas para reducir las emisiones de éste gas como el que ocurre geológicamente sin embargo éste proceso es demasiado lento, surgiendo la necesidad de buscar alternativas a éste proceso haciéndolo más rápido de lo que ocurre naturalmente y no a condiciones tan estrictas como los que están reportados en la literatura como la carbonatación mineral ya que permite el almacenamiento del CO₂ de un modo seguro permitiéndole un uso posterior.

OBJETIVO GENERAL

El objetivo de esta Tesis es recopilar información de la síntesis por Sol-Gel para la obtención de materiales que puedan ser utilizados para el secuestro de CO₂ a condiciones no tan estrictas como las mencionadas en la literatura, proponiendo alguna modificación. Tratando de resolver el problema del efecto invernadero ocasionado por las emisiones de CO₂.

OBJETIVOS PARTICULARES

Conocer los diferentes métodos que existen para el almacenamiento de CO₂ de origen antropogénico.

Obtener Soles y Geles homogéneos para la fijación de CO₂ a través de reacciones de carbonatación.



HIPOTESIS

Es posible producir un material sintetizado por el proceso sol-gel, por su homogeneidad y propiedades como área específica y porosidad es adecuado para reaccionar en condiciones ambientales con el CO_2 para atraparlo y producir el correspondiente carbonato.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA SOBRE LA CARBONATACIÓN MINERAL.



1.1 EL DIOXIDO DE CARBONO

El dióxido de carbono es un gas incoloro e inodoro que se forma en todos aquellos procesos en que tiene lugar la combustión de sustancias que contienen carbono (para conocer sus propiedades véase el Anexo). En ambientes interiores no industriales sus principales focos de emisión son la respiración humana y otras combustiones (cocinas y calefacción), aunque la mayor fuente de dióxido de carbono es el transporte con combustibles fósiles y las plantas generadoras de potencia a partir de los mismos. Para la determinación del dióxido de carbono pueden utilizarse tubos colorimétricos o monitores portátiles ya sean foto acústicos o de infrarrojo, siendo estos últimos los más versátiles y de uso más extendido ya que permiten tanto mediciones puntuales como mediciones promediadas en el tiempo. ^[14]

1.1.1. EL DIOXIDO DE CARBONO COMO CONTAMINANTE.

El dióxido de carbono es un asfixiante simple que actúa básicamente por desplazamiento del oxígeno y que a elevadas concentraciones (>30.000 ppm) puede causar dolor de cabeza, mareos, somnolencia y problemas respiratorios, dependiendo de la concentración y de la duración de la exposición. El valor límite de exposición profesional para exposiciones diarias de 8 horas es de 5.000 ppm y para exposiciones cortas de 15 minutos de 15.000 ppm. En la práctica, en estos recintos se encuentran valores entre 2.000 y 3.000 ppm. Si se superan estos niveles puede deberse a una combustión incontrolada, en cuyo caso el riesgo para la salud puede no ser debido al dióxido de carbono sino a la presencia de otros subproductos de la combustión, principalmente el monóxido de carbono (CO) cuyo límite de exposición es muy inferior (25 ppm). ^[14]

Detectado el problema del cambio climático, los países en vías de desarrollo se plantean vías para la reducción de la cantidad de CO₂ en la atmósfera. Estas vías son actualmente tres:

- Reducción de la cantidad de energía utilizada y mejora en la eficiencia de los procesos generadores de energía.
- Utilización de combustibles no fósiles (energías renovables).
- Captura y secuestro de CO₂.

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

En la actualidad parece complicado que las dos primeras vías sean factibles porque las necesidades energéticas de nuestra civilización crecen día a día y el combustible más barato de obtener es el petróleo. Por esto, la tercera vía se presenta como la solución a corto plazo para la mitigación del cambio climático. [14]

1.1.2. CAPTURA DE CO₂

Previo al secuestro de dióxido de carbono, se debe proceder a su captura de tal forma que se pueda disponer de CO₂ con la mayor pureza posible. Actualmente el dióxido de carbono se captura de los gases de salida en los procesos de producción de amoníaco (NH₃) e hidrógeno (H₂) como subproducto para la industria alimenticia (bebidas gaseosas). [15]

Pese a la existencia de diversas tecnologías de captura, actualmente no son rentables en las plantas de potencia. La mayoría de las plantas de potencia utilizan combustiones que reduzcan en gran parte la emisión de CO₂ de cara a evitar sistemas de captura. Los gases de salida de las plantas que queman carbón emiten entre un 10-12% en volumen diluido en nitrógeno, mientras que en las de gas natural se emite entre un 3-6% en volumen. Para el secuestro efectivo de carbono el dióxido de carbono debe ser separado y concentrado. [15]

Los sistemas utilizados generalmente para la captura son:

1. Absorción
 - Química con MEA o física con K₂CO₃
2. Adsorción en un sólido
 - A presión o a temperatura bajas
3. Destilación a baja temperatura
4. Membranas de separación de gases
5. Mineralización

La absorción física es preferible a la absorción química en el caso de presiones elevadas. El sistema más utilizado para la absorción química es la absorción con MEA ya que permite la absorción de CO₂ incluso a bajas presiones.

La adsorción en un sólido permite separar el CO₂ por una atracción del gas al sólido. Existen diversas técnicas industriales pero son más costosas económica y energéticamente que las técnicas de absorción. Se utilizan para casos de temperaturas bajas.

La destilación a baja temperatura trabaja separando el CO₂ condensándolo a temperaturas criogénicas. Se trata de una solución más económica a presiones



elevadas pero requiere un elevado coste energético para alcanzar tan bajas temperaturas. [17]

Los sistemas de captura enunciados reducen las cantidades de dióxido de carbono en un 80% y generan una corriente de CO₂ de elevada pureza. La desventaja esencial de estos procesos es el requerimiento de una cierta demanda de energía (calor, frío, regeneración del solvente) que al ser producida generará más dióxido de carbono, por lo que estos procesos no se adaptan al objetivo del secuestro de CO₂. [17].

Actualmente se estudian nuevos sistemas de captura que sean adaptables al secuestro de carbono de los cuales podemos destacar:

- Nuevos materiales (absorbentes, fibras de carbón y membranas de polímeros)
- Separación de CO₂ hidratado
- Extracción de carbono previamente a la combustión
- Reciclaje de CO₂ para la combustión.

Una vez el dióxido de carbono es capturado, debe ser secuestrado para reducir su concentración. Existen diversas técnicas de secuestro entre las que destacan: el secuestro geológico, el secuestro oceánico, el secuestro terrestre y el secuestro mineral. [13].

1.3. CARBONATACIÓN MINERAL

Aunque hace décadas que se realiza la separación de CO₂ de otros gases ligeros, en los últimos años ha aumentado el interés en la separación del CO₂ de corrientes gaseosas asociadas a procesos de combustión industriales por la importancia de este gas en el Cambio Climático global. Las Tecnologías de Captura y Almacenamiento de CO₂ (Tecnologías CAC) aplicadas a la producción energética consisten, fundamentalmente, en la implantación de centrales térmicas con un nuevo concepto del proceso. Su diseño ha de incluir equipos y unidades que eviten la emisión del CO₂ resultante de la combustión de combustibles fósiles, mediante su captura, y almacenamiento permanente. Así, una ubicación adecuada para un sistema de captura postcombustión de CO₂ en una central térmica de carbón pulverizado es a continuación de la unidad de desulfuración de gases. En este punto, la corriente gaseosa se encuentra a presión atmosférica, temperatura de unos 47°C y con la siguiente composición media: CO₂ (10-15%), H₂O (8-10 %), N₂

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

(70-75%), O₂ (4-6 %), CO (100 ppm), SO_x (<150 ppm), NO_x (<900 ppm), etc. La cantidad de agua presente en la corriente depende de la temperatura de ésta ya que se trata de una corriente saturada en agua. ^[15].

Las principales metodologías empleadas para la separación del CO₂ de otros gases ligeros son: destilación criogénica, purificación con membranas, absorción con líquidos y adsorción utilizando sólidos. La destilación criogénica se ha empleado en la separación de CO₂ de otros gases, sin embargo no se considera viable económicamente para la separación de éste en una corriente de gases de chimenea de las características del proceso comentado anteriormente. La separación con membranas se suele llevar a cabo en corrientes con una elevada concentración de CO₂, como es el caso de separación de depósitos de gas natural. También es válida para procesos en los que el CO₂ se encuentra a elevadas presiones, hecho que no ocurre en la aplicación anterior. Los procesos de absorción de CO₂ con disoluciones acuosas de aminas son comerciales a menor escala, aunque presentan ciertos inconvenientes: elevada penalización energética, alto consumo de materias primas, corrosión de los equipos y necesidad de purificar los gases previamente hasta concentraciones inferiores a 1 y 5 ppm de SO₂ y NO_x, respectivamente. ^[16].

Una vez conseguida la separación del CO₂, en aquellos casos en los que hay cavidades subterráneas disponibles, una estrategia importante para la captura y almacenamiento de CO₂ es el almacenamiento geológico a largo plazo. Tal tecnología consiste en capturar el CO₂ gaseoso de las emisiones y almacenarlo en yacimientos de gas y petróleo ya agotados o en trampas geológicas equivalentes, con el efecto colateral de mejorar la producción de petróleo.

Sin embargo, en este método existe el riesgo de la difusión de CO₂ a través de los poros y las fracturas de las rocas. Este problema puede evitarse si el CO₂ capturado es transformado en una fase mineralógica estable mediante carbonatación. ^{[15][16]}

El almacenamiento geológico de CO₂ se plantea principalmente en aquellas formaciones geológicas que o bien retienen o bien retenían fluidos anteriormente:

- Formaciones profundas con agua salada fósil
- Yacimientos de gas y petróleo
- Capas de carbón profundas

Aunque los yacimientos de petróleo y gas son las estructuras más conocidas y estudiadas mundialmente, las formaciones profundas con agua salada son las que tienen una mayor distribución geográfica y una mayor capacidad de almacenamiento estimada. Independientemente del tipo de almacén, el gas se inyecta condensado. ^[13]



Las formaciones aptas para el almacenamiento pueden aparecer en cuencas sedimentarias terrestres y marítimas (depresiones naturales a gran escala situadas en la corteza terrestre que se llenan de sedimentos).

La primera opción analizada como posible almacenamiento de CO₂ fue la utilización de yacimientos de gas y petróleo agotados o en fase de agotamiento, donde el CO₂ contribuía a la recuperación secundaria y terciaria. Este procedimiento ha sido utilizado por empresas petroleras norteamericanas desde los años 70. Actualmente se inyectan en Estados Unidos aproximadamente 32 millones de toneladas de CO₂ al año en proyectos. Croacia, Hungría, Polonia y Turquía tienen experiencia en este tipo de almacenamiento. Una de las ventajas de este tipo de almacenamiento ha consistido en alargar la vida útil de los yacimientos gracias al incremento del factor de recuperación, que oscila entre un 4 y un 12% del factor original dependiendo de la miscibilidad o no del CO₂ en el crudo. En otros estudios realizados en el Mar del Norte, este incremento ha alcanzado el 18%. En estos proyectos entre el 50 y el 67 % del CO₂ es reinyectado en el yacimiento para reducir costes, pero el resto queda almacenado mediante diversos mecanismos. ^[25]

Con este procedimiento se consigue mejorar la relación coste/beneficio. En el caso de yacimientos de gas, la inyección de CO₂ podría mejorar la producción de metano volviendo a presurizar o manteniendo la presión del yacimiento, si bien se trata de una tecnología incipiente. Además, hay estudios que niegan esta mejoría, estimando una reducción de la producción debido a los efectos de mezcla entre CO₂/CH₄.

Las ventajas técnicas de estos almacenamientos geológicos son:

- La existencia de una trampa geológica (estructural o estratigráfica), que ha demostrado su eficacia y seguridad a lo largo de millones de años.
- El mayor conocimiento de las propiedades y características geológicas y físicas del yacimiento y la cuenca.
- La existencia de modelos específicos desarrollados para predecir el comportamiento dinámico de los fluidos naturales (hidrocarburos, aguas de formación) presentes en el yacimiento, que pueden ser empleados como elemento de partida para analizar el comportamiento del CO₂ en estos.

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

Ahora bien, también existen una serie de inconvenientes que es importante destacar:

- En yacimientos antiguos de hidrocarburos, existe la posibilidad de tener fugas a través de los pozos abandonados, ya que no estaban preparados para el almacenamiento posterior de CO₂
- En algunos casos, la reducción de la presión del yacimiento durante la etapa de producción, y la presurización posterior provocada por la inyección de CO₂, podría llegar a romper la integridad del sello del yacimiento.
- El almacenamiento de CO₂ en campos de gas entra en competencia con los almacenamientos geológicos de gas natural, sobre todo en zonas con escasez de almacenes geológicos.
- No todos los yacimientos de hidrocarburos son adecuados para el almacenamiento de CO₂. Es necesario que los yacimientos tengan unas determinadas características de presión, temperatura y profundidad. [18].

El secuestro mineral del CO₂ es una tecnología emergente que está siendo considerada como alternativa viable para la captura y reutilización de CO₂ emitidos por centrales termoeléctricas y otras industrias, como las cementeras. Las principales características que debe cumplir la tecnología de carbonatación son cinética de carbonatación rápida, alta capacidad de secuestro de CO₂, subproducto de carbonatación valorizable, estable frente a componentes y/o contaminantes de la corriente (agua, SO_x, NO_x) y un amplio rango de operación (presión y temperatura). En las reacciones de carbonatación, el CO₂ reacciona con materiales (mayoritariamente silicatos) que tienen óxidos metálicos (metales alcalino-térreos) en su composición, formando el correspondiente carbonato y sílice. [16].

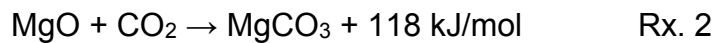
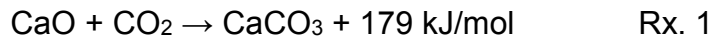
El CO₂ podría capturarse de fuentes de emisión fijas de gran envergadura, como las centrales eléctricas o las plantas industriales. De encontrarse cerca de lugares de almacenamiento potenciales, por ejemplo de formaciones geológicas adaptadas, estas infraestructuras podrían ser elegidas para la temprana implementación de la captura y almacenamiento de CO₂ (CAC).

La mineralización o secuestro mineral de CO₂ fue mencionado por primera vez en 1990 (Seifritz, 1990; Dumsmore, 1992; Lackner et al, 1995). Comprende la reacción de CO₂ con minerales no carbonatados, principalmente silicatos de calcio o magnesio, para formar uno o más componentes carbonatados sólidos. [20].



El proceso imita la alteración natural de minerales silicatados para formar carbonatos como calcita (CaCO_3), dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), magnesita (MgCO_3), y siderita (FeCO). Los productos así formados son termodinámicamente estables y por lo tanto el secuestro del CO_2 es permanente y seguro volviéndolo un proceso factible donde existen tres principales ventajas que justifican ésta tecnología:

1. Los carbonatos tienen un estado en energía menor que el CO_2 . Esto significa que al menos teóricamente, el proceso no solo no requiere de aporte energético, sino que podría producir energía. Se muestran, en forma de ejemplo, las reacciones exotérmicas de los carbonatos de calcio y magnesio:



2. La materia prima es abundante
3. El almacenamiento de CO_2 en esta forma es permanente, sin ningún riesgo de fuga o re-emisión. ^[20]

La carbonatación mineral se refiere a la fijación de CO_2 mediante el uso de óxidos alcalinos y alcalinotérreos, como el óxido de magnesio (MgO) y el óxido de calcio (CaO), que están presentes en las rocas de silicatos de formación natural como la serpentina y el olivino.

Las reacciones químicas entre estos materiales y el CO_2 producen compuestos como el carbonato de magnesio (MgCO_3) y el carbonato cálcico (CaCO_3). La cantidad de óxidos metálicos presentes en las rocas de silicatos que pueden encontrarse en la corteza terrestre excede las cantidades necesarias para fijar todo el CO_2 que produciría la combustión de todas las reservas de combustibles fósiles existentes. ^[20]

Sin embargo, aunque la carbonatación es, en teoría, un camino prometedor para secuestrar cantidades significativas de CO_2 , los principales retos en el momento actual son el desarrollo de procesos económicamente viables. La carbonatación mineral a partir de silicatos naturales es un proceso lento que deben ser mejorados genéticamente para hacer de este procedimiento útil para fines prácticos. En sistemas acuosos, la disolución de cationes divalentes de los silicatos precursoras parece ser el paso limitante principal, y la mayoría de los esfuerzos de investigación se han dedicado a la búsqueda de formas para acelerar la extracción de cationes de los materiales precursores. ^{[18][20]}.

Varias estrategias se están utilizando para lograr este objetivo como la síntesis de los carbonatos vía sol-gel. Entre otros, estos incluyen el uso de micro emulsiones y / o fases minerales en capas, previamente activado para hacer estos materiales más

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

reactivo. Además de la utilización de silicatos naturales, un considerable esfuerzo se está dedicando al diseño y síntesis de nuevos productos y procesos que pueden mejorar las velocidades de reacción y optimizar la eficacia de la captura de CO₂.^[20]

Para la elaboración del secuestro mineral es necesario un medio donde pueden utilizarse geles los cuales son materiales nano porosos hechos por el proceso de sol-gel. Además de presentar muy fina porosidad, los geles se pueden moldear en cualquier forma, tamaño y funcionalidad química. Estas propiedades hacen a los geles materiales atractivos para su uso en la adsorción, captura, y el secuestro de gases contaminantes. Para el propósito particular de la fijación de CO₂, la adición de un silicato de catión divalente activo, es necesario promover el almacenamiento de CO₂ y su posterior captura a través de reacciones de carbonatación en una fase sólida y estable.^[22] El método sol gel es un método novedoso que además de no ser tan costoso como otras alternativas es de fácil manejo sus principales características se mencionan en el capítulo siguiente.



CAPITULO II

TÉCNICA SOL-GEL

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

2.1. ¿QUÉ ES LA SÍNTESIS SOL-GEL?

El proceso sol gel es una ruta química que permite fabricar materiales amorfos y poli cristalinos de forma relativamente sencilla. Se pueden obtener nuevos materiales que por los métodos tradicionales de fabricación son muy difíciles de obtener, tales como combinaciones de óxidos (SiO_2 , TiO_2 , ZrO_2 , etc.), además de incluir impurezas de otros elementos con iones de tierras raras o colorantes orgánicos. Las estructuras únicas, micro estructuras y compuestos que pueden hacerse con el proceso sol-gel abren muchas posibilidades para aplicaciones prácticas, por nombrar algunas tenemos la fabricación de componentes ópticos, preformas para fibras ópticas, recubrimientos dieléctricos, superconductores, guías de onda, nano partículas, celdas solares, etc. ^[23]. Para poder entender un poco mejor el procedimiento sol gel primero se deberá conocer los conceptos que lo involucran.

Sol: Suspensión estable de partículas sólidas coloidales en un medio líquido (2-200 nm; 10³-10⁹ átomos por partícula)

- Disolvente: Agua, acuoso, alcohol
- Macromoléculas (proteínas) coloides reales
- Subdivididos en partículas menores: Ej. Pequeñas partículas de Alúmina

Gel: Red (porosa) tridimensional formada por interconexión de partículas sólidas en un medio líquido

- Su crecimiento lo limita el recipiente.
- Macromoléculas (proteínas) coloides reales – Gel coloidal
- Subdivididos en partículas menores – Gel polimérico
- Disolvente: Hidrogel/alcogel.
- Geles secos: Xerogel/aerogel

El proceso sol-gel ha ido evolucionando y algunos de sus desarrollos recientes son:

Recubrimientos:

- Antireflectivos
- Absorbentes en IR o visible
- Conductores eléctricos
- Antioxidantes



Nuevas fibras cerámicas (composites)

Polvos cerámicos “avanzados” con propiedades

Ferros eléctricos, piezoeléctricos, ópticos...

Nuevos vidrios o vitrocerámicas a partir de polvos sol-gel

Nuevos materiales HOIM.

Estructuras con porosidad controlada.

Sol-gel es la evolución de un sistema de suspensión-coloidal, se inicia mediante la formación de una suspensión coloidal denominado sol y su posterior gelificación, formando una red en una fase líquida continua (denominado gel) y posterior tratamiento térmico bajo. Este método se emplea para la obtención de diferentes tipos de materiales (partículas, recubrimientos, fibras, aerogeles) e incluso sólidos compactos en función del tratamiento térmico que se le dé al material. [22]

El método sol-gel inicia en el año 1860 cuando Thomas Graham introduce el término “gel”. Sin embargo, no es hasta los trabajos de síntesis de Rustum Roy que comienza su amplio desarrollo. A pesar de que se conoce desde principios del siglo XX, el método sol-gel se desarrolló como una alternativa tecnológica para la preparación de vidrios y cerámicos a temperaturas considerablemente bajas. El sistema inicial representa una solución donde diferentes procesos de polimerización y poli condensación conllevan a la formación gradual de la red de fase sólida. [24].

Este proceso consiste básicamente en la formación de redes compuestas por elementos inorgánicos obtenidos a través de dos reacciones químicas simultáneas que son la hidrólisis y condensación, éstas se inician a partir de una solución homogénea de alcóxido, solvente, agua y un catalizador, este último puede o no, ser usado, y lo anterior depende básicamente del tipo de material y su aplicación final y en cuanto al uso del alcóxido. [24].

En el proceso sol-gel consta de varios pasos: mezclado, gelificación y envejecimiento. En cada una de estas etapas hay muchos factores físicos y químicos que hacen de cada una un capítulo fascinante. [25]

Las reacciones químicas involucradas son la hidrólisis y la poli condensación que se producen simultáneamente y son incompletas, pero pueden resumirse en:

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

Hidrólisis:

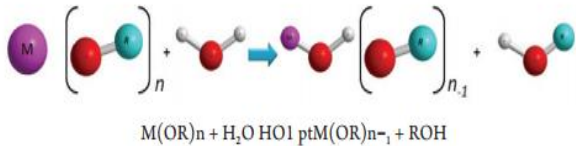


Poli condensación:



La primera etapa del proceso es la hidrólisis del alcóxido, y puede ser catalizada por medio de un ácido o una base, en esta etapa se obtienen soles, es decir una suspensión de aspecto similar a una disolución, que contiene partículas de tamaño inferior a 100 nm y se forman grupos silanol (Si-OH) al tiempo en que se libera el alcohol correspondiente (R-OH). Los grupos silanoles comienzan a polimerizar por medio de la condensación, así se van formando estructuras tridimensionales unidas por enlaces siloxano (Si-O-Si) al irse eliminando el agua y el alcohol. Al final de la segunda etapa de condensación se forma un gel sólido, más o menos compacto y denso, lo cual dependerá de las condiciones de secado las reacciones del proceso se pueden ver en la imagen 1 (ver imagen 1). [25].

Hidrólisis



Condensación (polimerización)

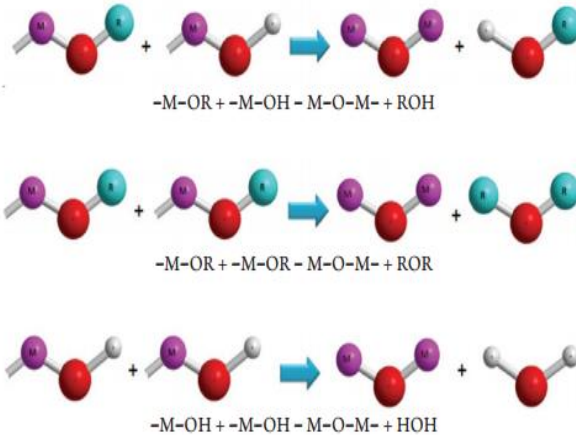


IMAGEN 1. Reacciones que ocurren durante la síntesis de materiales sol gel. Precursor Alcóxido M (OR)_n ; M: metal; n: valencia; R: grupo alquilo (CH_3 , C_2H_5 , C_3H_7 , etc.)



2.1.1. VENTAJAS Y LIMITACIONES

Control sobre la composición

Pureza

- Purificación previa de los precursores
- Bajas temperaturas de procesamiento
- Coloide sólido en medio líquido (free from dust) (nuclear fuels)

Control sobre la cinética (Temperatura y dilución)

Control sobre la nucleación y crecimiento de las partículas (forma, tamaño y distribución de tamaños finales)

Procesamiento de vidrios

- Problemas asociados a la alta fluidez
- Problemas de miscibilidad para determinadas composiciones

Óxidos mixtos a nivel atómico. [24]

2.2. PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCION DEL SOL-GEL

2.2.1. MEZCLA

La posibilidad de diseñar materiales únicos es uno de los objetivos principales del proceso sol-gel que se consideran más importantes, especialmente cuando se hace por polimerización de un compuesto metalorgánico para formar un gel polimérico. La clave consiste en diseñar el monómero adecuado que polimerizará para formar las estructuras M-O-M. Los alcóxidos metálicos $M(OR)_n$ - donde M es el metal y R un radical alquilo - cumplen este requisito. Los más utilizados para la preparación de geles basados en sílice son tetrametoxisilano - $Si(OCH_3)_4$ - y tetraetoxisilano - $Si(OC_2H_5)_4$ - , conocidos respectivamente por TMOS y TEOS respectivamente. El precursor de alcóxido de sílice líquido $Si(OR)_4$ reacciona con el agua y se producen las reacciones de hidrólisis y poli condensación, en presencia de un disolvente común (normalmente alcohol), dado que el agua y el alcóxido son inmiscibles. [25]

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

Estas reacciones se producen simultáneamente y generalmente quedan incompletas, pero el óxido que se desea se consigue. El resultado final de las reacciones es una dispersión coloidal de partículas extremadamente pequeñas (1-2 nm) que forman finalmente una red tridimensional enredada del óxido inorgánico correspondiente.

La Hidrólisis y la poli condensación se pueden acelerar o frenar utilizando el catalizador ya sea ácido o base correspondiente. Para pH bajo las partículas se agregan para formar estructuras poliméricas, mientras que a pH alto las partículas aumentan de tamaño; este efecto se debe a la variación de la solubilidad con la curvatura de la superficie y con el pH. Dependiendo de la cantidad de agua presente, la reacción de hidrólisis puede completarse o detenerse cuando el metal está parcialmente hidrolizado. En el caso de que se utilicen diversos cationes para formar redes de óxidos mezclados, es necesario un paso inicial para formar el complejo mixto. Cuando los precursores alcóxidos tienen diferentes velocidades de hidrólisis es preferible una pre-hidrólisis del alcoxisilano. Después de la compleja operación de polimerización, formación del sol, y gelificación, se forma un gel micro poroso de alta superficie específica constituido por partículas muy pequeñas (aprox. 2nm). ^{[25][26]}

2.2.2. GELIFICACIÓN

Con el tiempo, la poli condensación del alcóxido de sílice produce partículas coloidales que se enlazan unas con otras para formar una estructura tridimensional. En este proceso, el catalizador juega un papel importante debido a la carga iónica de las partículas de sílice, con una influencia directa en la velocidad de poli condensación. Así, a pH bajo por ejemplo, las partículas de sílice soportan cargas iónicas muy pequeñas por lo que pueden chocar y agregarse formando cadenas, dando lugar al gel polimérico; a otra escala de tamaños, esto sería parecido a un plato de espaguetis. Este efecto se produce cerca del punto isoeléctrico de la sílice, a pH=1.7, donde la carga superficial es nula. En caso contrario, a pH alto, donde la solubilidad es mayor, las partículas crecen en tamaño relativo y disminuyen en número, ya que las más pequeñas se disuelven (curvatura positiva), y la sílice se ubica sobre las partículas más grandes. En este caso, se forma un gel coloidal; a modo de ejemplo visual, este gel es parecido a un bote de guisantes. Una consecuencia directa de todo lo planteado anteriormente, los geles coloidales serán de menor superficie específica y menor densidad. ^{[24][26]}



El cambio drástico que se produce en el comportamiento reológico es lo que se utiliza para determinar el punto de gelificación del sol. Vega y Scherer concluyen que la estructura en el punto de gelificación es muy variable, dependiendo de factores como la concentración, el pH la temperatura, lo que da lugar a diversas tendencias observadas, tales como racimos extensos, coloidal frente a polimérico, y fractal frente a una distribución homogénea de tamaños. [24]

2.2.3. ENVEJECIMIENTO.

Según pasa el tiempo tras la gelificación, la red sólida inmersa en el líquido continúa su evolución. Este proceso de envejecimiento consta de tres pasos:

1. Continuación de la polimerización
2. Sinéresis
3. Maduración

La polimerización de los grupos hidroxilo que no habían reaccionado aumenta la conectividad de la red; este proceso sucede a la vez que un cierto encogimiento. La sinéresis es el encogimiento espontáneo e irreversible de la red gelificada, es el resultado de la expulsión del líquido de los poros. El líquido fluye a través de los poros de acuerdo con la ley de Darcy, que establece que el flujo J es proporcional al gradiente de la presión del líquido. Este proceso depende mucho del catalizador correspondiendo el mínimo al punto isoeléctrico ($\text{pH}=1.7$ para la sílice) cuando las partículas no están cargadas. [26].

Finalmente, la maduración se refiere al proceso de disolución y re precipitación debido a las diferencias de solubilidad que hay entre superficies con distintas curvaturas. Este proceso no produce encogimiento alguno de la red pero influye en el fortalecimiento del gel, y depende de factores que afectan a la solubilidad, como la temperatura, el pH, la concentración y el tipo de disolvente. [26].

En el presente trabajo antes de que se llegara a la maduración se le agregó nitrato de calcio tetra hidratado y al momento de gelificar se secó para obtener la formación de un Xerogel que no es más que el gel obtenido que se le quita el exceso de disolvente el cual presentan muy fina porosidad. Además, los xerogeles se pueden moldear en cualquier forma, tamaño y funcionalidad química. Estas propiedades hacen a los xerogeles materiales atractivos para su uso en la adsorción, captura, y el secuestro de gases contaminantes. Para el propósito particular de la fijación de CO_2 , la adición de un silicato de catión divalente activo, tal como wollastonita, es necesario promover la especiación CO_2 y su posterior captura a través de reacciones de carbonatación en una fase sólida y estable.

CAPITULO III

SECCIÓN

EXPERIMENTAL



3.1 CÁLCULOS

Partiendo de 30 mL de Teos se realizaron los cálculos para la determinación de las cantidades necesarias de cada reactivo para la producción del Sol Stock y posteriormente Sol A2 registrando los datos en la tabla 1.

Reactivo	ρ (gr/mL)	P.M.	Relación molar	Cantidad a agregar para Sol Stock (mL)	Cantidad a agregar para Sol A2 (mL)	Cantidad a agregar en último paso (gr)
Teos	0.933	208.33	1	30	---	---
Etanol	0.79111	46.07	3.83	30	---	---
H ₂ O	1	18	1.02	2.4657	3.65	---
HCl	1.92	36.461	0.0007	0.0211	0.5	---
Ca (NO ₃) ₂ •4H ₂ O	---	236.16	0.9955	---	---	31.5748

Tabla 1. Características de los reactivos empleados, propiedades empleadas en los cálculos y cantidades agregadas en diversos pasos del procedimiento.

$$30 \text{ mL Teos} \left(\frac{0.933 \text{ g Teos}}{\text{mL Teos}} \right) \left(\frac{1 \text{ mol Teos}}{208.33 \text{ g Teos}} \right) = 0.1343 \text{ mol de Teos}$$

Etanol

0.1343 mol de Teos → Tiene una relación molar de 1

X mol de Etanol → Hay en una relación molar de 3.83

X = 0.5143 mol de Etanol.

$$0.5143 \text{ mol de Etanol} \left(\frac{46.07 \text{ gr Etanol}}{\text{mol de Etanol}} \right) \left(\frac{\text{mL Etanol}}{0.7911 \text{ gr Etanol}} \right) = 29.99 \text{ mL de Etanol}$$

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

Agua destilada

$$\frac{0.1343 \text{ mol de Teos} \rightarrow \text{Tiene una relación molar de 1}}{X \text{ mol de H}_2\text{O} \rightarrow \text{Hay en una relación molar de 1.02}}$$

$$X = 0.1369 \text{ mol de H}_2\text{O}$$

$$0.1369 \text{ mol de H}_2\text{O} \left(\frac{18 \text{ gr H}_2\text{O}}{\text{mol de H}_2\text{O}} \right) \left(\frac{\text{mL H}_2\text{O}}{1 \text{ gr H}_2\text{O}} \right) = 2.4657 \text{ mL de H}_2\text{O}$$

HCl 1 M

$$\frac{0.1343 \text{ mol de Teos} \rightarrow \text{Tiene una relación molar de 1}}{X \text{ mol de HCl} \rightarrow \text{Hay en una relación molar de 0.0007}}$$

$$X = 9.405 \times 10^{-5} \text{ mol de HCl}$$

$$9.405 \times 10^{-5} \text{ mol de HCl} \left(\frac{36.461 \text{ gr HCl}}{\text{mol de HCl}} \right) \left(\frac{\text{mL HCl}}{1.92 \text{ gr de HCl}} \right) = 0.00178 \text{ HCl (puro)}$$

Como el ácido está a una concentración 1M, realizar la conversión del ácido puro.

$$\frac{4.14 \text{ mL de HCl} \rightarrow \text{En 50 mL}}{0.00178 \text{ mL} \rightarrow X}$$

$$X = 0.021 \text{ mL HCl 1M}$$

Nitrato de calcio tetra hidratado $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

El cálculo de este reactivo se realizó con información del artículo Chemically Active Silica Aerogel-Wollastonite Composites for CO_2 Fixation by Carbonation Reacción.

$$\frac{0.1343 \text{ mol de Teos} \rightarrow \text{Tiene una relación molar de 1}}{X \text{ mol Nitrato} \rightarrow \text{Hay en una relación molar de 0.9955}}$$

$$X = 0.1337 \text{ mol de Nitrato de calcio}$$

$$0.1337 \text{ mol de Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} \left(\frac{236.16 \text{ gr Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}}{\text{mol de Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}} \right) = 31.575 \text{ gr de Ca}$$

$(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$



3.2. PROCEDIMIENTO

3.2.1. MATERIAL, EQUIPO Y SERVICIOS

Material

- 1 Matraz bola de 500 mL
- 1 Termómetro calibrado 0-100
- 2 probetas graduadas de 50 mL
- 1 pipeta graduada de 5 mL
- 4 pipeta graduada de 2 mL
- 1 perilla de succión
- 1 agitador magnético
- 1 soporte universal
- 1 pinza doble
- 1 pinza de 3 dedos con nuez
- 1 espátula
- 6 Erlenmeyer de 50 mL
- 1 Pipeta volumétrica de 5 mL
- 1 Bureta de 20 mL
- 1 vaso de precipitados de 10 mL
- 1 Mortero de ágata con pistilo

Equipo

- 1 Reóstato
- 1 Placa de agitación
- 1 Estufa
- 1 canastilla de calentamiento
- 1 extensión
- 1 balanza analítica.

Servicios

- ✓ Electricidad

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

3.2.2. SECCIÓN EXPERIMENTAL

El procedimiento empleado en los primeros 10 pasos es el método usado para la producción de sol-gel mientras que los demás pasos son realizados basándose en el artículo [Chemically Active Silica Aerogel-Wollastonita Composites for CO₂ Fixation by Carbonation Reaccion], solo que se le hicieron unas modificaciones haciendo el proceso a condiciones no tan estrictas como las mencionadas, eligiendo éste método por ser un método no tan lento ni complicado como los demás mencionados anteriormente.

1. Conectar el reóstato a la canastilla de calentamiento y a la corriente eléctrica.
2. Sujetar las pinzas al soporte universal y colocar el matraz bola sobre la placa de agitación y la castilla de calentamiento sujetándolo con la pinza de 3 dedos al soporte universal.
3. Agregar los reactivos de acuerdo a la columna sol stock de la tabla 1 (ver tabla 1) uno por uno y comenzar a agitar la mezcla. El sistema quedara como se muestra en la imagen 2. (ver imagen 2)



IMAGEN 2. Sistema para la obtención de sol gel

4. Calentar la mezcla a 60 °C y agitarla durante 2 horas.
5. Después de transcurridas las 2 horas dejar enfriar la mezcla, agregar los reactivos conforme a la columna sol A2 de la tabla 1 (ver tabla 1) y agitar constantemente durante 24 horas.



6. Agregar la cantidad de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ indicada en la tabla 1 (ver tabla 1) y mantener constante la agitación durante 24 horas más.
7. Una vez terminada la agitación, retirar la mezcla del matraz bola colocándola en un recipiente adecuado y esperar a que se gelifique la mezcla.
8. Eliminar el Etanol en la estufa a $50\text{ }^\circ\text{C}$ para la obtención de nuestro precipitado color blanco durante 2 días.
9. Pulverizar el precipitado obtenido hasta la obtención un polvo fino como se muestra en la imagen 3 (ver imagen 3).



IMAGEN 3. En la imagen se muestra pulverización del precipitado.

10. Agregar 100 mL de agua a 30 gr de polvo obtenido en un matraz kitazato de 500 mL y mezclar para obtener una mezcla homogénea.

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

11. Burbujear CO_2 a una presión de 800 psi y temperatura ambiente, como se muestra en la imagen 4. (Ver imagen 4).



IMAGEN 4. En la imagen se muestra el matraz kitazato al cual se le está burbujeando el dióxido de Carbono a presión y temperatura conocidas



OBTENCION DEL CARBONATO

12. El CO_2 se burbujea durante un tiempo aproximado de 4 horas.
13. Tomar alícuotas de 5 mL de la solución para verificar la existencia de Carbonato de Calcio después de una hora transcurrida burbujeando el CO_2 .
14. Preparar una solución de 100 mL de NaOH 1 M y otra solución de 50 mL de HCl 1M, para la valoración del carbonato.
15. Colocar en una bureta de 20 mL el NaOH y con el mismo valorar el Carbonato
16. En un matraz Erlenmeyer de 50 mL agregar 1 mL de nuestra solución, 5 mL de HCl 1M y 3 gotas de anaranjado de metilo como indicador
17. Valorar hasta que la solución cambie de color de rojo a anaranjado como se muestra en la imagen 5 (ver imagen 5)
18. Repetir los pasos 16 y 17 2 veces más.
19. Repetir los pasó del 13 al 18 cada hora 3 veces más hasta que la cantidad de NaOH utilizada para las valoraciones no varié en gran cantidad.



IMAGEN 5. La imagen muestra cómo queda la solución una vez valorada, cuando el vire cambio de rojo a anaranjado rojizo.

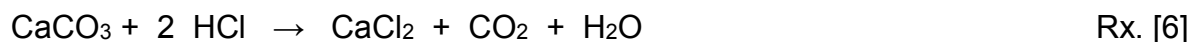
Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

RESULTADOS



Para determinar la presencia de carbonato de calcio (CaCO_3) se empleó un método analítico químico cuantitativo llamado valoración o titulación, el cual consiste en determinar la presencia de un compuesto disuelto en una solución agregando otro compuesto poco a poco de concentración conocida llamado agente valorante hasta que estas se neutralicen una con otra en presencia de un catalizador adecuado, diluyendo una alícuota de la solución de ácido clorhídrico puesto que el carbonato es soluble en éste ácido del cual también conocemos su concentración, debido a que el objetivo es determinar la formación del carbonato (para mejor comprensión revisar los pasos 16 y 17 de la sección experimental).

Haciendo uso de la estequiometría se procedió a realizar los cálculos para la determinación de la presencia del carbonato.



La Reacción 6 nos sirve para poder cuantificar la cantidad de CaCO_3 formado puesto que al hacerlo reaccionar con el ácido se cuantifica la cantidad gastada de ácido y con la reacción se llevan a cabo los cálculos estequimétricos.

En el matraz se emplearon 5 mL de ácido a una concentración 1M de los cuales sus cantidades que reaccionaron con el NaOH fueron variando de acuerdo a las tablas 2 y 3 (ver tablas 2 y 3), y las pequeñas cantidades que no reaccionaron con el hidróxido fue porque reaccionaron previamente con el carbonato reduciendo las cantidades de ácido en el matraz. Por ende al emplearse cantidades menores de NaOH es porque la presencia del ácido iba disminuyendo ya que iba reaccionando con el carbonato pudiendo cuantificar la cantidad de carbonato producida en el trabajo.

En las tablas 2 y 3 se muestran los datos obtenidos en la fase experimental y a continuación como fueron tratados los datos para la obtención de resultados.

Reaccionaron en uno de los pasos 4.8 mL de ácido con el hidróxido y .2 mL de ácido con carbonato puesto que la alícuota de ácido tomada fue de 5 mL

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

$$0.2 \text{ mL de HCl} = \frac{1 \text{ Lt}}{1000 \text{ mL}} = 0.0002 \text{ Lt de HCl}$$

$$M = \frac{\text{moles de soluto}}{\text{Lt de solución}}$$

Calculo de las moles de soluto

$$\text{moles de soluto} = M \times \text{Lt de solución}$$

$$\text{moles de soluto} = 1 \frac{\text{moles de HCl}}{1 \text{ Lt de HCl}} \times 0.0002 \text{ Lt de HCl} = 0.0002 \text{ moles de HCl}$$

Transformar los moles de HCl en moles de CaCO_3 con los coeficientes estequiométricos de 1 y 2 respectivamente.

$$0.0002 \text{ mol de HCl} = \frac{1 \text{ mol de CaCO}_3}{2 \text{ mol de HCl}} = 0.0001 \text{ mol de CaCO}_3$$

$$0.0001 \text{ mol de CaCO}_3 = \frac{100.087 \text{ gr CaCO}_3}{\text{mol de CaCO}_3} = 0.0100087 \text{ gr de CaCO}_3$$

Lo que se realizó fue titular el HCl con NaOH a una concentración 1M e ir registrando las cantidades empleadas de NaOH visualizando que conforme el tiempo avanzaba se iba necesitando una cantidad menor de NaOH, esto es debido a que mientras pasaba el tiempo al seguir burbujeando con él CO_2 a la solución del kitazato mas moléculas reaccionan produciendo que la cantidad de CaCO_3 fuera aumentando aunque en cantidades muy pequeñas, al diluir en la cantidad de HCl mencionada anteriormente una pequeña muestra las cantidades presentes de CaCO_3 estos 2 compuestos reaccionaban y lo sobrante es lo que se neutraliza con el NaOH, para poder conocer las cantidades producidas de CaCO_3 se resta la diferencia de NaOH empleada, cuando se ocuparon 5 mL de el mismo para la neutralización del ácido indica que no hay presencia de CaCO_3 y mientras disminuyen las cantidades empleadas de NaOH es indicador de que hay menos presencia de ácido puesto que éste reacciona con el carbonato.

A menor cantidad de NaOH utilizado para la neutralización del HCl, las cantidades de CaCO_3 van aumentando aunque en cantidades muy pequeñas.

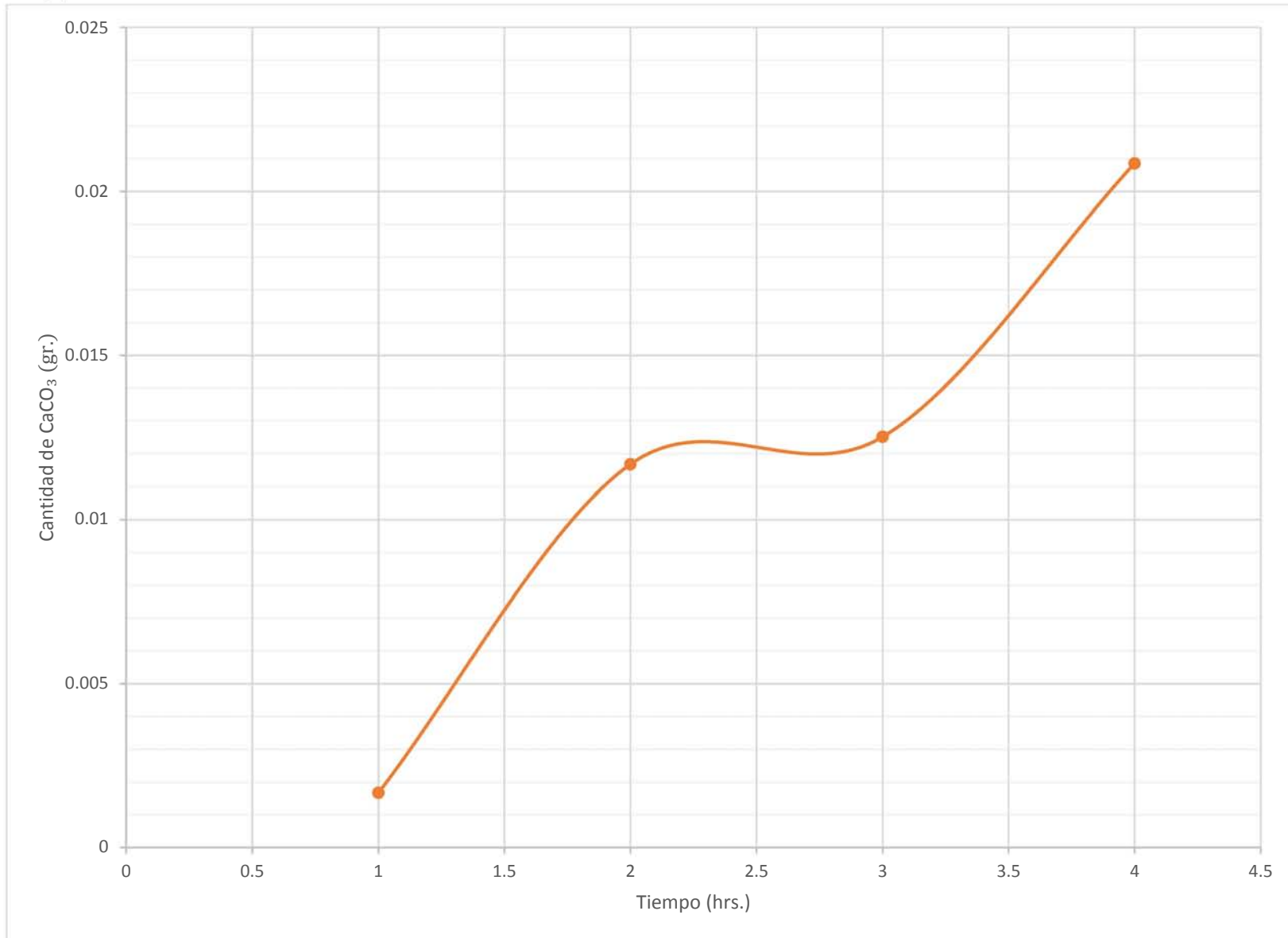


En las tablas 2 y 3 se fueron registrando los datos obtenidos en la sección experimental en las dos pruebas realizadas respectivamente y como los datos obtenidos fueron tratados, el tratamiento de los datos se muestra en la página 44 pero solo el del primer dato, los demás datos fueron tratados del mismo modo, y en las gráficas 1 y 2 se obtiene el valor final donde se graficó el tiempo transcurrido vs la cantidad de CaCO_3 que fue producida, en ambos casos se puede observar un aumento exponencial del carbonato y aunque fue en cantidades muy pequeñas fue posible su interpretación.

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

CaCO₃ (mL)	HCl (mL)	NaOH(mL)	Tiempo (hrs.)	Litros de Solución	Moles de HCl	Moles de CaCO₃	gr de CaCO₃
1	5	7	1	0	0	0	0
1	5	7	1	0	0	0	0
1	5	6.9	1	0.0001	0.0004	0.00005	0.00500435
1	5	6.8	2	0.0002	0.0002	0.0001	0.0100087
1	5	6.8	2	0.0002	0.0002	0.0001	0.0100087
1	5	6.7	2	0.0003	0.0003	0.00015	0.01501305
1	5	6.7	3	0.0003	0.0003	0.00015	0.01501305
1	5	6.75	3	0.00025	0.00025	0.000125	0.012510875
1	5	6.8	3	0.0002	0.0002	0.0001	0.0100087
1	5	6.55	4	0.00045	0.00045	0.000225	0.022519575
1	5	6.6	4	0.0004	0.0004	0.0002	0.0200174
1	5	6.6	4	0.0004	0.0004	0.0002	0.0200174

TABLA 2. Resultados obtenidos en la primer prueba.

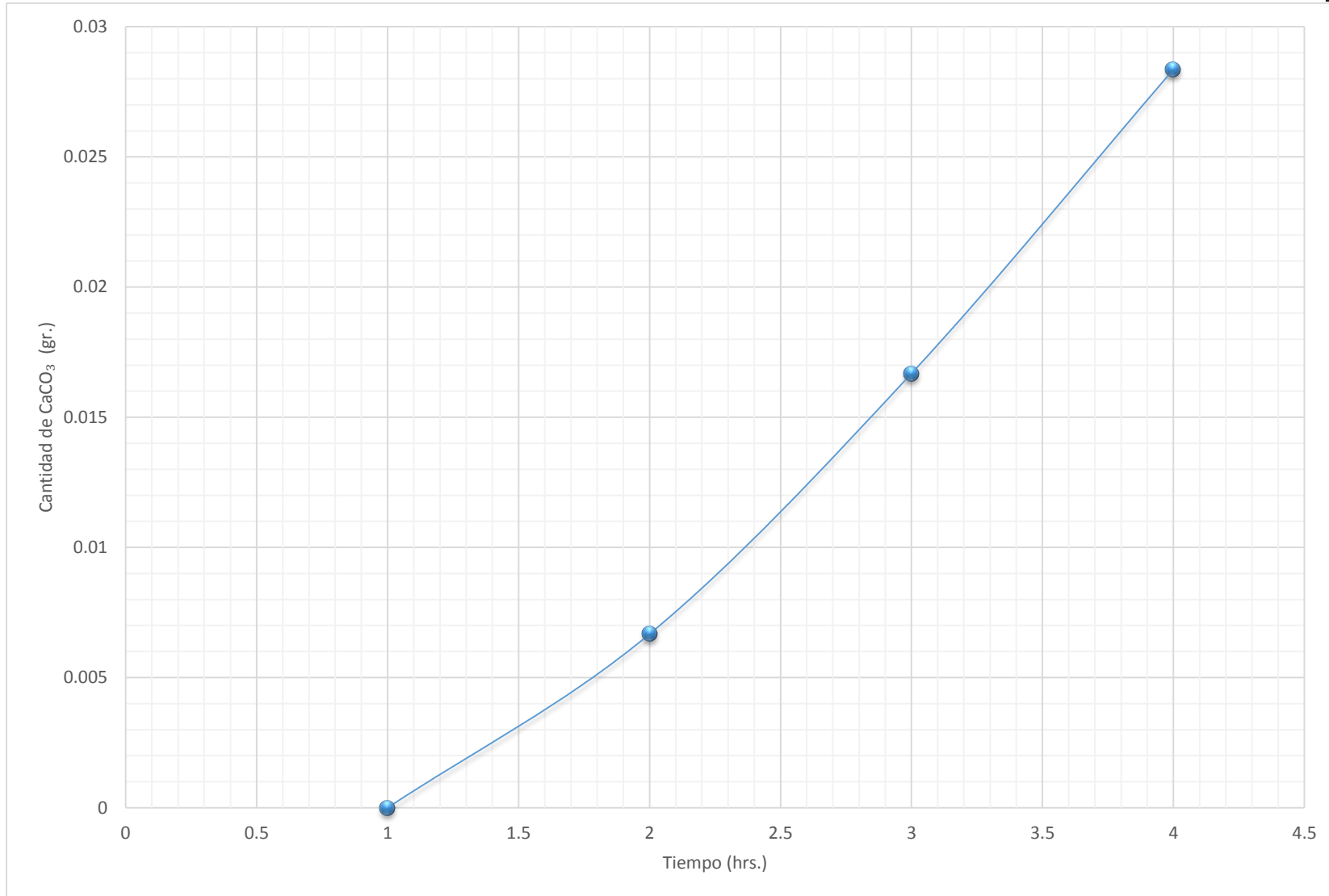


GRAFICA 1. Comportamiento de la generación de carbonato.

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

CaCO ₃ (mL)	HCl (mL)	NaOH(mL)	Tiempo (hrs.)	Litros de Solución	Moles de HCl	Moles de CaCO ₃	Gr de CaCO ₃
1	5	5	1	0	0	0	0
1	5	5	1	0	0	0	0
1	5	5	1	0	0	0	0
1	5	4.8	2	0.0002	0.0002	0.0001	0.0100087
1	5	4.8	2	0.0002	0.0002	0.0001	0.0100087
1	5	5	2	0	0	0	0
1	5	4.7	3	0.0003	0.0003	0.00015	0.01501305
1	5	4.6	3	0.0004	0.0004	0.0002	0.0200174
1	5	4.7	3	0.0003	0.0003	0.00015	0.01501305
1	5	4.5	4	0.0005	0.0005	0.00025	0.02502175
1	5	4.4	4	0.0006	0.0006	0.0003	0.0300261
1	5	4.4	4	0.0006	0.0006	0.0003	0.0300261

TABLA 3. Resultados obtenidos en la segunda prueba.



GRAFICA 2. Comportamiento de la formación del carbonato

CONCLUSIONES



Se cumplió el objetivo de esta Tesis ya que se establece el estado actual de propuestas viables para tratar de resolver el problema del efecto invernadero ocasionado por las emisiones de CO_2 de las industrias de proceso, pretendiendo con ello crear conciencia de la problemática global que ocasiona la desmedida emisión del CO_2 al medio ambiente, además se establece la posibilidad de poder contribuir con una alternativa que permita participar en su solución. Para ello, se establecieron las bases teóricas de la síntesis de materiales por el proceso sol-gel, los cuales puedan ser utilizados para el secuestro de CO_2 y la obtención de los correspondientes carbonatos, éste método en comparación de los demás no necesita condiciones tan rigurosas ni costos tan elevadas ya que no necesita maquinaria tan pesada obteniendo aunque se obtuvo un rendimiento bajo (5 %) el objetivo se logró puesto que sólo era ver si se podía formar el carbonato a condiciones no tan elevadas, los cuales pueden ser usados como materia prima en la industria cementera.

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para
reacciones de carbonatación

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA



1. Jorge Zavala Hidalgo y Rosario Romero Centeiro, "Cambio Climático ¿Qué sigue?", ¿Cómo ves? Universidad Nacional Autónoma de México, N°. 109, México, D.F., diciembre del 2007, págs. 22 24 y 25
2. Arturo Flores Martínez y Teresa González Ruíz Semarnat, "Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones", México 2009, págs. 97.
3. Cristina García Fernández, "El Cambio Climático: Los aspectos científicos y económicos más relevantes", Universidad Complutense de Madrid España 2011, págs. 16, 17, 18, 20 y 21
4. César Bartolomé Muñoz, Pedro Mora Peris, José David Recalde Rodríguez, Estado del arte de las tecnologías de captura y almacenamiento de CO₂ en la industria cementera, Agrupación de fabricantes de Cemento en España, disponible en [URL]: <http://ficem.org/CIC-descargas/espania/Estado-del-arte-de-las-tecnologias-de-captura-y-almacenamiento-de-CO2-en-la-industria-del-cemento.pdf>, España, consultado 07 de febrero del 2015, 21:01 hrs.
5. José Daniel Pavón, Eduardo Zambrano, "Efecto invernadero", Centro internacional para la investigación del fenómeno de El Niño (CIIFEN), Efecto Invernadero, Disponible en [URL]: [http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content%26view%3Dcategory%26layout%3Dblog%26id%3D99%26Itemid%3D132%26lang%3Des](http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=category%26layout%3Dblog%26id%3D99%26Itemid%3D132%26lang%3Des), Ecuador, consultado domingo 24 de agosto del 2014, 11:21 hrs.
6. Martha Castellote y Carmen Andrade, "Modelamiento del proceso de carbonatación del hormigón", Revista Ingeniería de Construcción, Disponible en [URL] http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50732009000300003&script=sci_arttext, Volumen 24, Numero 3, Madrid España, 2009, consultado el 12 de noviembre del 2014, 17:37 hrs.
7. Wenk, Hans-Rudolf; Bulakh, Andrei. *Minerals: Their Constitution and Origin* (en ingles). 2004, p. 435.
8. Margarita Caballero Miranda, Cecilia Caballero Miranda, "Tiempo-Clima, Elementos y Factores del clima", Instituto de Geofísica de la UNAM, pág. 13
9. Cecilia Conde "México y el cambio climático Global", Centro de Ciencia de la atmosfera, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., 2006, pág. 28.
10. Julia Martínez y Adrián Fernández, "Cambio Climático", Instituto Nacional de Ecología, México D.F., 2004
11. María José Cárdenas, Greenpeace, "México Ante el cambio climático: evidencia, impacto, vulnerabilidad y adaptación", México, 2010, págs. 71.

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

12. Monserrat Avalos Gómez, "Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático", Instituto Nacional de Ecología, México D.F., 2004, págs. 122-134
13. Cristian M. Muñoz, Hernán Morales y Cristian Torres, "Tecnologías de captura y secuestro de CO₂", Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile, Mayo 2008, págs. 28-35.
14. José Ariza Carmona, "El dióxido de carbono como contaminante", Universidad de Huelva, Disponible en [URL]: <http://www.uhu.es/servicio.prevencion/menuservicio/info/higiene/dioxido.pdf>, consultado lunes 27 de abril del 2015, 18:11 hrs.
15. Robert Hoft, "Captura y almacenamiento de CO₂", Greenfacts Disponible en [URL]: <http://www.greenfacts.org/es/captura-almacenamiento-co2/l-2/l-1-secuestro-carbono.htm>, Consultado sábado 23 de abril del 2015, 13:15 hrs.
16. Isabel Díaz Moriña, "Procedimiento optimizado para la preparación de silicatos de calcio con capacidad para capturar CO₂, silicatos así obtenidos y uso de los mismos", Universidad de Cádiz España, 2013 disponible en [URL]: <http://www.google.com/patents/WO2014102404A1?cl=es>, consultado el 10 de octubre del 2014, 23:30 hrs.
17. V. Morales-Flores, A. Santos, A. Lemus, Luis Esquivias, "Artificial weathering pools of calcium-rich industrial waste for CO₂ sequestration", Chemical Engineering Journal 166 (2011) 132-137.
18. Robert Hoft, Captura y almacenamiento de CO₂, What is carbon dioxide capture and storage?, Disponible en [URL], <http://www.greenfacts.org/es/captura-almacenamiento-co2/l-3/l-1-carbon-sequestration.htm#2p0>, domingo 30 de noviembre del 2014 13:15 hrs
19. José Daniel Pavón, "Efecto Invernadero y cambio climático", CIIFEM, Disponible en [URL]: [http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content%3Dcom_content%26view%3Dcategory%26layout%3Dblog%26id%3D99%26Itemid%3D132%26lang%3Des](http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=category%26layout=3Dblog%26id%3D99%26Itemid%3D132%26lang%3Des), domingo 24 de agosto del 2014, 11:21 hrs.
20. "Mineralización", Universidad Politécnica de Madrid, disponible en [URL] <http://www.minas.upm.es/investigacion/co2/mineralizacion.1.htm>, 06 de octubre del 2014, 22:08 hrs.
21. José Luis Cortina, "Diseño de reactores a escala de laboratorio para el estudio de secuestro de CO₂ por carbonatación de minerales de magnesio", UPCOMMONS, Disponible en [URL]: <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3137/1/42649-1.pdf>, sábado 7 de febrero del 2015.



22. Luis Esquivias, "Método sol gel", Universidad de Cádiz, disponible en [URL] <http://www2.uca.es/grup-invest/geles/paginas/intro.html>, España, consultado 12 de noviembre del 2014, 16:17 hrs.
23. Castañeda Contreras, "Fabricación de materiales amorfos y poli cristalinos con la ruta sol gel", Centro Universitario de Los lagos, Universidad de Guadalajara, Disponible en [UR]: <http://www.smf.mx/boletin/2006/Bol-20-1/Articulos/sol-gel.htm>, consultado martes 18 de noviembre del 2014, 15:30 hrs.
24. María Teresa Ramírez Palma, Estado del arte del proceso sol-gel en México disponible en [URL] http://ergosum.uaemex.mx/pdfs/pdf_vol_17_2/12%20genoveva_hdz.pdf, C I E N C I A e r g o s u m, V o l. 1 7 - 2, julio- octubre 2 0 10v, pág. 183-188.
25. María López Goerne, "El proceso sol gel", disponible en [URL]: http://www.labnanomed.org.mx/libro%201/zzz-01_Nanotecnologia.pdf, consultado domingo 08 de febrero del 2015, 17:28 hrs.
26. S.J. Gerdemann, D. C. Dahlin, W. K. O'Connor & L. R. Penner. Aqueous mineral carbonation: Mineral availability, pretreatment, reaction parameters, and process studies, DOE/ARC-2003-018. Albany Research Center, office of fossil energy, US DOE 1450 Queen Ae SW Albany, OR, 97321.
27. Hujigen, W.J.J., Comans, R.N.J., 2006 Carbonation of steel slag for CO₂ sequestration: leaching of products and reaction mechanisms. Environmental science and technology.
28. Kojima T, Nagamine A, Ueno N, Uemiya S. Absorption and fixation of carbon dioxide by rock weathering. Energy Conv Mgmt 1997;38 (1001):S461-6
29. Kaili Lin, Jiang Chang, Yi Zeng, Weijun Qian, Preparation of macroporous calcium silicate ceramics, Shanghai Institute of ceramics, Chinese Academy of Sciences, Biomaterials and Tissue Engineering Research Center 20 February 2004, 209-213
30. P.N. De Aza, Z.B. Luklinska, M.R. Anseau, F. Guitian, S. De Aza, Bioactivity of pseudowollastonite in human saliva, Instituto de Ceramica, Universidad de Santiago de Compostela, Spain Journal of Dentistry 27 (1999) 107-113.
31. Jeffrey C.-S. Wu, Jenn-Der Sheen, Shyan-Yeh Chen, and Ya-Chun Fan, Feasibility of CO₂ Fixation via Artificial Rock Weathering, Departament of Chemical Engineering. National Taiwan University, Taipei Taiwan, Ind. Eng. Chem. Res 2001, 40 3902-3905.
32. Yiusuke Immori, Yoshikazu Kameshima, Atsuo Yasumori, Kiyoshi Okada, Effect of Solid/solution ratio on apatite formation from CaSiO₃ ceramics in

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

Simulated body fluid, Department of Metallurgy and Ceramics Science, Tokio institute on Technology, Japan, Journal, of materials science: Material in Medicine 15 (2004) 1247-1253.

33. Alberto Santos, José A. Toledo Fernández, Roberto Mendoza Serna, Luis Gago Dupont, Nicolás de la Rosa Fox, Manuel Piñeiro y Luis Esquivias, Chemically Active Silica Aerogel-Wollastonite Composites for CO₂ Fixation by Carbonation Reactions, Departamento de Cristalografía y Mineralogía, CASEM, Universidad de Cádiz, España, Ind. Eng. Chem. Res. 2007, 46, 103-107
34. Dr. Antonio E. Jiménez González, "Depósito químico sol gel", Centro de investigación en Energía UNAM, disponible en [URL]: <http://www.ier.unam.mx/lifycs/ITaller2011/Sesiones/9Marzo-Characterizacion-y-Materiales/Sesion6-Sintesis-de-MaterialesII/T%C3%A9cnica%20de%20dep%C3%B3sito%20qu%C3%ADmico%20sol-gel%20%28Antonio%20E.%20Jim%C3%A9nez%29.pdf>, martes 03 de febrero del 2015.
35. José Luis Sarachaga Esteves, Captación y almacenamiento del dióxido de carbono, Disponible en [URL]: <http://josesarachaga.jimdo.com/captura-y-almacenamiento-de-co2/visi%C3%B3n-general/>, sábado 07 de febrero del 2015, 15:56 hrs.
36. Rodolfo Lacy, Secuestro, Captura y almacenamiento de CO₂, Centro Mario Molina, Disponible en [URL]: http://www.ai.org.mx/ai/archivos/seminarios/cambio_climatico/Estrategias%20de%20secuestro%20captura%20y%20almacenamiento%20de%20carbono.pdf, consultado 15 de diciembre del 2014, 13:20 hrs.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA



ANEXOS

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

HOJAS DE SEGURIDAD DE LOS REACTIVOS

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL CO₂

1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA

Nombre comercial: Dióxido de Carbono / Anhídrido Carbónico

Número de Hoja de Datos de: MSDS-CO2-(0)

Seguridad del producto

Usos: Entre otras aplicaciones se utiliza en:

- Carbonatación de bebidas gaseosas.
- Agente extintor del fuego.
- Envasado de productos alimenticios.
- Aplicaciones medicinales.
- Neutralización de efluentes alcalinos.

Supresión de humos en procesos metalúrgicos

Fórmula química: CO₂

Identificación de la Compañía: AIR LIQUIDE ARGENTINA S.A. MONSEÑOR MAGLIANO 3079 B1642GIB, SAN ISIDRO, PCIA. BS. AS. (ARGENTINA) (011) 4708-2200

2. COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES

Sustancia / Mezcla: Sustancia

Nombre del componente: Contenido N° CAS

Dióxido de carbono / Anhídrido Carbónico 100% 124-38-9

No contiene otras impurezas que puedan influir en la clasificación del producto.

3. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

Identificación de riesgos: Gas licuado. EL contacto con el gas licuado puede producir “quemaduras” por frío en la piel o daños en los ojos.



La sobre exposición incrementa la frecuencia respiratoria y cardiaca y puede conducir a estado de coma y muerte.

Gas asfixiante - Puede causar asfixia por desplazamiento de oxígeno.

Primeras vías de exposición: Altas concentraciones desplazan al oxígeno del ambiente y causa la muerte por asfixia.

Bajas concentraciones de CO₂ pueden causar agitación respiratoria y dolor de cabeza.

La inhalación en concentraciones comprendidas entre un 3% y hasta un 5 % provocarán aumento de la frecuencia respiratoria y cardiaca, aumento de la presión sanguínea, dolor de cabeza y efecto narcótico.

Concentraciones superiores intensifican los efectos y llevan a la pérdida de conciencia, concentraciones de un 10% o mayores pueden generar la pérdida de conciencia de manera repentina y la exposición prolongada producir la muerte.

4. MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Primeros auxilios

- Inhalación: El socorrista deberá utilizar equipo de respiración autónoma.

Retirar a la víctima del área afectada y trasladarla a un lugar ventilado tan pronto como sea posible; mantener a la víctima caliente y en reposo. Llamar un médico de inmediato. En caso de detenerse la respiración, personal capacitado deberá aplicar RCP.

- Contacto con la piel y con los ojos:

En caso de congelamiento en la piel, retirar todo tipo de ropa que pueda restringir la circulación en la zona afectada. Rociar con agua tibia (temperatura no mayor de 40°C) durante 15 minutos. Aplicar un vendaje estéril. No aplique calor seco (aire) en la herida. No se debe frotar la herida. Obtener asistencia médica.

En caso de contacto ocular, lavar inmediatamente los ojos con aguadurante no menos de 15 minutos. No se deben frotar los ojos.

Obtener asistencia médica.

5. MEDIDAS PARA COMBATIR INCENDIOS

Tipo de inflamabilidad: No inflamable

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

Riesgos específicos: La exposición al fuego de los recipientes, puede causar la rotura o explosión de los mismos.

Productos peligrosos de la combustión: No posee.

Medios para extinguir incendios

- Medios de extinción adecuados: Se pueden utilizar los medios de extinción conocidos.

- Métodos específicos Si es posible detenga la fuga del producto.

Aléjese del recipiente y rocíelo con agua desde una posición protegida

- Equipo de protección especial para bomberos: En espacios confinados utilizar equipos de respiración autónoma

6. MEDIDAS EN CASO DE DERRAME ACCIDENTAL

Precauciones personales: En caso de fuga (gas) ó derrame (líquido) Evacuar el área. Utilizar equipo de respiración autónoma.

Asegurar la adecuada ventilación del lugar.

Si el derrame se desata en un espacio confinado o poco ventilado, una vez evacuada el área, no volver a ingresar sin un equipo de respiración autónoma.

Precauciones para la protección del medio ambiente:

Intentar parar el derrame / fuga.

Prevenir el ingreso del producto a sótanos, alcantarillas, fosos de trabajo o en cualquier otro lugar en donde la acumulación pueda crear una atmósfera suboxigenada.

Métodos de limpieza: Ventilar la zona.

No derramar agua sobre el líquido.

7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

General: Almacenar / utilizar siempre en lugares ventilados y por debajo de los 50 °C.

Asegurar una ventilación adecuada.

Colocar señales que indiquen que se trata de un gas asfixiante.



Se deberá utilizar equipo específicamente apropiado para este producto, para su presión y temperatura de suministro.

No utilizar acoples intermedios ni adaptadores en las válvulas.

Evitar el retroceso de agua u otros productos al interior del recipiente

Manipulación: Para la utilización abrir la válvula lentamente.

Para el traslado de los recipientes deben utilizarse carros manuales apropiados.

Referirse a las instrucciones del proveedor para manipulación de los envases.

Almacenamiento: Evitar almacenar los envases en sitios confinados o con ventilación deficiente.

Los envases deben permanecer de pie y sujetos.

8. CONTROLES DE LA EXPOSICIÓN / PROTECCIÓN PERSONAL

Protección personal: Llevar equipo de protección adecuado para las manos, cuerpo y cabeza. Al manipular cilindros emplear calzado de seguridad.

- Protección de las vías respiratorias: En espacios confinados o sitios de ventilación deficiente, utilizar equipo de respiración autónoma.

- Protección de las manos: Guantes para la manipulación de envases.

- Protección para la piel: En caso de trabajar con el gas licuado emplear guantes aptos para bajas temperaturas.

- Protección para los ojos: Se recomienda la utilización de lentes de seguridad.

- Límite de exposición laboral: CMP = 5000 ppm

CMP-CPT = 30.000 ppm

CMP-C = 30.000 ppm

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Estado físico a 20°C y P atm. : Gas.

Color: Incoloro

Olor: Inodoro

Masa molecular: 44,01 g/mol

Punto de fusión [°C]: -56,6

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

Punto de ebullición [°C]: -78,5

Temperatura crítica [°C]: 30

Presión de vapor, 20°C: 57,3 bar

Densidad relativa del gas (aire=1): 1,52

Densidad relativa del líquido:

(Agua=1)

0,82

Solubilidad en agua [mg/l]: 2000

Otros datos: Por ser una sustancia más densa que el aire tenderá a acumularse en espacios confinados, particularmente a niveles bajos (suelo)

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad y reactividad: Estable en condiciones normales.

Condiciones a evitar: Evitar exponer los recipientes que contengan dióxido de carbono a altas temperaturas.

Materiales a evitar: El dióxido de carbono se tornará explosivo si se lo mezclase con aluminio pulverizado, berilio, aleaciones de cerio, cromo, aleaciones de aluminio – magnesio, manganeso, titanio y circonio.

En presencia de humedad, el dióxido de carbono se inflamará con oxido de cesio. El dióxido de carbono podrá reaccionar con materiales alcalinos para formar carbonatos y bicarbonatos.

Productos de descomposición peligrosos:

El dióxido de carbono podrá descomponerse en monóxido de carbono y oxígeno si se lo eleva por encima de los 1648 °C.

11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Información sobre Toxicidad: En altas concentraciones causa rápida insuficiencia circulatoria. Los síntomas son dolor de cabeza, náusea y vómitos que pueden causar desvanecimiento.

- Dérmica: El contacto con dióxido de carbono licuado puede causar quemaduras debido a las bajas temperaturas a las que se encuentra.



- Ocular: El contacto con dióxido de carbono licuado puede causar severos daños a los ojos debido a las bajas temperaturas.
- Ingestión: La ingestión de dióxido de carbono no es considerada un riesgo toxicológico.
- Inhalación La inhalación en concentraciones comprendidas entre un 3% y hasta un 5 % provocarán aumento de la frecuencia respiratoria y cardiaca, aumento de la presión sanguínea, dolor de cabeza y efecto narcótico.

Concentraciones superiores intensifican los efectos y llevan a la pérdida de conciencia, concentraciones de un 10% o mayores pueden generar la pérdida de conciencia de manera repentina y la exposición prolongada producir la muerte.

12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Información sobre efectos ecológicos:

Cuando se descarga en grandes cantidades en la atmósfera contribuye al efecto invernadero.

Factor de calentamiento global: [CO₂= 1]

13. CONSIDERACIONES DE DISPOSICIÓN FINAL

General: Los cilindros deben ser devueltos con su remanente.

Debe evitarse la descarga al ambiente en grandes cantidades

En caso de extrema necesidad de descarga, hacerlo en un lugar bien ventilado, abriendo la válvula lentamente. No descargar en ningún lugar en donde su acumulación pudiese ser peligrosa.

Se recomienda contactar al proveedor si necesitara asesoramiento sobre este tema.

14. INFORMACIÓN DE TRANSPORTE

N° ONU: 1013

Denominación apropiada para el transporte Dióxido de Carbono

Riesgo Principal: 2.2

N° de Riesgo: 20

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

Cantidad exenta [Kg.]: 333

Otras informaciones para el transporte:

Evitar el transporte en los vehículos donde el espacio de la carga no esté separado del compartimiento del conductor.

Asegurar que el conductor está enterado de los riesgos potenciales de la carga y que conoce que hacer en caso de un accidente o de una emergencia.

Antes de transportar los recipientes:

- Ajuste con firmeza y de forma apropiada los recipientes para evitar cualquier movimiento durante el transporte
- Asegúrese que las válvulas de los recipientes están cerradas y no presentan pérdidas.
- Asegúrese que los recipientes poseen las tapas para protección de la válvula (tapa tulipa o removible) y que estén correctamente ajustadas (en el caso de una tapa protectora removible).
- Asegúrese de contar con adecuada ventilación.
- Asegúrese de cumplir con la legislación aplicable.

15. INFORMACIÓN REGULATORIA

Reglamentaciones: Ley Nacional de Tránsito Nro 24.449

Resolución 195/97 Transporte de Materiales Peligrosos

Farmacopea Argentina vigente (VI y VII edición.)

Res 295/2003 –Anexo IV (MTEySS)

16. INFORMACIÓN ADICIONAL

Asegúrese de cumplir con toda la legislación / normativa aplicable (Nacional/ Provincial Municipal).

Asegúrese que los operadores comprenden el riesgo de sobre oxigenación.

Esta MSDS ha sido preparada de acuerdo con la Norma IRAM 41400: 2006.

Antes de utilizar este producto en un nuevo proceso ó experimento, debe realizarse un cuidadoso y exhaustivo estudio de compatibilidad de materiales y de seguridad.



Las informaciones contenidas en esta MSDS (Hoja de Datos de Seguridad) representan los datos y el conocimiento disponibles al momento de su emisión para la utilización y manipulación apropiada de este producto. Dado que para la preparación y emisión de este documento se han tomado los cuidados que se consideran apropiados, Air liquide no asume responsabilidad por lesiones ó daños resultantes de su utilización y aplicación por el usuario.

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL CaSiO_3

SECCIÓN 1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA O LA MEZCLA Y DE LA SOCIEDAD O LA EMPRESA

1.1 Identificador del producto

1.1.1 Nombre comercial del producto

Wollastonita: Nordkalk FW, Wicroll, Norwoll

Sinónimos: Silicato de calcio

No. CAS: 013983-17-0

No. EINECS: 237-772-5

Número de registro REACH: Esta sustancia está exenta del registro según la Regulación de la (CE) No.

1907/2006 (REACH).

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

1.2.1 Uso recomendado

Los usos principales para el polvo de wollastonita (lista no exhaustiva): esmaltes, marcos de cerámica, materiales de carga para pinturas y plásticos, varillas de soldadura, polvos metalúrgicos, tableros de fibra de cemento, silicato de calcio bloques y ladrillos, refractarios de baja temperatura, refuerzo de relleno para los plásticos y sellantes, refuerzo de relleno para pinturas de señalización vial, forros de frenos y juntas.

No usos desaconsejados.

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

1.3.1 Proveedor

Nordkalk Oy Ab

Apartado de correos Skräbbölevägen 18

Código postal y oficina de correos



Teléfono +358 20 753 7000, Ulla Koponen +358 20 753 7159

Email ulla.koponen@nordkalk.com

1.4 Teléfono de emergencia

1.4.1 Número de teléfono, apellido y dirección

Teléfono de emergencia, Europa: 112.

Ponerse en contacto con el centro de control de envenenamiento.

Madrid, 24 h+34 156 20420; +34 917 689 800

SECCIÓN 2. IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

El producto no es peligroso según la Directiva 1999/45/CE. El producto no está clasificado como peligroso de acuerdo con el Reglamento (CE) No. 1272/2008.

2.2 Elementos de la etiqueta

Ninguno(a).

2.3 Otros peligros

Efectos sobre salud ocupacional debidos a la inhalación de polvos de mineral incluyendo sílice cristalino (cuarzo, cristobalito, tridimita), silicatos cristalinos (caolín, talco) grafito o carbón. Silicosis. Evite la formación de polvo.

SECCIÓN 3. COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

3.2 Mezclas

3.2.1 Componentes peligrosos

Wollastonita: Nordkalk FW, Wicroll, Norwoll

Concentración Clasificación

13983-17-0 237-772-5 Wollastonita > 87 % Sustancia VLE

14808-60-7 238-878-4 Cuarzo, La sílice cristalina respirable

3.3 Otros datos

< 1 % -

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

STOT RE 1, H372;

Sustancia VLE

Límites nacionales de exposición en el trabajo: SECCIÓN 8: Controles de exposición/protección individual.

SECCIÓN 4. PRIMEROS AUXILIOS

4.1 Descripción de los primeros auxilios

Cuando los síntomas persistan o en caso de duda, pedir el consejo de un médico.

4.1.2 Inhalación

Si se ha inhalado, transportarlo al aire fresco.

4.1.3 Contacto con la piel

Sin peligros que requieran medidas especiales de primeros auxilios.

4.1.4 Contacto con los ojos

Enjuagar cuidadosamente con abundante agua, también debajo de los párpados. Consultar un médico si aparece y persiste una irritación.

4.1.5 Ingestión

Sin peligros que requieran medidas especiales de primeros auxilios.

4.2 Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Silicosis: Tos, falta de aliento.

4.3 Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente tratar sintomáticamente.

SECCIÓN 5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

5.1 Medios de extinción

5.1.1 Medios de extinción apropiados

Usar medidas de extinción que sean apropiadas a las circunstancias del local y a sus alrededores. El producto no arde por si mismo.

5.1.2 Medios de extinción que no deben utilizarse por razones de seguridad

Ninguno(a).



5.2 Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla

Ninguno(a).

5.3 Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Evite la formación de polvo. Utilizar equipo respiratorio autónomo y traje de protección.

SECCIÓN 6. MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

6.1 Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Utilícese equipo de protección individual. Evite la formación de polvo. Asegúrese una ventilación apropiada.

Prevenga que personas no autorizadas entren en el área.

6.2 Precauciones relativas al medio ambiente

No se requieren precauciones especiales medioambientales.

6.3 Métodos y material de contención y de limpieza

Contener y recoger el derrame con un aspirador aislado de la electricidad o cepillándolo, y meterlo en un envase para su eliminación de acuerdo con las reglamentaciones locales (ver sección13). Evite la formación de polvo. No use aire comprimido con propósitos de limpieza.

6.4 Referencia a otras secciones

Equipo de protección individual, ver sección 8. SECCIÓN 13: Consideraciones relativas a la eliminación

SECCIÓN 7. MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

7.1 Precauciones para una manipulación segura

Evite la formación de polvo. Proveer una extracción apropiada y recogida de polvo en la maquinaria. En caso de ventilación insuficiente, utilizar equipo respiratorio adecuado.

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Manténgase perfectamente cerrado. Evite la formación de polvo. Maneje todos los paquetes y contenedores con cuidado para minimizar los derrames.

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

7.3 Usos específicos finales

SECCIÓN 8. CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN INDIVIDUAL

8.1 Parámetros de control

8.1.1 Límites umbrales

7631-86-9 Cuarzo 0,1 mg/m³ (8 h)

Polvo respirable

Polvo inerte 3 mg/m³ (8 h)

8.1.2 Información suplementaria sobre los valores límites

No hay información disponible.

8.1.3 Valores límites en otros países

No hay información disponible.

8.1.4 DNEL

No hay información disponible.

8.1.5 PNEC

No hay información disponible.

8.2 Controles de la exposición

8.2.1 Controles técnicos apropiados

Evite la formación de polvo. Extracción local. Recomendación: Todos los procesos y las actividades relacionadas con el proceso deben llevarse a cabo en un lugar cerrado y ventilado (p. ej., la guantera). Limpieza regular del equipo, del área de trabajo y de la indumentaria.

8.2.2 Medidas de protección individual

8.2.2.1 Protección respiratoria

Disponer de la suficiente renovación del aire y/o de extracción en los lugares de trabajo. Si es necesario:

Respirador con un filtro a partículas (EN 143)

8.2.2.2 Protección de las manos



Recomendación: En caso de contacto prolongado o repetido, utilizar guantes. Puede producir irritaciones en la piel en personas predispuestas.

8.2.2.3 Protección de los ojos/la cara

Gafas de seguridad ajustadas al contorno del rostro.

8.2.2.4 Protección de la piel

Ropa de manga larga.

8.2.2.5

Lavar las manos y la cara antes de los descansos e inmediatamente después del manejo del producto. Si es necesario: Utilizar una crema de protección de la piel antes de manipular el producto.

8.2.3 Controles de exposición medioambiental

Ventilación de extracción equipada con filtros.

SECCIÓN 9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

9.1 Información importante en relación con la salud, la seguridad y el medio ambiente

9.1.1 Aspecto blanco sólido polvo

9.1.2 Olor inodoro

9.1.3 Umbral olfativo sin datos disponibles

9.1.4 pH 9,5 (400 g/l 20 °C)

9.1.5 Punto de fusión/punto de congelación > 1300 °C

9.1.6 Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición sin datos disponibles

9.1.7 Punto de inflamación sin datos disponibles

9.1.8 Tasa de evaporación sin datos disponibles

9.1.9 Inflamabilidad (sólido, gas) sin datos disponibles

9.1.10 Peligro de explosión

9.1.10.1 Límite de explosión inferior sin datos disponibles

9.1.10.2 Límite de explosión superior sin datos disponibles

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

9.1.11 Presión de vapor no aplicable

9.1.12 Densidad de vapor no aplicable

9.1.13 Densidad relativa 2,85 g/cm³

9.1.14 Solubilidad(es)

9.1.14.1 Hidrosolubilidad ~0,2 g/l (ISO 787/8)

9.1.14.2 Solubilidad grasa (solvente - aceite debe ser especificado) sin datos disponibles

9.1.15 Coeficiente de reparto n-octanol/agua sin datos disponibles

9.1.16 Temperatura de auto-inflamación sin datos disponibles

9.1.17 Temperatura de descomposición sin datos disponibles

9.1.18 Viscosidad no aplicable

9.1.19 Propiedades explosivas sin datos disponibles

9.1.20 Propiedades comburentes sin datos disponibles

9.2 Otros datos

Ácido fluorhídrico: soluble

SECCIÓN 10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

10.1 Reactividad

Sin peligros a mencionar especialmente. Estable en condiciones normales.

10.2 Estabilidad química

Estable en condiciones normales.

10.3 Posibilidad de reacciones peligrosas

No se conoce reacciones peligrosas bajo condiciones de uso normales.

10.4 Condiciones que deben evitarse

No hay información disponible.

10.5 Materiales incompatibles

Ninguno(a).



10.6 Productos de descomposición peligrosos

No hay información disponible.

SECCIÓN 11. INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

11.1 Información sobre los efectos toxicológicos

11.1.1 Toxicidad aguda

No hay información disponible.

11.1.2 Irritación y corrosión

No hay información disponible.

11.1.3 Sensibilización

No hay información disponible.

11.1.4 Subagudo, sub crónico y toxicidad prolongada

Wollastonita: IARC Grupo 3: No clasificable como carcinogénico para los humanos.

11.1.5 Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) – exposición única

No hay información disponible.

11.1.6 Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) – exposición repetida

No hay información disponible.

11.1.7 Peligro de aspiración

No hay información disponible.

SECCIÓN 12. INFORMACIÓN ECOLÓGICA

12.1 Toxicidad

12.1.1 Toxicidad acuática

No hay información disponible.

12.1.2 Toxicidad para otros organismos

No hay información disponible.

12.2 Persistencia y degradabilidad

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

12.2.1 Biodegradación

Los métodos para la determinación de bio degradabilidad no son aplicables para las sustancias inorgánicas.

12.2.2 Degradación química

No hay información disponible.

12.3 Potencial de bio acumulación

Los métodos para la determinación de bio degradabilidad no es aplicable para las sustancias inorgánicas.

12.4 Movilidad en el suelo

No hay información disponible.

12.5 Resultados de la valoración PBT

Esta mezcla no contiene ninguna sustancia considerada como persistente, bio acumulativa ni tóxica (PBT). Esta mezcla no contiene ninguna sustancia considerada ser muy persistente ni bio acumulable (vPvB).

12.6 Otros efectos adversos

Ningún efecto conocido.

SECCIÓN 13. CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

13.1 Métodos para el tratamiento de residuos

Evite la formación de polvo. Envases contaminados: Guardar en contenedores apropiados y cerrados para su eliminación. Recomendación: No reutilizar los recipientes vacíos. Puede eliminarse como un desecho sólido o quemarse en una instalación apropiada, sujeto a las regulaciones locales.

13.2 Desechos de residuos / producto no utilizado

Donde sea posible, es preferible el reciclaje en vez de la deposición o incineración. Si no se puede reciclar, elimínese conforme a la normativa local.

SECCIÓN 14. INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

14.1 Número ONU No clasificado como peligroso en el significado de las regulaciones del transporte por carretera y ferrocarril.



14.2 Designación oficial de transporte de las -

Naciones Unidas

14.3 Clase(s) de peligro para el transporte -

14.4 Grupo de embalaje -

14.5 Peligros para el medio ambiente Ninguno(a).

14.6 Precauciones particulares para los usuarios

Evite la formación de polvo.

14.7 Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio Marpol 73/78 y del Código IBC

No hay información disponible.

SECCIÓN 15. INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

15.1 Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicos para la sustancia o la mezcla

Límites nacionales de exposición en el trabajo, sección 8.

Esta sustancia está exenta del registro según la Regulación de la (CE) No. 1907/2006 (REACH).

15.2 Evaluación de la seguridad química

Ninguno(a).

SECCIÓN 16. OTRA INFORMACIÓN

16.1 Adiciones, Eliminaciones, Revisiones

Versión 1.0.

16.2 Explicación de las abreviaturas y los acrónimos utilizados en la ficha de datos de seguridad

- HTP - media de tiempo de carga
- PBT - persistente, bio acumulable y tóxica sustancia
- vPvB - muy persistente y muy bio acumulable sustancia

16.3 Las principales referencias bibliográficas y las fuentes de datos

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

- REGLAMENTO (CE) No 1272/2008, 1999/45/EU.
- Guía de Buenas Prácticas para la Protección de la Salud del Trabajador para la Adecuada Manipulación y Uso de la Sílice Cristalina y de los Productos que la contengan. www.nepsi.eu
- IARC Monographs on the evaluation of the carcinogenic risks of chemicals to humans, Silica, silicates dust and organic fibers, 1997, Vol. 68, IARC, Lyon, France.
- SCOEL SUM Doc. 94-final, June 2003

16.4 Procedimiento de clasificación

Clasificación de conformidad con el Reglamento (UE) 1272/2008 con la tabla de correlación 67/548/CEE o 1999/45/CE (anexo VII de CLP).

16.5 La lista de frases R, advertencias de peligro, indicaciones de seguridad y/o consejos de prudencia pertinentes

H372 Provoca daños en los pulmones tras exposiciones respiratoria prolongadas o repetidas.

16.6 Consejos relativos a la formación

Debe disponer a los trabajadores la información y la formación práctica suficientes. Consultar con las fichas de datos de seguridad adjuntas y/o instrucciones para su uso.



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL CaO

1.- Identificación de la sustancia o del preparado y de la sociedad o empresa

Identificación de la sustancia o del preparado

Denominación: Calcio Óxido USP

Identificación de la sociedad o empresa: Acofarma Distribución S.A. Llobregat, 2008223-Terrassa. España. Tel: 93 736 00 88 / Fax: 93 785 93 62

Teléfono de urgencias: Instituto Nacional de Toxicología. Madrid. Tel: 91 562 04 20

2.- Identificación de los peligros

Clasificación de la sustancia o de la mezcla

De acuerdo al Reglamento (EC) No1272/2008

Corrosión cutáneas (Categoría 1B)

De acuerdo con la Directiva Europea 67/548/CEE, y sus enmiendas.

Provoca quemaduras. Riesgo de lesiones oculares graves.

Elementos de la etiqueta

Pictograma

Palabra de advertencia Peligro

Indicación(es) de peligro

H314 Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.

Declaración(es) de prudencia

P280 Llevar guantes/ prendas/ gafas/ máscara de protección.

P305 + P351 + P338 EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando.

P310 Llamar inmediatamente a un CENTRO DE INFORMACION

TOXICOLOGICA o a un médico.

Símbolo(s) de peligrosidad

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

Xi Irritante

Frase(s) - R

R41 Riesgo de lesiones oculares graves.

Frase(s) - S

S26 En caso de contacto con los ojos, lávense inmediata y abundantemente con agua y acúdase a un médico.

S39 Úsese protección para los ojos/la cara.

Otros Peligros - ninguno(a)

3.- Composición/información sobre los componentes

CAS-Nº. 1305-78-8 EINECS-Nº. 215-138-9

PM: 56,09

Fórmula molecular: CaO CALCIO OXIDO.FDS

4.- Primeros auxilios

Tras inhalación: aire fresco. Si no respira, administrar respiración artificial. Si respira con dificultad, administrar oxígeno.

Tras contacto con la piel: Lavar inmediatamente con abundante agua durante, al menos, 15 minutos.

Quitar la ropa y calzado contaminados.

Tras contacto con los ojos: Aclarar inmediatamente con abundante agua durante, al menos, 15 minutos, manteniendo los párpados abiertos.

Tras ingestión: Beber abundante agua, provocar vómito si la persona está consciente. Llamar al médico en caso de que persista el malestar.

Lavar la ropa contaminada antes de volver a usarla.

5.- Medidas de lucha contra incendios

Medios de extinción adecuados:

No combustible. Adaptar a los materiales del entorno.

Procedimientos especiales para la lucha contra incendios:



Usar aparato de respiración autónomo y ropa protectora para evitar el contacto con la piel y los ojos.

6.- Medidas a tomar en caso de vertido accidental

Evacuar la zona.

Usar aparato de respiración autónomo, botas y guantes fuertes de goma.

Procedimientos de recogida/limpieza:

Recoger en seco, depositar en un contenedor cerrado y proceder a su eliminación como residuo.

Evitar levantar polvo.

Ventilar el local y lavar el lugar donde se haya derramado el producto, una vez retirado éste por completo.

7.- Manipulación y almacenamiento

Consultar sección 8.

Información adicional:

8.- Controles de exposición/protección personal

Protección personal:

Ropa de protección adecuada.

Protección respiratoria: Máscara de respiración homologada.

Protección de las manos: Guantes químico-resistentes.

Protección de los ojos: Gafas de seguridad.

Medidas de higiene particulares:

Usar únicamente dentro de una cabina para humos química. Ducha de seguridad y baño para los ojos.

Evitar el contacto con los ojos, piel y ropas. No respirar el polvo. Evitar la exposición prolongada o repetida. Corrosivo.

Lavarse cuidadosamente, manos y piel, al finalizar el trabajo. CALCIO OXIDO.FDS

Almacenamiento:

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

Mantener herméticamente cerrado.

En lugar fresco y seco.

9.- Propiedades físicas y químicas

Estado físico: Sólido

Color: Blanco grisáceo

Olor: Inodoro

Densidad 3.300 g/cm³

Solubilidad en

Agua Poco soluble

Etanol Insoluble

10.- Estabilidad y reactividad

Estabilidad:

Estable.

Condiciones a evitar:

Humedad. Absorbe CO₂ del aire. Puede descomponerse tras la exposición al aire o agua.

Materias a evitar:

Ácidos.

Productos de descomposición/combustión peligrosos:

No conocidos.

11.- Información toxicológica

Toxicidad aguda:

Puede ser nocivo por inhalación, por ingestión o por absorción a través de la piel.

Extremadamente destructivo de los tejidos de las membranas mucosas, del tracto respiratorio superior ojos y piel.



La inhalación puede producir un espasmo, inflamación y edema de la laringe y bronquios, neumonía química y edema pulmonar.

Los síntomas a la exposición pueden incluir sensación de quemor, tos, jadeo, laringitis, respiración entrecortada, dolor de cabeza, náuseas y vómito.

12.- Informaciones ecológicas

Información no disponible.

13.- Consideraciones relativas a la eliminación

Producto:

Disolver o mezclar con un solvente combustible adecuado e incinerar en instalaciones apropiadas.

En la Unión Europea no están regulados, por el momento, los criterios homogéneos para la eliminación de residuos químicos. Aquellos productos químicos, que resultan como residuos del uso cotidiano de los mismos, tienen en general, el carácter de residuos especiales. Su eliminación en los países comunitarios se encuentra regulada por leyes y disposiciones locales.

Le rogamos contacte con aquella entidad adecuada en cada caso (Administración Pública, o bien Empresa especializada en la eliminación de residuos), para informarse sobre su caso particular.

Envases:

Su eliminación debe realizarse de acuerdo con las disposiciones oficiales. Para los embalajes contaminados deben adoptarse las mismas medidas que para el producto contaminante. Los embalajes no contaminados se tratarán como residuos domésticos o como material reciclable.

14.- Información relativa al transporte

Contactar con ACOFARMA, S.C.L. para información relativa al transporte.

15.- Información Reglamentaria

La hoja técnica de seguridad cumple con los requisitos de la Reglamento (CE) No. 1907/2006.

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL MgO

1. Identificación de la sustancia/preparado y de la sociedad o empresa

1.1 Identificación de la sustancia o del preparado

Denominación: Magnesio Oxido

Sinónimo:

1.2 Uso de la sustancia o preparado:

Usos: para usos de laboratorio, análisis, investigación y química fina.

1.3 Identificación de la sociedad o empresa:

2. Identificación de los peligros

Clasificación de la sustancia o de la mezcla.

3. Composición/Información de los componentes

Denominación: Magnesio Oxido

Fórmula: MgO M.= 40,30

4. Primeros auxilios

4.1 Indicaciones generales:

En caso de pérdida del conocimiento nunca dar a beber ni provocar el vómito.

4.2 Inhalación:

Trasladar a la persona al aire libre.

4.3 Contacto con la piel:

Lavar abundantemente con agua. Quitarse las ropas contaminadas.

4.4 Ojos:

Lavar con agua abundante manteniendo los párpados abiertos.

4.5 Ingestión:

Por ingestión de grandes cantidades: En caso de malestar, pedir atención médica.

5. Medidas de lucha contra incendio

5.1 Medios de extinción adecuados:



Los apropiados al entorno.

5.2 Medios de extinción que NO deben utilizarse:

No se conocen

5.3 Riesgos especiales:

Incombustible.

5.4 Equipos de protección:

Ropa y calzado adecuados.

6. Medidas a tomar en caso de vertido accidental

6.1 Precauciones individuales:

Sin indicaciones particulares.

6.2 Precauciones para la protección del medio ambiente:

Prevenir la contaminación del suelo, aguas y desagües.

6.3 Métodos de recogida/limpieza:

Recoger en seco. Limpiar los restos con agua abundante.

7. Manipulación y almacenamiento

7.1 Manipulación:

Sin indicaciones particulares.

7.2 Almacenamiento:

Recipientes bien cerrados. Ambiente seco.

8. Controles de exposición/protección personal

8.1 Medidas técnicas de protección:

Sin indicaciones particulares.

8.2 Control límite de exposición:

VLA-ED: 10 mg/m³

8.3 Protección respiratoria:

En caso de formarse polvo, usar equipo respiratorio adecuado.

8.4 Protección de las manos:

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

Usar guantes apropiados

8.5 Protección de los ojos:

Usar gafas apropiadas.

8.6 Medidas de higiene particulares:

Lavarse las manos antes de las pausas y al finalizar el trabajo. Quitarse las ropas contaminadas.

8.7 Controles de la exposición del medio ambiente:

Cumplir con la legislación local vigente sobre protección del medio ambiente.

9. Propiedades físicas y químicas

Aspecto: Sólido

Color: de color blanco

Granulometría N/A

Olor: Inodoro.

pH: 10

Punto de fusión/punto de congelación 2.800 °C

Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición: 3.600 °C

Punto de inflamación: N/A

Inflamabilidad (sólido, gas): N/A

Límites superior/inferior de inflamabilidad o de explosividad: N/A

Presión de vapor: N/A

Densidad de vapor: N/A

Densidad relativa: (20/4) 3,58

Solubilidad: 0,08 g/l en agua 20 °C

Coefficiente de reparto n-octanol/agua: N/A

Temperatura de auto-inflamación: N/A

Temperatura de descomposición: N/A

Viscosidad: N/A



10. Estabilidad y reactividad

10.1 Condiciones que deben evitarse:

El producto es químicamente estable bajo condiciones normales (Temperatura ambiente).

10.2 Materias que deben evitarse:

No se conocen

10.3 Productos de descomposición peligrosos:

No se conocen

10.4 Información complementaria:

No se conocen

11. Información toxicológica

11.1 Toxicidad aguda:

CT L0 INH man: 400 mg/m³

11.2 Efectos peligrosos para la salud:

No son de esperar características peligrosas. No se descarta: Irritaciones en vías respiratorias. Observar las precauciones habituales en el manejo de productos químicos.

12. Información Ecológica

12.1 Toxicidad:

12.1.1 - Test EC50 (mg/l)

12.1.2. - Medio receptor:

Riesgo para el medio acuático

Riesgo para el medio terrestre

12.1.3. - Observaciones:

12.2 Persistencia y Degradabilidad:

Datos no disponibles.

12.3 Potencial de bio acumulación:

Datos no disponibles.

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

12.4 Movilidad en el suelo: Datos no disponibles.

12.5 Valoración PBT y MPMB: Datos no disponibles.

12.6 Otros posibles efectos sobre el medio natural:

Producto insoluble en agua.

Manteniendo las condiciones adecuadas de manejo no cabe esperar problemas ecológicos.

13. Consideraciones sobre la eliminación

13.1 Sustancia o preparado:

En América no están establecidas pautas homogéneas para la eliminación de residuos químicos, los cuales tienen carácter de residuos especiales, quedando sujetos su tratamiento y eliminación a los reglamentos internos de cada país. Por tanto, en cada caso, procede contactar con la autoridad competente, o bien con los gestores legalmente autorizados para la eliminación de residuos.

13.2 Envases contaminados:

Los envases y embalajes contaminados de sustancias o preparados peligrosos, tendrán el mismo tratamiento que los propios productos contenidos.

14. Información relativa al transporte

Producto no peligroso según los criterios de la reglamentación de transporte.

15. Información Reglamentaria



HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL SiO_2

SECTION I - INFORMACIÓN DE PRODUCTO

Nombre de Producto: Humo de Sílice, Amorfo CAS No. 69012-64-2

Fabricante: Norchem, Inc. Globe Metallurgical, Inc.

985 Seaway Drive, Suite A P.O. Box 157, County Rd. 32

Fort Pierce, Florida 34949 Beverly, Ohio 45715

Teléfono: 772-468-6110 740-984-2361

TELÉFONO DE EMERGENCIA: CHEMTREC 1-800-424-9300 (en E.E.U.U.)

Sinónimos: Amorfo de Silicio, Dióxido de Silicio, Corrochem, Micropoz, Micro sílice.

SECCIÓN II - INFORMACIÓN DE INGREDIENTE Y LÍMITES DE EXPOSICIÓN

COMPONENTES CAS Registro # Wt. % OSHA-PEL ACGIH-TLV

Dióxido de Silicio (SiO_2) – Amorfo 69012-64-2 > 85.01 N. E. TLV- retirado

Dióxido de Silicio (SiO_2) – Amorfo 69012-64-2 < 85.02 N. E. TLV- retirado

Dióxido de Silicio (SiO_2) - Cristalino 14808-60-7 < 0.05 10 mg/m³ **

% SiO_2 + 2 0.025 mg/m a Mesurado como respirable fracción del aerosol

1 Humo de Sílice producido de aleaciones metálicas de silicio

2 Humo de Sílice producido de aleaciones metálicas de silicio ferro.

** Polvo de Respirable

N.E. No Establecido

Óxido de Calcio (CaO) 1305-78-8 < 2

3 El fabricante puede proporcionar un análisis detallado incluso otros micros elementos. Los valores (% de peso) se cambian si el humo de sílice es de la producción de silicio ferro.

SECCIÓN III - DATOS FISICOS

Estado Físico: Amorfo polvo de sub micrón – el polvo tiene una tendencia de acumularse

Color: Encienda el color gris al color gris medio

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

Olor: Ninguno

Punto de fusión: 1200°C - 1300°C* Gravedad Específica: 2.2 – 2.50

pH: 6.0 a 9.0 Echar agua = 1.0

Insoluble tamaño de partículas: Aproximadamente 0.4 µm

Densidad de Bulto: Aproximadamente 8 a 45 lb/ft³ o 128-720 kg/m³

Solubilidad en solventes: Insoluble a ligeramente soluble en solventes orgánicos

*La temperatura de punto de fusión es el dependiente en el tipo de la sílice amorfa así como la fuente.

SECCIÓN IV – ESTABILIDAD Y DATOS DE REACTIVIDAD

Estabilidad Química: estable; no reaccionará con el echar agua

Incompatibilidad: el humo de sílice es soluble en el ácido hidrofúorídrico (HF).

Descomposición: Calefacción en temperaturas encima 500 ° C (930 ° F) ya que los períodos de tiempo prolongados convertirán la sílice amorfa a fases cristalinas.

SECCIÓN V - ENCIENDA Y DATOS DE RIESGO DE EXPLOSIÓN

El Humo de Sílice es el no combustible aun cuando en una nube de polvo y no presenta ningún peligro de explosión. - N / A - No Aplicable

Punto de inflamación: N/A Método Usado: N/A

Extinción de Medios: N/A Potencial de Explosión: Ninguno

Procedimientos Contra Incendios Especiales: Ninguno Límites Inflamables: Ninguno

SECCIÓN VI – DATOS DE IDENTIFICACIÓN DE PELIGRO PARA LA SALUD

El Humo de Sílice es generalmente considerado un polvo de fastidio de la toxicidad baja. El uso y el manejo del

Humo de Sílice no representan un riesgo de salud cuando las reglas de seguridad normales son observadas. El

Humo de Sílice cuando manejado y almacenado de acuerdo con este documento con poca probabilidad causará efectos dañosos. Es posible para el Humo de Sílice para contener cantidades de rastro (<el 0.05 %) de la sílice cristalina, que ha sido mostrada para causar la silicosis, y ha sido identificada por IARC y NTP como un cancerígeno humano posible.

Ruta (s) de Entrada: Inhalación: Sí Piel: No Ingestión N/A Ojos: Sí



Toxicidad aguda y Crónica:

Inhalación: Puede causar toses y falta de aliento.

Ingestión: No recomendado. Ningunos efectos adversos conocidos.

Ojos: Puede irritar ojos.

Piel: No absorbido por piel. La exposición de piel prolongada puede causar irritación, secado o abrasiones, sobre todo cuando mojado.

Humo de Sílice (Polvo Seco-S)

SECCIÓN VII – MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación: Si inhalado al exceso quitan la persona expuesta a un área ventilada o aire fresco.

Contacto de Piel: Lave la piel con el echar agua y jabón suave.

Ingestión: Obtenga primeros auxilios o asistencia médica inmediatamente.

Contacto de Ojo: Los ojos de rubor con el agua y con cuidado aclaran bajo los párpados. Obtenga la asistencia médica, de ser necesario.

SECCIÓN VIII – MANEJO SEGURO Y ALMACENAJE

Almacenaje Normal: El almacenaje general, mejor en contenedores cerrados, temperatura de aire ambiental, se queda seco.

Manejo de Precauciones: Evite generar el polvo. Mantiene con ventilación adecuada para polvo.

Ver OSHA 29 CFR 1910-94 (Ventilación)

SECCIÓN IX – CONTROL DE EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN PERSONAL

Ingeniería de Control: Provea suficiente mecánico (gases de combustión generales y/o locales).

Protección Respiratoria: Use 42 CFR 84 NIOSH/MSHA respiradores aprobados cuando las concentraciones aerotransportadas igualan o exceden el Límite de Exposición permisible

Protección de Piel: los Guantes son recomendados

Protección de Ojo: Use anteojos de seguridad con escudos de lado. Si el potencial para la exposición a partículas (polvo aerotransportado) que podría causar la herida mecánica al ojo lleva puestos anteojos de seguridad

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

SECCIÓN X – INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

A. Efectos Agudos: Ningunos datos disponibles

Inhalación: El polvo de Humo de Sílice aerotransportado generado por el uso o el manejo de este producto puede causar la irritación respiratoria

Ingestión: El polvo de Humo de Sílice puede irritar y deshidratar la garganta y la boca

Contacto de Ojo: El polvo de Humo de Sílice puede causar la irritación de ojo y la sequedad

Contacto de Piel: El polvo de Humo de Sílice puede causar la irritación de piel expuesta y la sequedad

B. Efectos Crónicos:

El Humo de Sílice es generalmente considerado un polvo de fastidio de la toxicidad baja por consiguiente se piensa que ello plantea el riesgo mínimo de la fibrosis pulmonar (silicosis). Evite la exposición prolongada a concentraciones de polvo de humo de sílice encima de los límites de exposición recomendados, a menos que el equipo protector sea usado.

Es posible para el Humo de Sílice para contener cantidades de rastro (<el 0.05 %) de la sílice cristalina, que ha sido mostrada para causar la silicosis, y ha sido identificada por IARC y NTP como un cancerígeno humano posible.

Humo de Sílice (Polvo Seco-S)

SECCIÓN X – INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

La Calefacción de Humo de Sílice en temperaturas encima 500 ° C (930 ° F) ya que los períodos de tiempo prolongados convertirán la sílice amorfa a las fases cristalinas Cristobalite y Tridymite que puede causar la silicosis. Las temperaturas aumentadas aumentarán el precio de formación de estas fases.

SECCIÓN XI – INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Ningunos efectos adversos son esperados. El Humo de Sílice no es considerado peligroso al ambiente.

SECCIÓN XII – LIBERACIÓN CASUAL Y CONSIDERACIONES DE DISPOSICIÓN

De Ser derramado: Coleccione métodos de utilización que minimizan la creación del polvo aerotransportado.



Se recomienda que la limpieza de vacío de eficacia alta recupere el material derramado. Lugar en contenedor conveniente para reciclaje o disposición.

Seguridad Personal: Observe salud y medidas de seguridad. Refiérase a la Sección IX.

Eliminación de desperdicios:

Elimine de acuerdo con regulaciones Federales, Estatales y Locales aplicables.

SECCIÓN XIII – INFORMACIÓN DE TRANSPORTE

USDOT: No regulado como un material arriesgado.

Identificación: No Aplicable

Clasificación: Clasificación de Carga de Motor Nacional

SECCIÓN XIV – INFORMACIÓN REGULADORA

SARA 311/312 (RTK):

Este producto ha sido examinado según el EPA “Categorías de Riesgo” promulgado bajo las Secciones 311 y 312 de las Enmiendas de Súper fondo y el Acto de Nueva autorización de 1986 (SARA Title III) y es considerado, conforme a definiciones aplicables, encontrar las categorías siguientes:

No Aplicable

Este producto contiene la sustancia siguiente sujeta a las exigencias de reportaje de la Sección 313 del Título III de las Enmiendas de Súper fondo y el Acto de Nueva autorización de 1986 y la Parte 372 CFR:

Este producto no contiene ningunos productos químicos sujetos a SARA 313 exigencias de notificación de proveedor.

SECCIÓN XIV – INFORMACIÓN REGULADORA

CERCLA:

La sección 103a de CERCLA expresamente requiere que la persona responsable de un buque o instalación relate inmediatamente al Centro de Respuesta Nacional (NRC) una liberación de sustancia arriesgada cuya cantidad iguala o excede RQ adjudicado.

Ningunos productos químicos CERCLA existen en este producto encima de concentraciones denunciabiles.

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

La Sección 12 de TSCA (b) Notificación de Exportación:

Este producto contiene las sustancias químicas siguientes sujetas a las exigencias de reportaje de TSCA 12 (b) de ser exportado de los Estados Unidos.

Este producto puede contener (sílice cristalina) unas sustancias químicas conocidas al Estado de California causar cáncer, defectos de nacimiento u otro daño reproductivo.

Es posible para el Humo de Sílice para contener cantidades de rastro <el 0.05 % de la sílice cristalina.

SISTEMA DE POSICIÓN DE RIESGO:

Sistema de Identificación Material Arriesgado (HMIS)

SALUD = 1

FLAMMABILIDAD = 0

REACTIVIDAD = 0

PROTECCIÓN PERSONAL = E (ver la sección IX)

SECCIÓN XV – INFORMACIÓN ADICIONAL

Toda la información, las recomendaciones, y las sugerencias en este MSDS, acerca de nuestros productos están basadas en pruebas y datos creídos ser confiables, no puede ser garantizado. Ya que el uso actual por otros está más allá de nuestro control esto es la responsabilidad del usuario de determinar la seguridad, la toxicidad y la conveniencia para su propio uso del producto descrito aquí.



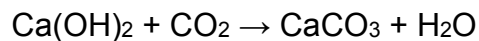
GLOSARIO

Adsorción: Proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapados o retenidos en la superficie de un material en contraposición a la absorción, que es un fenómeno de volumen. Es decir, es un proceso en el cual un contaminante soluble (adsorbato) es eliminado del agua por contacto con una superficie sólida (adsorbente).

Alcóxido: Son aquellos compuestos del tipo RO_m , siendo R un grupo alquilo, O un átomo de oxígeno y m un ion metálico u otro tipo de catión.

Antropogénico: Se refiere a los efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas a diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana.

Carbonatación Reacción química en la que el hidróxido de calcio reacciona con el dióxido de carbono y forma carbonato cálcico insoluble:



Coloide: Es un sistema formado por dos o más fases, principalmente: una continua, normalmente fluida, y otra dispersa en forma de partículas generalmente sólidas.

Emisiones: Son todos los fluidos gaseosos, puros o con sustancias en suspensión; así como toda forma de energía radioactiva, electromagnética o sonora, que emanen como residuos o productos de la actividad humana o natural

Gel Red (porosa) tridimensional formada por interconexión de partículas sólidas en un medio líquido.

Hidrólisis Es una reacción química entre una molécula de agua y otra molécula, en la cual la molécula de agua se divide y sus átomos pasan a formar parte de otra especie química.

Estudio de la síntesis por Sol-Gel de materiales utilizados para reacciones de carbonatación

- Invernadero:** Lugar cerrado, estático y accesible a pie, que se destina a la producción de cultivos, dotado habitualmente de una cubierta exterior translúcida de vidrio o plástico, que permite el control de la temperatura, la humedad y otros factores ambientales para favorecer el desarrollo de las plantas.
- Polimerización:** Proceso químico por el que los reactivos, monómeros (compuestos de bajo peso molecular) se agrupan químicamente entre sí, dando lugar a una molécula de gran peso, llamada polímero, o bien una cadena lineal o una macromolécula tridimensional.
- Poli condensación:** Es un proceso de polimerización donde distintas sustancias reaccionan para crear uno o más monómeros, los cuales se unirán entre sí para formar un dímero, que por reacción con otros monómeros o dímeros (o trímeros, o tetrámeros...) dará a lugar el correspondiente polímero.
- Protocolo de Kioto:** Es un protocolo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), y un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global: dióxido de carbono (CO_2), gas metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O), y los otros tres son gases industriales fluorados: hidrofluorocarburos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6), en un porcentaje aproximado de al menos un 5 %, dentro del periodo que va de 2008 a 2012, en comparación a las emisiones a 1990.
- Reología:** Es la rama de la Física de medios continuos que se dedica al estudio de la deformación y el fluir de la materia.
- Sol:** Suspensión estable de partículas sólidas coloidales en un medio líquido (2-200 nm; 10³-10⁹ átomos por partícula)



NOMENCLATURA Y SIMBOLOS.

°C: Grados Celsius.

ρ : Densidad (gr/mL)

gr: Gramos.

R: Grupo alquilo.

M : Ion Metálico

Kg: Kilogramos

lb: Libras

Lt: Litros

m: metros.

mL: Mililitros

M: Molaridad (gr de soluto/ Lt. solución)

nm: Nanómetros.

P.M. Peso molecular (Kg/Kg mol)

P: Presión (lb/in²)

In: Pulgadas

T: Temperatura (°C)

TEOS: Tetraetoxisilano, tetraetilortosilicato o tetraetóxido de silicio.

TMOS: Tetrametilortosilicato.