



Universidad Nacional

SAN LUIS GONZAGA



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales Creative Commons, permitiendo a otras solo descargar sus obras y compartirlas con otras siempre y cuando den crédito, pero no pueden cambiarlas de forma alguna ni usarlas de forma comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA
UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA
EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

CONSTANCIA

El que subscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

APLICACIÓN DE LA ZEOLITA NATURAL DE OCUCAJE EN LA DESHIDRATACIÓN DEL GAS NATURAL

Presentado por:

ROJAS CUADROS EMILY ANDREA

Autor del Proyecto de Tesis del nivel de **PREGRADO** de la Facultad de **INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA**. El Resultado obtenido es 9% (PORCENTAJE DE SIMILITUD) por lo cual, se otorga el calificativo de:

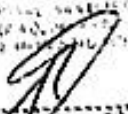
APROBADO, según Reglamento de Evaluación de la Originalidad.

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Observaciones:

El porcentaje de similitud es menor del 20%, establecido como máximo por Reglamento de Evaluación de originalidad.

Ica, 11 de abril de 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y PETROQUÍMICA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

Dra. ROSA L. GALINDO VÁSQUEZ
DIRECTORA (U)

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUÍS GONZAGA”

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

Facultad de Ingeniería de Ingeniería Química y Petroquímica



Tesis:

**Aplicación de la zeolita natural de Ocucaje en la deshidratación
del gas natural**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Petroquímico

Línea de investigación: Ciencias naturales, ingeniería y tecnologías
sostenibles.

AUTORA: ROJAS CUADROS EMILY ANDREA

ICA – PERÚ

2023

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación va dedicado a mis padres, ya que gracias a ellos he logrado formarme como profesional, ellos han sido mi soporte de mis noches en vela cuando tenía algún examen o exposición, donde me enseñaron a no rendirme ni a tirar la toalla en ninguna circunstancia y sobre todo recordar cuando me decían que de cualquier situación o problema siempre tenía que sacarle una enseñanza y que eso me forjaría como una gran profesional.

AGRADECIMIENTOS

Agradecida principalmente con Dios, por cuidarme y permitirme cumplir una meta más, de igual manera con mis padres y hermanos que son mi soporte en el día a día.

Así mismo, agradecer a mi asesor de tesis el Dr. Rosalio Cusi Palomino, por orientarme y guiarme. Finalmente, agradecer a los jurados presentes por haberse tomado el tiempo de revisar mi tesis y escuchar mi sustentación.

INDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
PORTADA	01
DEDICATORIA	02
AGRADECIMIENTO	03
ÍNDICE DE CONTENIDOS	04
ÍNDICE DE TABLAS	05
ÍNDICE DE FIGURAS	06
RESUMEN	07
ABSTRACT	08
I. INTRODUCCIÓN	09
II. ESTRATEGIA METODOLOGICA	12
2.1. Antecedentes.	12
2.2. Marco teórico.	13
2.3. Marco conceptual.	25
2.4. Estrategia metodológica.	26
2.3. Desarrollo experimental.	27
III. RESULTADOS.	34
IV. DISCUSIÓN.	45
V. CONCLUSIONES	46
VI. RECOMENDACIONES.	47
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	48
VIII. ANEXOS.	49

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2,1. Especificaciones de calidad del gas natural.	25
Tabla 3.1. Composición química de la zeolita natural.	34
Tabla 3.2. Propiedades físicas de la zeolita.	35
Tabla 3.3. Resistencia de la zeolita a los compuestos químicos.	36
Tabla 3.4. Granulometría de las fracciones de zeolita según la malla Tyler.	37
Tabla 3.5. Temperatura de activación de la zeolita.	38
Tabla 3.6. Resultado de la capacidad adsorbente de la zeolita con agua líquida.	39
Tabla 3.7. Adsorción del vapor en 500 g de zeolita activada.	40
Tabla 3.8. Adsorción del vapor en 600 g de zeolita activada.	41
Tabla 3.9. Adsorción del vapor en 700 g de zeolita activada.	42
Tabla 3.10. Adsorción del vapor en 800 g de zeolita activada.	43
Tabla 3.11. Adsorción del vapor en 900 g de zeolita activada.	44

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Zeolita natural.	13
Figura 2.2. Unidades de construcción primaria de la zeolita.	14
Figura 2.3. Unidades de construcción secundaria.	15
Figura 2.4. Microfotografía de una zeolita.	16
Figura 2.5. Estructura de la zeolita A (LTA).	16
Figura 2.6. Estructura de la Faujasita.	17
Figura 2.7. Estructura de la faujasita.	17
Figura 2.8. Proceso de adsorción.	18
Figura 2.9. Esquema de la evolución de la energía potencial de una molécula de gas acercándose a una superficie plana.	19
Figura 2.10. Diferencia entre la fisisorción y la quimisorción.	20
Figura 2.11. Microfoto de la porosidad de la zeolita.	21
Figura 2.12. Porosidad de un sólido adsorbente.	22
Figura 2.13. Yacimientos de gas natural.	23
Figura 2.14. Composición del gas natural de boca de pozo.	24
Figura 2.15. Esquema del equipo para pruebas de adsorción con zeolita,	32
Figura 2.16. Equipo de laboratorio empleado en la adsorción de vapor de agua.	33
Figura A.1. Esquema de una planta de deshidratación por adsorción.	49
Figura A.2. Zeolita pulverizada.	49
Figura A.3. Representación de la zeolita en el tamiz molecular.	50

RESUMEN

La tesis cuyo título es **Aplicación de la zeolita natural de Ocucaje en la deshidratación del gas natural**, es un estudio teórico experimental en el que se han desarrollado un marco teórico que aborde el estudio de las características fisicoquímicas y la composición química de las zeolitas, su uso industrial y la estructura a partir de la cual se dan las aplicaciones industriales. La investigación es de tipo aplicada por su nivel es explicativa y según su diseño es experimental. Para demostrar la hipótesis planteada se han realizado diversos ensayos tendientes a determinar la capacidad de adsorción de la zeolita natural de vapor de agua. La zeolita natural empleada se pulverizó a malla # 80 y se colocó en balones de vidrio por los cuales circulo durante media hora el vapor de agua, pudiéndose establecer que la adsorción de agua es de un 15 a 16% en este tipo de zeolita. Este porcentaje de adsorción asegura la posibilidad de retención de todo el vapor de agua presente en el gas natural, el cual contiene un máximo de 2% de este vapor.

Palabras claves: Zeolita, adsorción, deshidratación, gas natural.

ABSTRACT

The thesis whose title is Application of the natural zeolite of Ocucaje in the dehydration of natural gas, is an experimental theoretical study in which a theoretical framework has been developed that addresses the study of the physicochemical characteristics and the chemical composition of zeolites, their industrial use and the structure from which industrial applications are given. The research is of the applied type because its level is explanatory and according to its design it is experimental. To demonstrate the proposed hypothesis, various tests have been carried out to determine the adsorption capacity of the natural zeolite for water vapor. The natural zeolite used was pulverized at # 80 mesh and placed in glass flasks through which the water vapor circulated for half an hour, establishing that the adsorption of water is 15 to 16% in this type of zeolite. This percentage of adsorption ensures the possibility of retention of all the water vapor present in the natural gas, which contains a maximum of 2% of this vapor.

Keywords: Zeolite, adsorption, dehydration, natural gas.

I. INTRODUCCIÓN

La zeolita es un mineral de estructura cristalina y de amplia aplicación en la industria química, sus aplicaciones se deben a sus propiedades fisicoquímicas las cuales le proporcionan cualidades especiales para ser empleada como adsorbente, para el intercambio iónico, en los tamices moleculares, en la filtración, etc. De hecho, una de las aplicaciones más importantes en la industria e en la deshidratación del gas natural. Sus bondades dependen de la relación que existe entre la sílice y la alúmina, así, si cambia la relación Si/Al de una zeolita también cambiará su contenido catiónico, en el caso de que el contenido de aluminio es mayor la zeolita tiene una alta afinidad hacia el agua y así mismo por otras sustancias de carácter polar, es decir, la zeolita se comporta como una sustancia iónica; todo lo contrario sucede cuando la concentración de aluminio es baja la zeolita es hidrofóbica, en este caso tiene una mayor afinidad por los compuestos apolares, como los hidrocarburos que conforman el gas natural y el petróleo. Esta propiedad de este mineral, permite emplearlo en la deshidratación del gas natural, con la finalidad de que no puedan reaccionar los gases ácidos con ella y producir corrosión en los ductos y equipos de las plantas de procesamiento del gas natural.

Situación problemática.

La Zeolita es un mineral de origen volcánico conformado por óxidos de aluminio y sílice y que posee una estructura micro porosa, de color verde pálido y de diversa granulometría. La Zeolita natural está conformada por un grupo de minerales, considerados dentro de los aluminosilicatos cristalinos cuyas estructuras físicas está conformada por microporos los mismos que le confieren varias propiedades especiales entre las cuales en primer lugar están la adsorción de agua y el intercambio iónico. En la naturaleza hay más de 40 tipos de zeolitas, las cuales difieren muy poco una de otras en su composición. Así interfieren para facilitar la adsorción como el NH_4^+ , (H_2O), como también tenemos los elementos químicos que exhiben propiedades metálicas entre los cuales podemos citar: cadmio, mercurio, níquel, arsénico. Los yacimientos de zeolita que se encuentran en Ocucaje y en el distrito de Santiago, se formaron en el mioceno y se encuentra mezclada con rocas calcáreas provenientes de la desintegración de las valvas de moluscos fosilizados. Ensayos previos indican que estas zeolitas poseen una relación sílice / aluminio de 4 a 1 y posee excelentes propiedades adsorptivas, sin embargo, a este mineral no se le da el valor que posee ni se le emplea en procesos que se requieren implementar en la Región Ica, como combatir la contaminación del H_2O producto de las malas actividades minera. Considerando que estas zeolitas tienen una excelente capacidad de adsorción e hidratación, consideramos es posible su uso en la deshidratación del gas natural, lo cual abriría un amplio mercado para este mineral acumulado en yacimientos que no son explotados lo encontramos en el desierto en la ciudad de pisco en su distrito Santiago en la ciudad de Ica, de esta manera encontramos los yacimientos antiguos como la cantidad d especies en el mar, como encontramos los suelos arcillosos, como en las investigaciones se obtuvo hallazgos de fósiles.

Problema general.

¿Bajo estos parámetros se puede aplicar la zeolita natural de Ocucaje en la deshidratación del gas natural?

Problemas específicos.

- a. ¿Qué capacidad de adsorción de vapor de agua tiene la zeolita natural de Ocucaje?
- b. ¿Cuál es la composición química de la zeolita natural de Ocucaje?

Objetivo general

Determinar los parámetros bajo los cuales se puede aplicar la zeolita natural de Ocucaje en la deshidratación del gas natural.

Objetivos específicos.

- a. Determinar dicha obtención del H₂O que tiene estas zeolitas naturales en Ocucaje.
- b. Determinar esta composición química de la zeolita natural de Ocucaje

Hipótesis general.

Los parámetros se puede aplicar la zeolita natural de Ocucaje en la deshidratación del gas natural, son la velocidad de flujo y esta obtención del H₂O en los vapores.

Hipótesis específicas.

- a. esta zeolita natural en Ocucaje posee una alta capacidad de adsorción del H₂O.
- b. esta estructura química en zeolita natural en Ocucaje es semejante a la composición química de las zeolitas comerciales.

Variables:**Variable independiente:**

Aplicación de la zeolita natural de Ocucaje.

Variable dependiente.

Deshidratación del gas natural

Justificación e importancia de la investigación.**Justificación teórica:**

Teóricamente este presente tema lo justifica porque aborda el estudio de la zeolita natural de la zona de Ocucaje, la cual se encuentra en varios yacimientos que aún no son explotados y puede darse un valor económico, siempre y cuando se active para emplearlo en la deshidratación del gas natural.

Justificación metodológica:

Este proyecto de observación tiene como fin de aplicar aplicada, los niveles explicativos y diseño experimental, se llevará a cabo a nivel laboratorio, tratando gas natural con un porcentaje de vapor de agua que será en variadas cantidades.

Justificación social:

Desde el punto de vista social la presente investigación se justifica porque se busca mejorar el estándar de vida de las poblaciones aledañas a las zonas de influencia donde se encuentran los yacimientos de zeolita y pueden participar en su extracción y procesamiento

Justificación ambiental:

Desde el punto de vista ambiental la investigación se justifica porque busca que disminuir la contaminación ambiental con el uso de la zeolita que no solo retiene o adsorbe vapor de agua en su superficie y poros, sino además gases ácidos los cuales contaminan el medio ambiente.

II. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

2.1. Antecedentes.

A nivel internacional:

B. De la Cruz [1] presentó su tesis sobre la deshidratación del alcohol empleando para ello material sólido adsorbente, que fue zeolita de tipo heulandita. Dicho análisis se obtuvo que es de grado experimental. El estudio comprendió la caracterización de la zeolita, su composición química, la determinación de la relación aluminio / sílice y los ensayos para establecer la capacidad de hidratación y adsorción de agua. Empleó como columna contactora una de relleno donde se implementó un lecho fijo de zeolita y se establecieron los parámetros de Velocidad superficial y fuerza como mando otras más. Así como se observó los factores en cuanto las bases que no tenían dimensión así tener una visión en el estudio del fabricante, como también la importancia de la obtención del emprendedor. Dichos componentes entre los cuales están: El Peclet, el Sc y Reynolds como también el Bi.

J. Mendoza [2] nos refiere que dicho oficio en la zeolita es la descontaminación del H₂O para el tratado de estas, emplea como material de estudio la zeolita artificial ZSM-5 obtenida por métodos electroquímicos a partir del metasilicato de sodio y el bromuro de tetrapropilamonio, el electrodo de trabajo fue de oro policristalino que genera una adsorción en potenciales negativos. Este proyecto fue empírico, así como modelo aplicado. El empleo de esta zeolita artificial, según los datos obtenidos por la investigadora se ha logrado una máxima purificación del biogás, eliminándose EL CO₂ Y EL H₂S que se generan como biogeneradores, y que le dan un carácter ácido al biogás, lo cual lo convierte en un combustible altamente corrosivo. Al eliminar estos gases y el agua presente en el gas se suprime el carácter ácido y por tanto su actividad corrosiva.

B. Vizcaino [3] en su tesis sobre la caracterización de la zeolita natural de la valla de Nueva León (México), establece que este mineral tiene una elevada capacidad para adsorber agua como vapor de agua junto con otros gases como los gases ácidos los cuales son altamente corrosivos si es que el gas natural que se transporta en los gaseoductos a presiones altas o presiones bajas. En la tesis de diseño experimental se llevaron a cabo estudios experimentales para identificar la zeolita, caracterizarla, estudios que arrojaron como resultado que la zeolita natural estudiada es la clinoptilolita, la cual posee una excelente capacidad de adsorción de agua y también retiene gases sujetos encontramos al CO₂ como también al H₂S, por lo que se le puede emplear en la deshidratación del gas natural y en el endulzamiento de este.

A nivel nacional:

J. Ordoño [4] en su tesis sobre tratamiento del agua de mina para extraer los metales pesados cobre y arsénico emplea la zeolita natural de los yacimientos de puno, las cuales en primer lugar fueron caracterizadas y reconocidas como zeolitas de tipo clinoptilolita con una buena capacidad de adsorción de metales pesados. Este proyecto fue empírico, así como modelo aplicado. Para

caracterizar la zeolita se trató esta con cloruro de sodio 2 molar. Los ensayos de adsorción se realizaron con soluciones acuosas que contenían 0,380 mg/L como Cu (II) o 0,326 mg/L así As(V); de las cuales se prepararon ocho muestras y se evaluó en ellas el diámetro del movimiento, su PH como la durabilidad en su residencia. Así examinamos a detalle la obtención del Cu (II) el As(V) y la de distintos modos etimológicos. Se reportó que los minerales tienen un porcentaje del 8,36% en $K_{0.92}Na_{0.08}$ y en $(AlSi_3)O_8$ y se empleó una concentración para captar el 2g/L del Cu (II) como también del As (V), en cuanto a su obtención del porcentaje en un promedio de media hora en calcular el Cu (II) así como para calcular el As (V) es un aproximado de 1 hora con 10 minutos, a un 5,5 como también un 6,2 de su PH para cada caso. Bajo estos parámetros se obtuvieron resultados que los resultados bordan el final con los niveles permitidos en conjunto.

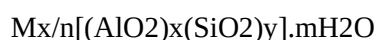
A nivel local.

No existe registro alguno sobre investigaciones relacionadas con este plan, es el siguiente a mostrar en dicho proyecto en las Universidades locales.

2.2. Marco teórico.

2.2.1. Zeolitas.

Las zeolitas químicamente se definen como aluminosilicatos cristalinos que poseen una estructura aniónica rígida, con canales y poros perfectamente formados y de dimensiones moleculares. En los poros o cavidades (como se lee en algunos textos) se alojan cationes metálicos que pueden ser eliminados o también reemplazados. La fórmula general que se considera representa químicamente a las zeolitas es la siguiente:



Donde:

M - : Sera el catión de compensación de carga, este catión no conforma la estructura cristalina.

x e y - : Son aquellos símbolos los cuales representan al aluminio y silicio.

m : Es la cantidad de moléculas de agua que conforma la estructura cristalina.



Fig. 2.1. Zeolita natural [2]

Estructura de las zeolitas:

Las unidades primarias con las que esta construidas las zeolitas son los átomos de silicio y aluminio que están dispuestos en coordinación tetraédrica TO_4 ($T = Si, Al$) los mismos que comparten los vértices mediante átomos de oxígeno, de manera que cada oxígeno pertenece a dos tetraedros a la vez, como se muestra en la Figura 2.2, en la cual se puede ver dos tetraedros SiO_4/AlO_4 que están unidos gracias a la compartición de vértices, que lo constituyen átomos de oxígeno.

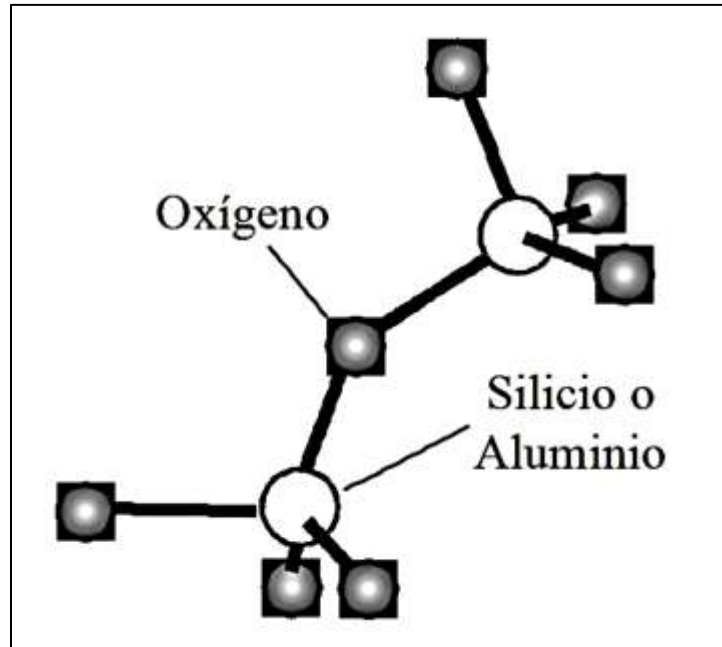


Fig.2.2. Unidades de construcción primaria de la zeolita. [3]

La estructura de la zeolita es totalmente silícea gracias a la combinación de unidades TO_4 que finalmente generan un sólido sin carga (esqueleto), en donde su composición química es el SiO_2 cuando se encuentra libre de agua. En el caso se reemplaza un átomo de silicio por uno de aluminio va a generar un defecto en la carga en la red y para compensar la carga del AlO_4 se necesita de cationes extra reticulares. Cuando se requiere solucionar una carga y se empleen protones se va a generar en la zeolita centros ácidos, los cuales se utilizan en los procesos industriales. Dichas unidades de construcción secundaria son las que se muestran en la figura.

2.3. En la figura se especifica entre paréntesis la frecuencia de ocurrencia, en donde se visualiza dentro de ellas las construcciones secundarias de zeolitas, estas construcciones son de tamaños muy pequeños formado en grupos de tetraedros de silicio con las cuales se pueden emplear para la construcción de zeolitas conocidas. Pero dichas unidades de construcciones son en verdad unidades teóricas de construcción topológica y no tienen una aplicación práctica en la cristalización o gelificación de las zeolitas.

La zeolita tiene una estructura que es microporosa, las cuales se forman por el orden de las unidades secundarias. El tamaño de esta microporosidad va a depender del ordenamiento de estas unidades de construcción secundaria las mismas que se agrupan de tal forma que generan dicha condición. En el caso del nivel de complejidad que sigue se realiza formando unidades compuestas, estas unidades no son iguales a las unidades secundarias por lo mismo que no se necesita que sean aquirales. Son agrupaciones arbitrarias de tetraedros que se repiten en distintas estructuras y sirven para relacionarlas. Puede existir algunos casos donde coincidan con los SBU como en anillo doble de 6 y en las cajas de sodalita no.

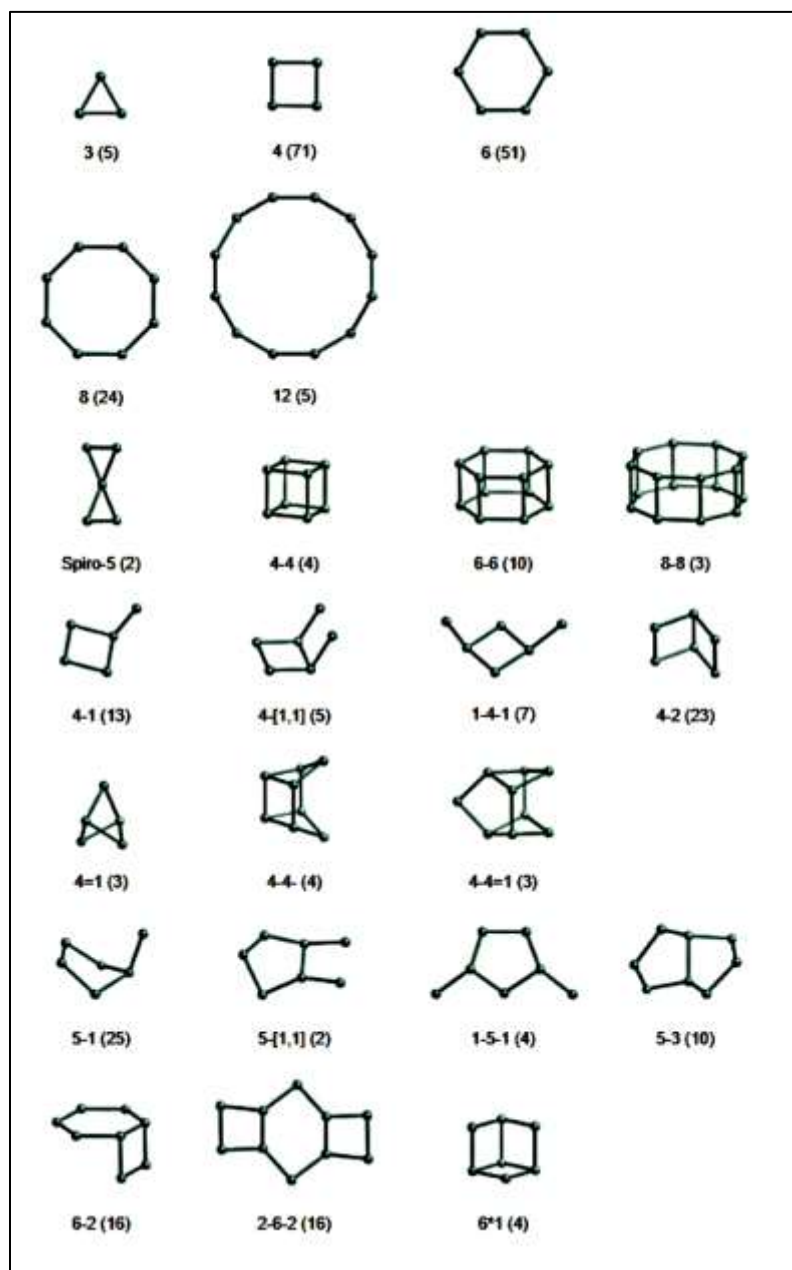


Fig. 2.3. Unidades de construcción secundaria.[4]



Fig. 2.4. Microfotografía de una zeolita [5]

Relación Silicio/Aluminio (Si/Al):

Las uniones Aluminio-oxígeno-aluminio (Al-O-Al) no existen, por lo que no puede haber dos tetraedros $[AlO_4]$ unidos entre sí, lo que quiere decir que la relación Si/Al solo puede tener un valor, el cual es 1. En la zeolita A de relación Si/Al es igual a uno (1) pues en su estructura los átomos de Si y Al están estrictamente dispuestos en forma alternada. En la zeolita X (FAU) la relación Si/Al tiene un valor que está entre 1 y 1,5, y la zeolita Y (FAU) posee una relación Si/Al que está entre 1,5 y 3. Como se puede deducir, la estructura de la zeolita X y la estructura de la zeolita Y son FAU sin considerar la diferencia que existe en su composición. Se pueden elaborar zeolitas con relación Si/Al muy elevadas incluso hasta trece (13), Entre las propiedades que presentan las zeolitas con elevada relación Si/Al está la de tener una mayor estabilidad térmica e incluso hidrotérmica, otra característica es que son hidrófobo y en algunas ocasiones dan paso a procesos catalíticos. de carácter más hidrófobo y generalmente dan lugar a mayor selectividad en los procesos catalíticos. Los valores de relación Si/Al son mayores a la relación de 5 observada en la Mordenita que es la zeolita mineral de mayor relación Si/Al descrito.

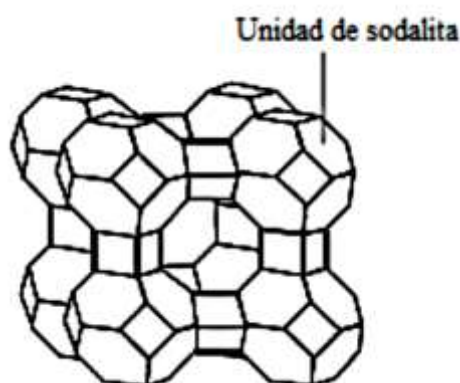


Fig. 2.5. Estructura de la zeolita A (LTA)

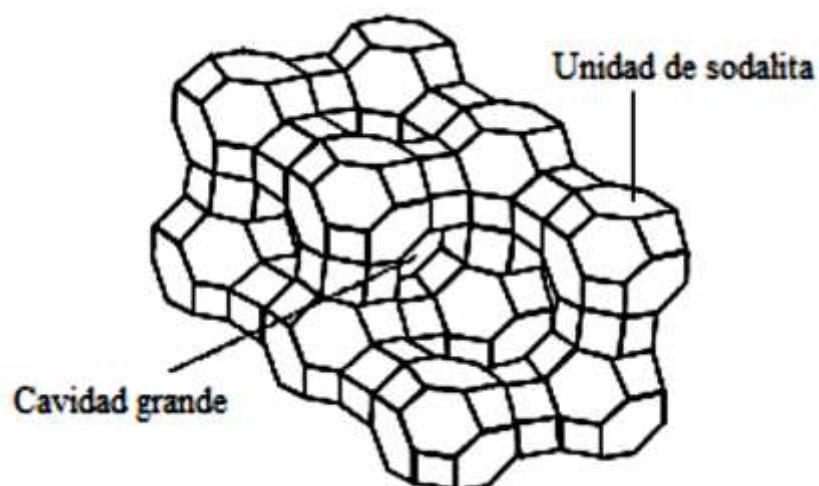


Fig. 2.6. Estructura de la Faujasita (FAU)

Cuando la relación Si/Al de una zeolita cambia también cambiará su contenido catiónico. Como ya se manifestó más arriba, cuando el contenido de aluminio es mayor la zeolita presenta una alta afinidad por el agua y otros compuestos polares (es decir, se manifiesta francamente hidrofílica) mientras que cuando el aluminio es menor en la estructura de la zeolita, esta se manifiesta como una estructura cristalina hidrofóbica, es decir manifiesta una predisposición al rechazo del agua y una afinidad por los compuestos apolares entre ellos los hidrocarburos. Así, por ejemplo, se ha demostrado que con cambios en la relación Si/Al es posible ajustar la polaridad de la zeolita LTA para optimizar sus propiedades de adsorción en procesos de separación CO₂/CH₄ para la recuperación de CH₄ de alta pureza a partir de gas natural.

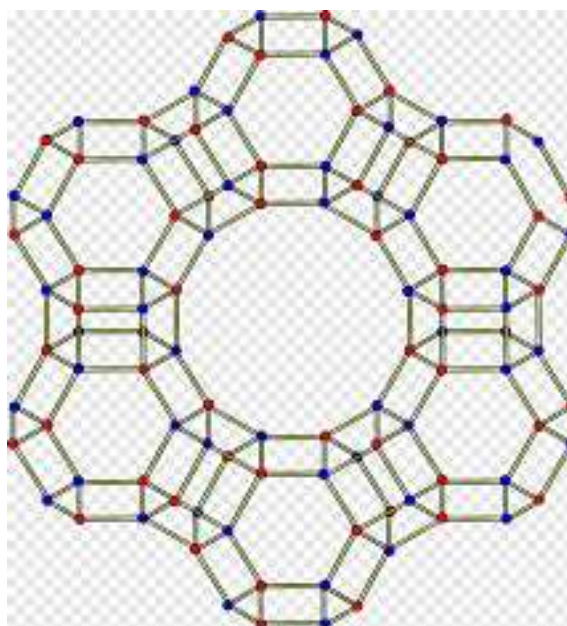


Fig. 2.7. Estructura de la faujasita. [3]

Capacidad de adsorción de las zeolitas.

Las zeolitas poseen una alta capacidad de adsorción gracias a la gran superficie específica conformada por los poros de diversos tamaños y los ductos que unen estos poros en el interior del cristal. Esta superficie es accesible a diferentes adsorbatos a través de los microporos. De manera que las zeolitas pueden actuar como tamices moleculares ya que el proceso de adsorción es selectivo al tamaño y forma del adsorbato.

Además, la composición química de la zeolita establece las características hidrofóbicas (la cual aumenta al aumentar la relación Si/Al) e hidrofílicas (que aumenta al disminuir la relación Si/Al o aumentar la presencia de defectos en forma de grupos SiOH). Si se controla la composición química de la zeolita se puede orientar a esta para emplearla en procesos de adsorción selectiva. Así, por ejemplo, las zeolitas que poseen un bajo contenido de sílice tienen una alta selectividad a la adsorción de moléculas hidrófilas. Las zeolitas con alto contenido de sílice poseen alta selectividad a la adsorción de moléculas hidrófobas.

De esta manera se comprueba que a medida que aumenta la relación Si/Al, el número de centros ácidos disminuyen, pero su fortaleza aumenta, y también disminuye la concentración de cationes y la capacidad de intercambio iónico, esto en función a la cantidad de aluminio que tiene la molécula. Las zeolitas son materiales cristalinos microporosos con elevada estabilidad física y química, esto y las otras propiedades descritas hacen que las zeolitas sean materiales adsorbentes por excelencia.

Adsorción:

La adsorción es un fenómeno de superficie, que se desarrolla en la interfase, donde las moléculas del adsorbato se adhieren a la superficie del adsorbente gracias a diversas fuerzas de atracción que entran en juego. La adsorción en el límite de la fase gaseosa y el sólido es el enriquecimiento de uno o más componentes en una capa interfacial. Esto se produce básicamente debido a la asimetría de las fuerzas que interviene en toda interfase, y por la falta de coordinación de los átomos superficiales que genera una descompensación de carga.

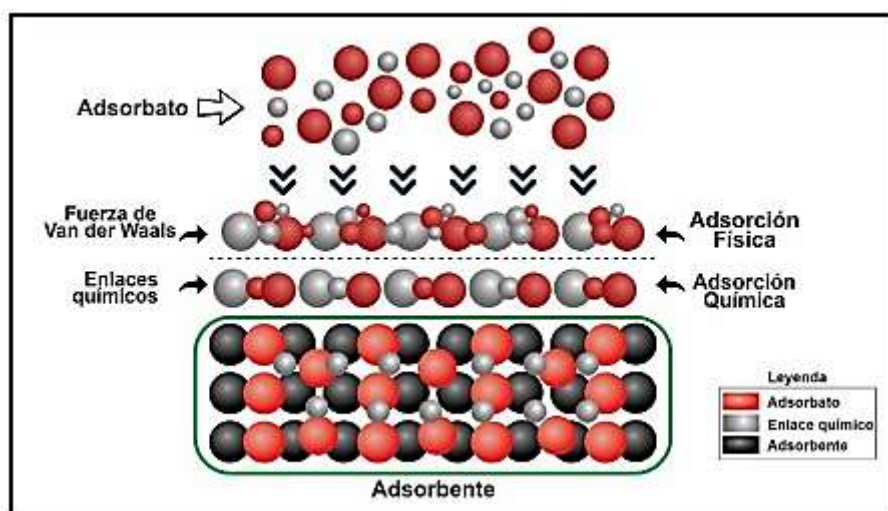


Fig. 2.8. Proceso de adsorción [5]

Generalmente, para un sistema en equilibrio, la adsorción es proporcional a la superficie del adsorbente, lo que origina un potencial de atracción perpendicular a la superficie del sólido, el cual es responsable de las propiedades de adsorción. La naturaleza de las fuerzas involucradas en el proceso de adsorción son las fuerzas de Van del Waals, las cuales son débiles y resultan de una adsorción física o fisisorción o los puentes de hidrógeno, o enlaces químicos (fuerzas de enlace). En la adsorción física tanto el adsorbente como la sustancia adsorbida conservan su composición química ya que el contacto es exclusivamente físico; mientras que en la adsorción química hay una reacción química y una transformación en el adsorbato. Se puede establecer otras diferencias entre ambos tipos de adsorción, estas son las siguientes:

- En la adsorción física las moléculas se adsorben formando capas sucesivas (multicapas), mientras que, en la adsorción química, y debido al enlace químico entre las dos fases se forma una sola capa.
- En la quimisorción hay cambio químico y debido a ello la energía de adsorción adquiere la energía de reacción que alcanza una energía entre 50 y 800 kJ/mol, esta reacción puede ser exotérmica o endotérmica.
- En la adsorción física la molécula adsorbida mantiene su estructura y composición química y se establece un equilibrio de adsorción reversible, su grado de especificidad es bajo.
- Cuando una molécula está inmersa en una adsorción química, reacciona perdiendo su composición química y modificando su estructura, por tanto, cuando se desorbe no se recupera.

La propiedad de modificar su composición y estructura se considera importante ya que ayuda a definir el equilibrio termodinámico de adsorción; en el caso que un fluido que este compuesto por adsorbato y este tiene contacto con algún sólido va a generar que dichas moléculas se absorban hasta que se iguale ambas fases. De esta forma se determina el equilibrio dinámico en donde las velocidades de desorción con la adsorción serán iguales.

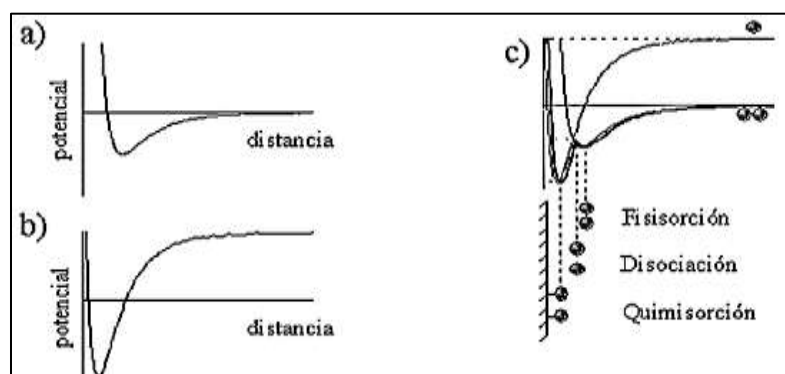


Fig. 2.9. Esquema de la evolución de la energía potencial de una molécula de gas acercándose a una superficie plana. a) Fisisorción, b) fisisorción de una molécula disociada, c) fisisorción seguida de adsorción química [3]

En la Figura 2.9 se esquematiza la variación de la energía de un sistema formado por una molécula acercándose a una superficie plana. Cuando está a una regular distancia no hay una interacción apreciable entre ambas, lo que quiere decir que la energía del sistema es próxima a la del sólido y la molécula aisladas. Conforme la molécula se acerca a la superficie, la energía del sistema disminuye progresivamente debido a que las fuerzas de cohesión de los átomos de la superficie empiezan a verse compensadas. Lo cual indica que se genera una fuerza atractiva provocado por el potencial de adsorción, el cual va acercar las moléculas a la superficie. Si la distancia que hay entre la molécula y una superficie es corta, las fuerzas de repulsión prevalecen haciendo que la energía del sistema aumente. Esto indica que hay una distancia en donde la energía del sistema será mínima, esta distancia recibe el nombre de adsorción física en donde en sistema se vuelve más complicado. Por otro lado, también se visualiza el proceso de variación de energía que se formo gracias a una molecula que se aproximo a la superficie, en la molecula adsorbida existe una transformación en donde se incluyen 2 curvas, la primera de ellas es análoga al caso de fisisorción y la segunda curva (figura 2.9a) y una segunda curva que representa la energía de la molécula una vez transformada, acercándose a la superficie (figura 2.9b). Cuando las distancias son lo suficientemente grandes, la molécula libre que aún no se transforma no interacciona con la superficie, y por lo tanto la energía del sistema es próxima a la del sólido y la molécula aisladas.

Cuando las fuerzas de atracción y de repulsión se igualan entonces la partícula queda adsorbida sobre la superficie del sólido. La distancia a la cual la fuerza de atracción y de repulsión se iguala entre la partícula y la superficie del sólido se denomina distancia de fisisorción.

En el caso de la adsorción química la distancia a la cual queda la partícula adsorbida es mucho menor, esto debido a que el potencial de atracción para la especie que es adsorbida químicamente es mayor que la adsorbida físicamente. De lo dicho se deduce que la adsorción física es una etapa previa y necesaria para que se produzca la adsorción química. En la adsorción química existe una mayor interacción con la superficie (hay una mayor atracción) lo que hace que la distancia de adsorción química sea mucho menor.



Fig2.10. Diferencia entre la fisisorción y la quimisorción [6]

Una de las propiedades inherentes a los sólidos es que estos sobre su superficie adsorben fluidos (líquido o gas) en mayor o menor cantidad, generalmente esta adsorción no se aprecia a menos que el adsorbente sea un cuerpo con elevada superficie de contacto en donde se deposite el gas o el líquido en cantidades apreciables. Ya que la superficie del sólido es el elemento de la adsorción que cumple un papel predominante es necesario conocer algunos criterios sobre el particular. Todo sólido tiene dos superficies: una interna y otra externa. La superficie externa es la delimita al sólido en el espacio y para que esta tenga una mayor capacidad de adsorción debe ser pulverizada para aumentar su superficie de contacto. La superficie externa de los sólidos es totalmente irregular con entradas y salientes, imperfecciones que aumentan considerablemente la superficie geométrica.

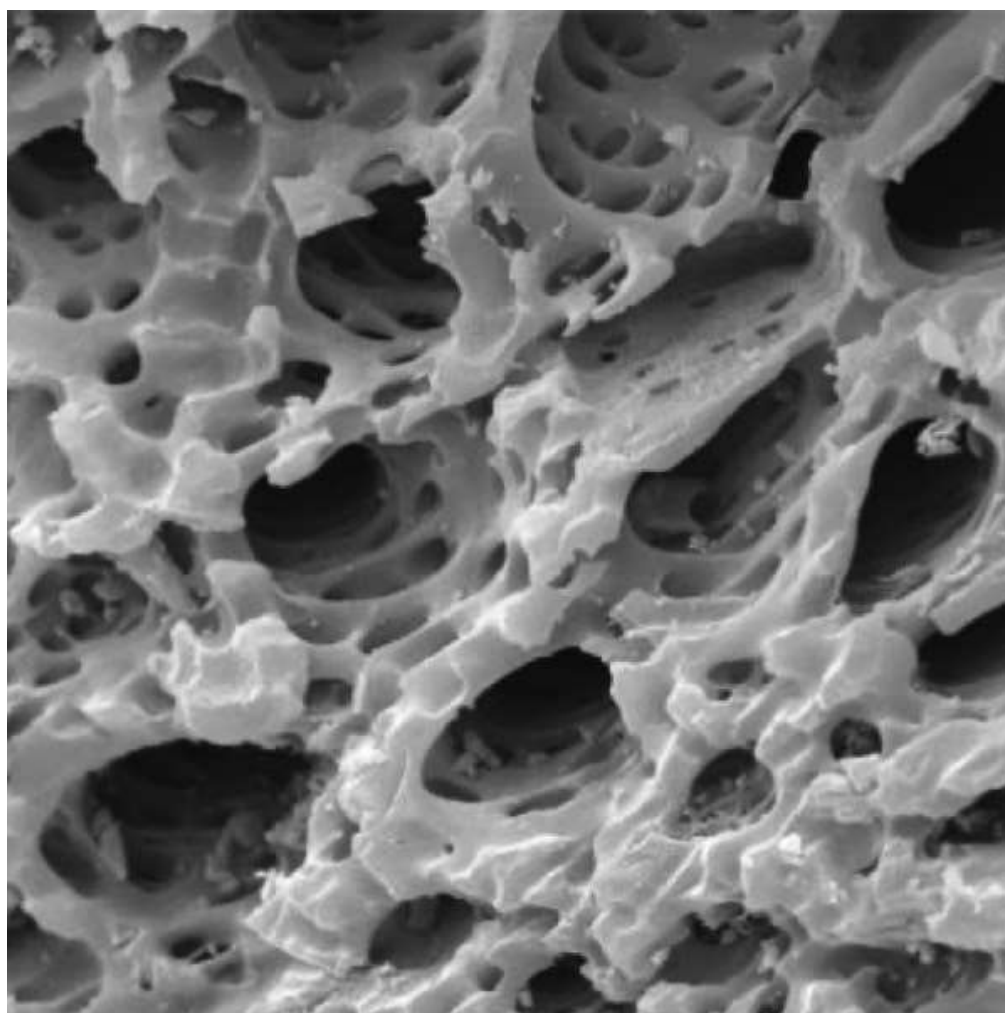


Fig.2.11. Microfoto de la porosidad de la zeolita [6]

Cuando nos referimos a la superficie interna de un determinado material, estamos hablando de los poros que existen en su interior y que poseen diversas medidas y están unidos mediante conductos de tal forma que esta superficie interna es mucho mayor que la externa. El tamaño de los poros y en particular su diámetro es muy variable, la IUPAC clasifica la porosidad

atendiendo al diámetro promedio de los poros. Estos poros según su tamaño se clasifican en macroporos, en estos el diámetro es mayor a 50 nm; si su diámetro está comprendido entre 50 y 2 nm se denominan mesoporos, y si son menores de 2 nm, como en el caso de los poros de las zeolitas, son microporos. A menudo es útil distinguir entre los microporos estrechos (también llamados ultramicroporos) de ancho aproximado $< 0,7$ nm y microporos anchos (también llamados supermicroporos). Microporos < 2 nm Mesoporos 2 - 50 nm Macroporos > 50 nm

El diámetro de los poros de una zeolita es importante, ya que para que su superficie pueda adsorber es preciso que las moléculas de adsorbato puedan pasar a su través. Así que uno de los factores que controla si las moléculas pueden o no ser adsorbidas en las cavidades de la zeolita, es el tamaño de la ventana o la apertura del poro hacia el interior del canal. De ahí la importancia del número de tetraedros que forman la ventana, esto es, el tamaño del anillo que conforma el poro. Las zeolitas se clasifican con relación al número de tetraedros que conforman su apertura de poro en: zeolitas de poro pequeño (anillos de 8 a 9), de poro medio (anillos de 10), de poro grande (anillos de 12) y de poro extragrande (anillos de más de 12). El área se expresa como área específica (asp), que es el área que tiene 1 g de sólido dado en m^2 . Los materiales adsorbentes generalmente alcanzan áreas específicas muy grandes (mayores de $1000 m^2/g$)

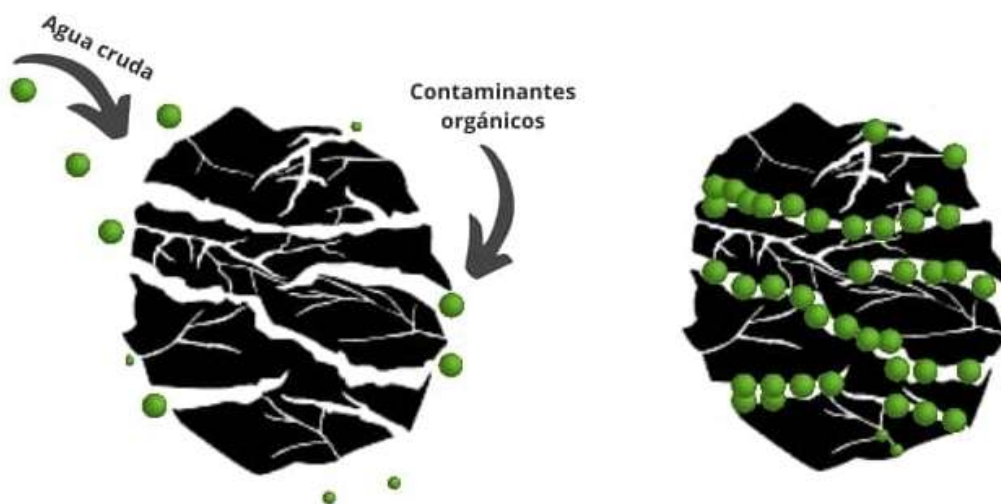


Fig. 2.12. Porosidad de un sólido adsorbente [4]

Deshidratación (Secado) de gases.

Las zeolitas presentan respecto a los adsorbentes clásicos (sílice y alúmina) una mejor capacidad de adsorción para el agua y compuestos polares con baja concentración en la fase gaseosa. Aunque la capacidad de adsorción disminuye con el aumento de la temperatura, en zeolitas tipo A y X esa capacidad está mucho menos afectada comparada con los adsorbentes clásicos, lo que permite un secado eficaz en intervalos de temperaturas entre 100 y $150^{\circ}C$, consiguiendo reducir el contenido en agua a 1 ppm para gases y 10 ppm para líquidos. Para la zeolita 3A con estructura LTA de relación $Si/Al = 1$ e intercambiada con K^{+} , sólo las moléculas de agua ($2,65 \text{ \AA}$) y

amoníaco (2,6 Å) pueden penetrar en sus poros, consiguiéndose así una adsorción selectiva del agua. Eso explica su alta utilización en el secado de gases, aunque su estabilidad térmica no es muy elevada. Algunas de las principales aplicaciones industriales de las zeolitas en procesos de secado son las siguientes:

- Secado de aire, hidrógeno, gas natural y gas licuado de petróleo (GLP) con zeolitas tipo X o 4A. Las zeolitas 3A se utilizan para secar gases polares como alcoholes, aminas, H₂S. Las zeolitas resistentes a los ácidos como la mordenita y la chabazita (con una alta relación Si/Al) se utilizan para el secado de gases ácidos como HCl, HNO₃, SO₂ y NO₂
- Secado de gas de craqueo, del etileno y propileno destinados a la polimerización, con zeolitas tipo 3A, aprovechando su propiedad de tamiz molecular. En general la regeneración de la zeolita en los procesos de secado se realiza con variación de temperatura.

2.2.1. Gas natural.

El gas natural crudo o de boca de pozo es un conjunto de hidrocarburos parafínicos de bajo peso molecular (C₁-C₇) que se encuentran en estado gaseosos bajo las condiciones de presión y temperatura del reservorio (yacimiento). Bajo esas condiciones puede estar acompañado de petróleo y recibe el nombre de “gas natural asociado” o puede estar libre de petróleo, en ese caso se le denomina “gas natural no asociado”.

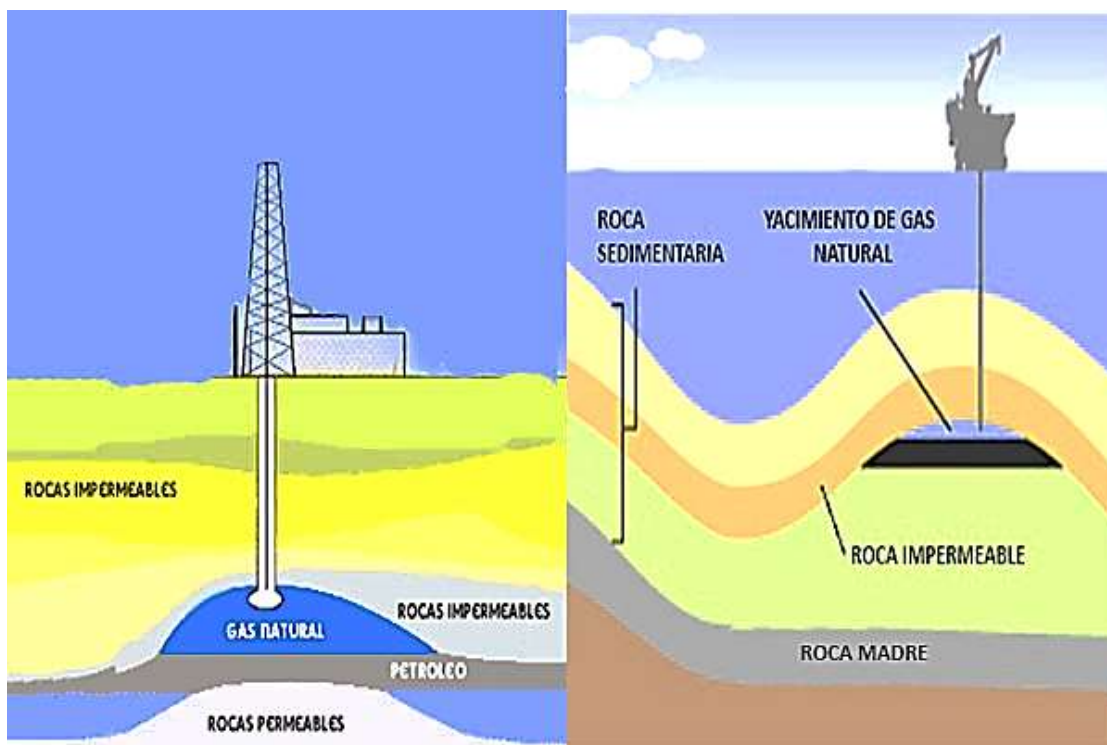


Fig. 2.13. Yacimientos de gas natural [6]

El gas natural extraído del subsuelo contiene en mayor proporción el metano seguido de etano, propano, butano, y pequeñas proporciones de pentano, hexano, heptano y en algunos casos octano, como regla general cuanto más alto es el peso molecular del hidrocarburo su proporción

en el gas natural es menor. Pero aparte de los componentes hidrocarburos el gas natural contiene otras sustancias gaseosas e incluso líquidas y sólidas que se les denomina impurezas, ya que su presencia es indeseable y perjudicial para los procesos industriales. Entre estos contaminantes están los llamados gases ácidos (dióxido de carbono y el sulfuro de hidrógeno, los cuales con el agua forman compuestos corrosivos) los mercaptanos, tioles, sales, azufre, agua y arena, debido a estas impurezas es necesario someter al gas natural a un proceso denominado acondicionamiento, que consta de varias etapas en las cuales se eliminan las impurezas. Las impurezas se eliminan en las plantas de tratamiento de gas, mediante el uso de solventes y absorbentes o mediante procedimientos físicos.

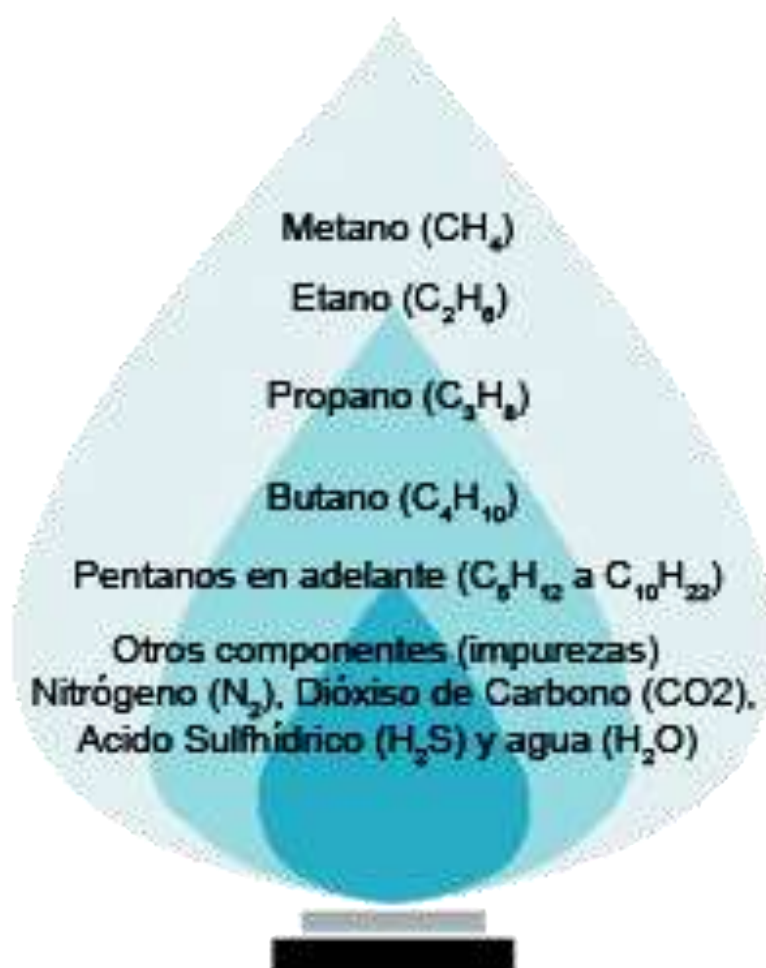


Fig. 2.14. Composición del gas natural de boca de pozo [6]

El gas natural no debe tener agua, esta es retirada en los separadores gravimétricos quedando en el gas una cantidad residual de esta en forma de vapor que también debe ser eliminado en un proceso de acondicionamiento que se denomina deshidratación empleando para ello absorbentes como los glicoles o adsorbentes como las zeolitas. El agua o el vapor de agua debe ser eliminado

ya que su presencia permite la formación de hidratos del gas natural que taponan los ductos o los equipos o reacciona con el dióxido de carbono formando ácido carbónico y con el sulfuro de hidrógeno formando el ácido sulfhídrico, ambos ácidos son altamente corrosivos en las condiciones de trabajo de las plantas, atacando incluso al acero inoxidable.

Cuando el gas natural ingresa a los gasoductos a altas presiones no debe contener agua líquida y el vapor de agua debe estar en mínimas concentraciones, tal como se especifica en la tabla que a continuación se muestra sobre la calidad del gas natural.

Una de las tecnologías empleadas en la deshidratación del gas natural es la adsorción, la cual puede emplear como adsorbente la zeolita, como es el caso de la presente investigación, pero además existen otros materiales usados para el mismo fin industrial como son los tamices moleculares.

Tabla 2.1
Especificaciones de calidad del gas natural

Propiedad	Especificación	Método de ensayo
Poder Calorífico Superior ⁽¹⁾	No menor a 36,14 MJ/m ³ (970 BTU/ft ³)	ASTM D 3588
Densidad relativa al aire ⁽¹⁾	No menos de 0,58 y no más de 0,69	ASTM D 3588
Volumen de Nitrógeno ⁽¹⁾	No más de 2% vol.	ASTM D 1945
Volumen de gases inertes incluyendo dióxido de carbono ⁽¹⁾	No más de 3,5% vol.	ASTM D 1945
Vapor de agua ⁽¹⁾	No más de 95 mg/m ³	ASTM D 1142
Sulfuro de Hidrogeno (H ₂ S) ⁽¹⁾	No más de 5 mg/m ³	ASTM D 4084-07 o a ser acordado entre partes
Sulfuro de Mercaptano	No más de 15 mg/m ³	ASTM D 4084-07 o a ser acordado entre partes
Azufre total ⁽¹⁾	No más de 50 mg/m ³	ASTM D 4468-85 o a ser acordado entre partes
Oxígeno ⁽¹⁾	No más de 0,2% vol.	ASTM D 1945
Dióxido de carbono ⁽¹⁾	No más de 2% vol.	ASTM D 1945
Punto de rocío	0°C a la presión manométrica de 45 kg/cm ²	ASTM D 1142

Fuente: [6]

Existen zeolitas de tipo A y X, en donde el de tipo X son las mas empleadas cuando se realiza el procesamiento del gas natural, su función es remover el vapor del agua del gas. Las zeolitas en los últimos años son materiales que se han comercializado bastante, sobre todo el de tipo A como la 4A, la 5A y la 13A a quienes también se le conocen como absorbentes del dióxido de carbono.

2.3. Marco conceptual.

GAS NATURAL: Es aquella mezcla conformada por hidrocarburos, los cuales son gaseosos y se forman en las áreas subterráneas. Este gas tiene como principal componente el metano en un 80% y en pocos porcentajes el etano, butano y de propano. En el caso del transporte se utilizan barcos gasistas, en donde el gas se transporta licuado y a una temperatura menor a -160°C .

BOCA DE POZO: Se realiza con la finalidad de extraer hidrocarburos, este se conecta con las instalaciones de producción y se utiliza particularmente en equipos que se emplean para medir el fluido.

ACIDO SULFHÍDRICO H_2S : Este tipo de gas se encuentra en el gas natural, el cual se considera contaminante ya que presenta impurezas y se debe de eliminarse antes de que sea inyectado en las tuberías; este ácido suele reaccionar con la humedad en donde se formara el ácido sulfúrico y va a incrementar la acción corrosiva de las tuberías hechas de acero.

BIÓXIDO DE CARBONO CO_2 : Este tipo de gas lo encontramos en el gas natural, en el caso de que existe agua se formara el ácido carbónico el cual genera corrosión en las tuberías. Este tipo de gas al reaccionar con el O_2 o con el H_2SO_4 aumentara la acción corrosión y por la dilución volumétrica se va a reducir el poder calorífico.

GASES ÁCIDOS: Dicho ácido al disolverse con el agua va a generar una solución ácida, como por ejemplo el HSO_4 .

GAS NATURAL COMPRIMIDO: Se le conoce también como GNC, en donde los gases que lo conforman son simples, este tipo de gas se emplea en los autos ya que son económicos y ayudan a mantener el ambiente limpio.

GAS NATURAL LICUADO (GNL): El gas natural tiene una temperatura menor a 126°C cuando está en condiciones de T° normales y en estado líquido tiene un volumen de 1/600.

2.4. Estrategia metodológica.

La presente investigación es de tipo aplicada ya que busca que emplear la zeolita de los yacimientos de Ocucaje aún no explotados y existe la necesidad de su uso en la industria del gas natural, para su deshidratación. Por su nivel, la investigación es explicativa, ya que busca que explicar y relacionar ambas variables de estudio y por su diseño es experimental ya que se manipula variable independiente: Aplicación de la zeolita de Ocucaje. La población de estudio está compuesta por los yacimientos de zeolita que están dispersos en la región Ica, mientras que la muestra está representada por una muestra de 50 kilos de zeolita extraída de uno de los yacimientos localizados en Ocucaje. Esta muestra permitirá llevar a cabo los ensayos correspondientes para caracterizar la zeolita, determinar su composición química, determinar sus propiedades físicas y hacer los ensayos correspondientes para verificar su capacidad de adsorción variando la concentración del vapor de agua presente en el gas. De esta manera se

determinará la capacidad de adsorción y la velocidad de flujo, con lo cual se tomarán los datos para luego procesarlos.

Las técnicas por emplearse son las analíticas y los instrumentos los ensayos de laboratorio. Los datos obtenidos fueron seleccionados, interpretados y discutidos de acuerdo con datos obtenidos por otros investigadores.

2.5. Procedimiento experimental.

Métodos para determinar la composición química de la zeolita.

Sílice.

PROCEDIMIENTO.

1. 1,0 g de muestra pesada en crisol de níquel se mezcla con 10 g de la mezcla fundente $\text{Na}_2\text{O}_2 - \text{NaOH}$ y luego se cubre la mezcla con una delgada capa del fundente.
2. Llevar al horno de mufla a 700°C durante 5 minutos para su fusión.
3. Una vez fundida la muestra se echa en un molde de hierro.
4. El crisol de níquel empleado en la fusión se lava con agua caliente o con ácido clorhídrico diluido, para eliminar las partículas de la fusión.
5. La muestra fundida se vierte a un vaso de precipitados para disolverla en agua. Cuando todo se ha disuelto, se agrega HCl hasta que la solución se vuelva transparente.
6. Se evapora el líquido en una plancha y se deja durante 15 minutos para que el hierro presente en la muestra se oxide.
7. Se enfría la muestra y se agrega 5 mL de ácido clorhídrico y 30 mL de agua caliente y se disuelven las sales solubles.
8. Se filtra en caliente en papel filtro N° 40, lavando bien el vaso de precipitados y se recibe el filtrado en un vaso de precipitados de 400 mL, lavar el precipitado 2 veces con HCl (1:1) y varias veces con agua caliente. RESERVAR EL FILTRADO.
9. El papel filtro con el precipitado se pone en un crisol de arcilla y se seca en la plancha. Luego se lleva a la mufla a 1500°C por 1 ó 2 horas.
10. Se deja enfriar y se pesa el residuo de la calcinación (sílice).
11. Realizar el ensayo en blanco y calcular el porcentaje de óxido de sílice:

$$\% \text{SiO}_2 = \frac{\text{Peso residuo calcinado} \times 100}{\text{Peso de muestra}}$$

El filtrado reservado anteriormente se coloca en una fiola de 200 mL y enrasar hasta la marca de aforo y homogenizar. Se toman 100 mL para Fe, Ca y Mg los otros 100 mL para determinar el aluminio.

Hierro.

PROCEDIMIENTO.

1. A 100 mL de solución anterior se agrega 3 g de cloruro de amonio y 30 mL de hidróxido de amonio y se hierve por 10 minutos.
2. Filtrar en caliente con papel filtro N°4 y el filtrado se recibe en un vaso de precipitados de 600 mL. El precipitado se lava 5 veces con agua caliente. RESERVAR EL FILTRADO PARA EL ENSAYO DE Ca y Mg.
3. El precipitado de Fe en un vaso de precipitados se lava y luego se diluye totalmente con ácido clorhídrico.
4. Hervir con cloruro estañoso gota a gota para reducir todo el Fe, cuando la solución se vuelve clara se agrega un exceso de cloruro de estaño.
5. Con agua fría se diluye hasta los 200 mL, se enfría y se agrega 15 mL de solución fosfo-sulfúrica, 10 mL de solución de cloruro mercurico y 3 gotas de digenilamina como indicador.
6. Titular con bicromato de potasio. Hacer los cálculos para Fe₂O₃.

$$\% \text{Fe}_2\text{O}_3 = \% \text{Fe} \times 1.4298$$

Oxido de calcio.

PROCEDIMIENTO.

1. El filtrado reservado se hierve por 10 minutos con una solución (25 mL) de oxalato de amonio al 5% se deja que el precipitado sedimente.
2. Filtrar en caliente con papel filtro N° 5 el filtrado se recibe en vaso de 600 mL y el precipitado se lava con agua caliente varias veces. RESERVAR EL FILTRADO PARA LA DETERMINACION DE MAGNESIO
3. En un vaso de precipitados de 400 mL se pone el precipitado y se vierte en el 200 mL de agua caliente y 20 mL de H₂SO₄ diluido (1:1) y se ebulle por cinco minutos.
4. Titular en caliente con KMnO₄ (1mL = 0.005 g de CaO). Descontar el valor de la prueba en blanco.
5. Calcular el % de CaO

$$\% \text{CaO} = \frac{\text{mL de KMnO}_4 \text{ gastados} \times 0.005 \times 100}{\text{Peso de muestra}}$$

Magnesio

PROCEDIMIENTO

1. Se hierve la solución de calcio por un tiempo de 10 minutos hasta que se elimine el exceso de amonio y posteriormente se pone a enfriar.
2. Añadir fenoltaleína (2 gotas), 25 ml de fosfato amónico sódico que este al 10% y 30 ml de hidróxido de amonio, todo hasta que se vuelva color rojo manteniendo la agitación con una varilla para que precipite rápidamente y dejar que repose toda la noche.

3. Para el filtrado, pasarlo por un papel filtro N°4 para luego lavarlo con una solución diluido en NH_4OH y posterior lo filtrado se coloca en un vaso de 600 mL.
4. Colocar el precipitado junto con el papel filtro para luego secarlo en a plancha y calcinarlo a una temperatura de 1000°C en la mufla por un tiempo de 3 horas, luego se pone enfriar y se pesa el residuo como $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$.
5. Hacer los cálculos para reportar como oxido de magnesio MgO
 $(\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7 \times 0,36207 = \text{MgO})$
 Si se reporta como Mg será: $(\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7 \times 0,21839 = \text{Mg})$

Óxidos de sodio y potasio

PROCEDIMIENTO:

Preparación de la muestra.

- 1 g de muestra se echa en un vaso de precipitados de 150 mL con 20 mL de agua desionizada y se agita hasta disolución, luego se agrega 5 mL de ácido clorhídrico concentrado, seguidamente se diluye a 50 mL con agua destilada.
- Si hay terrones de zeolita se rompen con una varilla.
- Calentar por 15 minutos. Luego se enfría y filtra con papel filtro N°40.
- Lavar el papel tres veces con agua caliente y completar el volumen en una fiola de 100 mL.
- Realizar las diluciones necesarias y leer en el equipo de absorción atómica.

Cálculos:

$$C = \frac{r \times df \times 100}{m}$$

Dónde:

C = concentración.

r = respuesta del equipo.

df = factor de dilución.

m = peso de la muestra.

Resistencia química y mecánica de las zeolitas utilizadas.

Resistencia mecánica.

Para determinar la resistencia mecánica se realizaron los siguientes ensayos:

- a) Dureza: Se determina por abrasión en el lavado. En un vaso de precipitado se pone 200 g de zeolita con 300 mL de agua, se adapta el agitador de eje flexible girando 350 rpm durante 20 minutos para luego dejarlo reposar en un tiempo de 60 hrs y calcular cual es el % de zeolita que se ha pulverizado.
- b) Friabilidad: Este ensayo de determina con la tritución en un molino agregando 50 gramos de zeolita, el cual gira a una velocidad de 25 r.p.m con 18 bolas de acero de

diámetro 12 mm. Las pruebas se hacen primero durante 15 minutos y después por 30 minutos.

c) Tracción y Trituración.

Este ensayo desde el punto de vista mecánico se utiliza para la caracterización del zeolito. Dicho ensayo se realiza colocando 100 gramos del material de fracción (-1+0.5) junto con agua destilada (150ml), el cual se colocará en un equipo vibratorio (120 vibraciones en 24 horas), posterior se seca y se tamiza con tamices de 0.5 y de 0.25 mm. Al finalizar se pesa el rechazo y el tamizaje. Para calcular el % de tracción se empleará de la siguiente forma:

$$\% \text{Tracción} = (m_2/m) \times 100$$

$$\% \text{Trituración} = (m_1/m) \times 100$$

Resistencia química

a) Ensayo de resistencia al ácido.

El ensayo en mención, se utiliza para evaluar cuanto de pérdida existe del peso real al entrar en contacto con el HCL en un 38% por el tiempo de 24 horas. Para realizar una prueba se colocará en un vaso precipitado la cantidad de 20 g. de zeolita y 50 gramos de HCL se vertirá para realizar el análisis, luego se procede agitar y finalmente se deja reposar durante 24 horas. Una vez pasado las 24 horas, se filtra, se enjuaga y se seca para pesarlo otra vez y el resultado se colocará en porcentaje.

b) Ensayo de resistencia en diferentes medios.

Este ensayo tiene como finalidad evaluar el aporte de sílice, oxidabilidad y residuo en seco de 100 gramos del zeolítico, el cual estuvo en contacto con 500 ml de HCL (0.013 mol/l) y de NaCl (0.005 mol/l) por un tiempo de 24 horas. Luego se procede a enjuagar con un poco de agua destilada, posterior se secará y se pesará; con el fin de calcular la cantidad de pérdida.

Caracterización del material granular.

a) Distribución granulométrica.

En dicha distribución se empleó una técnica conocida como tamizado, en donde se empleará tamices normalizados, de acuerdo a la norma DIN 4188. Se empleo malla Tyler #: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 y 100. Para seleccionar cada fracción granulométrica se procedió de la siguiente manera: Por ejemplo, para seleccionar el material con granulometría 2 mm, se colocó bajo la malla #10 (2 mm) la malla # 12 (1,680 mm), todo el material que queda retenido sobre la malla 12 corresponde a la Fracción 2,0 mm (malla # 10)

b) Determinación de la densidad de partículas

Para esta determinación se empleó el método llamado psicométrico, el cual fue propuesto por DANA. Este método se comienza al pesar el picnómetro estando vacío (P1), luego se introduce la zeolita y se vuelve a pesar (M). Por otro lado, el picnómetro se va a llenar con agua destilada y se procesa a calentar con la finalidad alguna burbuja de aire que existe dentro y se volverá a pesar (S), se tiene en cuenta que el agua destilada no debe estar al ras del picnómetro. Luego se basea el líquido del picnómetro y se vuelve a llenar con agua destilada, esta sería la última pesada (W). La densidad se calcula de la siguiente manera:

$$G = (M - P) / (W + M - P - S), \text{ g/mL}$$

- c) Determinación de la densidad aparente.

En el caso de la densidad este se mide con el volumen del material colocándolo en una probeta de 100 ml y se toma la cantidad de 50ml.

- d) Porosidad.

Para determinar la porosidad de la zeolita se procede a responder a la forma habitual de definirla:

$$\varepsilon = (\rho_p - \rho_a) / \rho_p$$

Dónde:

ρ_p : densidad de partícula. (g/mL)

ρ_a : densidad aparente(g/mL)

ε : porosidad.

Activación de la zeolita

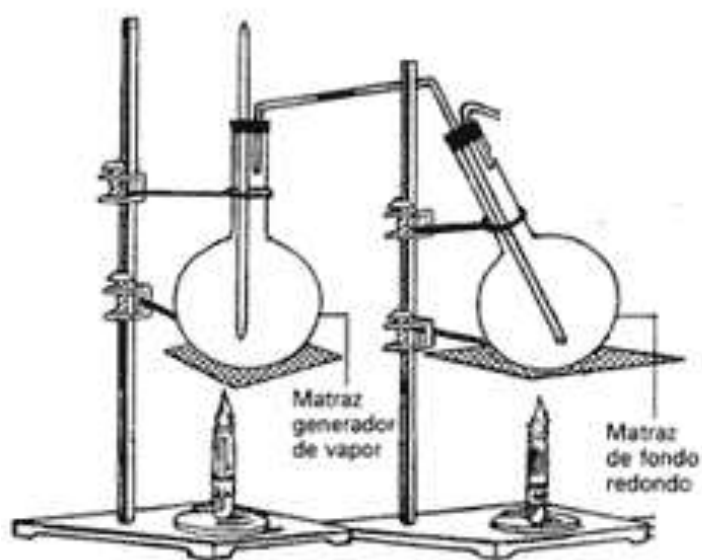
La activación de la zeolita se lleva a cabo en un horno de secado a temperatura que va desde 200 a 300°C, la zeolita se coloca en bandejas con una altura de la cama de 2 cm como máximo a fin de eliminar el agua con mayor rapidez y eficiencia. Durante 2 horas. Para realizar la activación previamente la zeolita debe de molerse y tamizarse a la correspondiente granulometría.

Capacidad adsorbente de zeolita activada con agua.

- Añadir 600 gramos de agua en 3 vasos de precipitación, en donde se colocará como nombre A, B y C.
- Se le agrega a los vasos 20, 30 y 40 gramos de zeolita (en ese orden).
- Se agita los vasos para que se mezcle la zeolita con el agua por un tiempo de 15 minutos.
- Después de mezclar se deja descansar por 20 mnts y luego empleando una malla de 80 mesh se realiza la separación de fase líquida.
- Finalmente se procede a registrar el peso que se obtiene del agua, al igual que el peso que se empleó para la absorción con el peso de la muestra. Dicho procedimiento se realizará 3 veces.

Capacidad adsorbente de zeolita con vapor de agua.

- En un equipo como el que se muestra abajo, se echa zeolita activada de granulometría adecuada hasta llenar las tres cuartas partes del segundo matraz (de la derecha) de tal forma que el material se distribuya uniformemente dentro del recipiente, pero sin compactarse. La zeolita activada previamente se pesa con mucha precisión en una balanza tecnoquímica, se trabaja con un matraz de 1 000 mL y con pesos de zeolita de 500 g, 600 g, 700 g, 800 g, 900 g y 1000 g
- En el matraz de la izquierda se vierte agua destilada al mismo nivel y se inicia su calentamiento hasta una temperatura de 80 a 90°C, temperatura suficiente para que se genere una cantidad moderada de vapor de agua. El matraz debe estar provisto de un termómetro.
- El matraz que contiene la zeolita se calienta hasta una temperatura de 80°C antes de hacer ingresar el vapor, esto evitará la condensación del agua, lo que perjudicaría el proceso.
- El ingreso de vapor no se corta hasta que no se vea salir vapor por el tubo de salida del equipo.
- El tiempo promedio de ensayo se programa para 10, 20, 30 y 40 minutos. Terminado cada ensayo se procede a descargar la zeolita y pesarla. Los ensayos se deben de realizar por triplicado.



Fi.2.15. Esquema del equipo para pruebas de adsorción con zeolita. [4]



Fig.2.16. Equipo de laboratorio empleado en la adsorción de vapor de agua.[4]

III. RESULTADOS

3.1. Resultados del análisis de la zeolita

Tabla 3.1

Composición química de la zeolita natural

Componente	% en peso
SiO ₂	65,23
Al ₂ O ₃	11,41
Fe ₂ O ₃	2,16
CaO	3,09
MgO	0,74
Na ₂ O	1,19
K ₂ O	1,25
SiO ₂ / Al ₂ O ₃	5,71

FUENTE: Datos experimentales.

La tabla 3.1. muestra los resultados del análisis químico de la zeolita natural empleada en la deshidratación del gas natural. Como vemos por los resultados la zeolita pertenece a la clinoptilolita, el cual se debe por tener un 64,67% de SiO₂ y 11,58% de Al₂O₃, por ende, la relación sería de SiO₂/Al₂O₃ (5,71%), el cual está dentro del grupo de los clinoptilolita.

Tabla 3.2
Propiedades físicas de la zeolita

Propiedad	Magnitud
Dureza, %	2,2
Friabilidad para 15 min, %	12
Friabilidad para 30 min, %	23
Tracción, %	1,7
Trituración, %	3,1
Densidad de partículas	2,3
Densidad Aparente	1,05
Porosidad	0,54

FUENTE: Datos experimentales.

La tabla 3.2 indica que de acuerdo a las propiedades físicas se obtiene que la dureza de la zeolita tiene un valor de 2,2%, mientras que tracción es de 1.7%, por otro lado, el valor de trituración fue de 3,1%, en el caso de la densidad de partículas el valor es de 2,3 g/ml y la porosidad con 0,54.

Tabla 3.3

Resistencia de la zeolita a los compuestos químicos

Sustancia	Pérdida de material, %
Ácido clorhídrico en Solución	1,7
Cloruro de sodio en solución	1,5
Hidróxido de sodio en solución	2,3
Agua	3,1
HCl concentrado	3,9

FUENTE: Datos experimentales.

En la tabla 3.3 se visualiza la resistencia que tiene la zeolita ante los compuestos químicos, en donde la zeolita perderá 1,7% al tener contacto con el ácido clorhídrico en solución, en el caso del cloruro de sodio la pérdida será de 1,5%, con el contacto del hidróxido de sodio la pérdida será de 2,3%, la zeolita al tener contacto con el agua perdería 3,1% y con el HCl perderá el 3,9% el cual sería una de las pérdidas de porcentaje más alta.

Tabla 3.4
Granulometría de las fracciones
de zeolita según la malla Tyler

Malla #	Apertura de la malla, mm
10	2,000
20	0,841
30	0,595
40	0,400
50	0,297
60	0,250
70	0,210
80	0,177
100	0,149

FUENTE: [6]

La tabla 3.4 muestra la apertura de malla en milímetros para cada uno de los tamices usados. De cada una de las fracciones se obtuvieron las cantidades requeridas para los ensayos de adsorción, teniendo en cuenta que las pruebas se realizaron por triplicado.

Tabla 3.5
Temperatura de activación de la zeolita

Temperatura, °C	Porcentaje de humedad, %
200	8,2
220	7,9
240	7,4
260	6,6
280	5,4
300	4,5
320	4,5
340	4,5

FUENTE: Datos experimentales.

La tabla 3.5 muestra los resultados de la activación térmica de la zeolita natural, como se observa los datos reportados por el laboratorio indican que a mayor temperatura menor humedad en el material tratado, la temperatura de 300°C permite eliminar el agua incluida en los poros de la zeolita hasta alcanzar la humedad de equilibrio, es decir, la humedad que ya no se puede eliminar del material sometido a calentamiento.

Tabla 3.6
Resultado de la capacidad adsorbente
de la zeolita con agua líquida

Condición	A	B	C
Peso del vaso de precipitados, g	305	314	309
Peso del agua, g	500	500	500
Peso del vaso más el agua, g	805	814	809
pH inicial	7,5	7,5	7,4
Peso de la zeolita, g	20	30	40
Peso del agua filtrada, g	463	449	440
Peso del agua adsorbida, g	37	51	60
Porcentaje de adsorción, %	7,4	10,2	12
pH final	7,8	8,2	8,5

FUENTE: Datos experimentales.

Se visualiza en la tabla 3.6 la cantidad de absorción que tiene la zeolita al utilizar agua líquida, en donde con 20 gramos de zeolita va a existir una absorción del 7,4%, con 30 gramos la absorción será del 10,2%. Por otro lado, se observa que cuando más aumenta la zeolita mayor ser el pH, en donde el pH máximo es de 8,5% empleando 40 gramos de zeolita.

3.2. Resultados de los ensayos de adsorción en zeolita

Tabla 3.7

Adsorción del vapor en 500 g de zeolita activada

Condición	A	B	C
Peso del balón de 1 000 mL, g	1 637	1 637	1 637
Peso de la zeolita activada, g	500	500	500
Peso del balón + zeolita, g	2 135	2 135	2 135
Peso del balón + zeolita + vapor adsorbido, g	2 293	2 298	2 282
Peso de la zeolita + vapor adsorbido, g	656	661	645
Peso del vapor adsorbido, g	156	161	145
Porcentaje de adsorción, %	15,6	16,1	14,5
Porcentaje promedio, %			15,4

FUENTE: Datos experimentales.

Tiempo de inyección de vapor: 30 minutos

Se visualiza en la tabla 3.7 la capacidad de absorción que tiene la zeolita al utilizar vapor de agua, como se puede ver el porcentaje de adsorción de vapor es en promedio 15,4% cuando la cantidad de zeolita empleada es de 500 g.

Tabla 3.8
Adsorción del vapor en 600 g de zeolita activada

Condición	A	B	C
Peso del balón de 1 000 mL, g	1 637	1 637	1 637
Peso de la zeolita activada, g	600	600	600
Peso del balón + zeolita, g	2 237	2 237	2 237
Peso del balón + zeolita + vapor adsorbido, g	2 395	2 397	2 396
Peso de la zeolita + vapor adsorbido, g	758	760	759
Peso del vapor adsorbido, g	158	160	159
Porcentaje de adsorción, %	15,8	16,0	15,9
Porcentaje promedio, %			15,4

FUENTE: Datos experimentales.

Tiempo de inyección de vapor: 30 minutos

La tabla 3.8 indica cuanta capacidad absorbente tiene la zeolita cuando se utiliza el vapor de agua, como se puede ver el porcentaje de adsorción de vapor es en promedio 15,9% cuando la cantidad de zeolita empleada es de 600 g.

Tabla 3.9
Adsorción del vapor en 700 g de zeolita activada

Condición	A	B	C
Peso del balón de 1 000 mL, g	1 637	1 637	1 637
Peso de la zeolita activada, g	700	700	700
Peso del balón + zeolita, g	2 337	2 337	2 337
Peso del balón + zeolita + vapor adsorbido, g	2 499	2 498	2 500
Peso de la zeolita + vapor adsorbido, g	862	861	863
Peso del vapor adsorbido, g	162	161	163
Porcentaje de adsorción, %	16,2	16,1	16,3
Porcentaje promedio, %			16,2

FUENTE: Datos experimentales.

Tiempo de inyección de vapor: 30 minutos

La tabla 3.9 indica cuanta capacidad absorbente tiene la zeolita cuando se utiliza el vapor de agua, como se puede ver el porcentaje de adsorción de vapor es en promedio 16,2% cuando la cantidad de zeolita empleada es de 700 g.

Tabla 3.10
Adsorción del vapor en 800 g de zeolita activada

Condición	A	B	C
Peso del balón de 1 000 mL, g	1 637	1 637	1 637
Peso de la zeolita activada, g	800	800	800
Peso del balón + zeolita, g	2 437	2 437	2 437
Peso del balón + zeolita + vapor adsorbido, g	2 595	2 596	2 598
Peso de la zeolita + vapor adsorbido, g	958	959	961
Peso del vapor adsorbido, g	158	159	161
Porcentaje de adsorción, %	15,8	15,9	16,1
Porcentaje promedio, %			15,9

FUENTE: Datos experimentales.

Tiempo de inyección de vapor: 30 minutos

La tabla 3.10 indica cuanta capacidad absorbente tiene la zeolita cuando se utiliza el vapor de agua, como se puede ver el porcentaje de adsorción de vapor es en promedio 15,9% cuando la cantidad de zeolita empleada es de 800 g.

Tabla 3.11
Adsorción del vapor en 900 g de zeolita activada

Condición	A	B	C
Peso del balón de 1 000 mL, g	1 637	1 637	1 637
Peso de la zeolita activada, g	900	900	900
Peso del balón + zeolita, g	2 537	2 537	2 537
Peso del balón + zeolita + vapor adsorbido, g	2 699	2 698	2 698
Peso de la zeolita + vapor adsorbido, g	1 062	1 061	1 061
Peso del vapor adsorbido, g	162	161	161
Porcentaje de adsorción, %	16,2	16,1	16,1
Porcentaje promedio, %			16,1

FUENTE: Datos experimentales.

Tiempo de inyección de vapor: 30 minutos

La tabla 3.11 indica cuanta capacidad absorbente tiene la zeolita cuando se utiliza el vapor de agua, como se puede ver el porcentaje de adsorción de vapor es en promedio 16,1% cuando la cantidad de zeolita empleada es de 900 g.

IV. DISCUSIÓN

La zeolita natural usada en la parte experimental de la tesis ha tenido un tratamiento sencillo para activarla, a altas temperaturas (300°C) para eliminar el agua ocluida en sus poros y aumentar su capacidad de adsorción. Al término de las dos horas de tratamiento térmico en la zeolita quedó un 4,5% de humedad, la cual se considera como la humedad de equilibrio, es decir una cantidad mínima de agua que no puede ser expulsada del material. En las pruebas experimentales realizadas a condiciones controladas, se empleó agua destilada para producir el vapor, el cual ingresa en el balón que contiene la zeolita cuando este se ha calentado hasta los 70°C para evitar la condensación del vapor en el balón y por otro lado para evitar la evaporación del agua de manera rápida; esto permitió hacer las mediciones gravimétricas con un alto grado de precisión.

Se ha comprobado que la zeolita natural tiene una alta capacidad para adsorber vapor de agua lo cual se ha demostrado en pruebas experimentales en las que se ha reportado una captación del 16,0%, lo cual se considera muy alta y que en el caso de emplear el gas natural hidratado que como máximo contiene un 2% de vapor de agua, su adsorción sería total. Las limitaciones del laboratorio para trabajar con gases son muchas y no se cuenta con los equipos necesarios, por lo que nos hemos vistos en la necesidad de modificar ciertos procedimientos para lograr los objetivos.

En los ensayos se ha empleado el mismo balón para hacer las diferentes pruebas de tal forma que se han suprimido los errores de pesada y las cantidades de zeolita utilizadas también han contribuido con ello, cuanto mayor es el peso los errores se minimizan, debido a ello se usaron 500, 600, 700, 800 y 900 g.

V. CONCLUSIONES

1. La zeolita natural de Ocucaje se ha demostrado experimentalmente que se puede emplear en la deshidratación del gas natural, convenientemente activada a temperatura 300°C y pulverizada a malla # 70.
2. La zeolita natural de Ocucaje posee una humedad de 11%, que corresponde al agua ocluida en los poros de este material, la cual disminuye su capacidad de adsorción por lo que es necesario activarla térmicamente.
3. La zeolita natural de Ocucaje en su composición química contiene un gran porcentaje de óxido de silicio (65,23%) y un bajo porcentaje de óxido de aluminio (11,41%), contiene además trióxido de hierro en un 2,16% y óxido de calcio en un porcentaje de 3,09%

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda implementar una planta para el tratamiento de zeolitas y su activación y modificación estructural para hacerla más eficiente como adsorbente a fin de darle el valor que debe tener este mineral de múltiples aplicaciones industriales y que en Ica, específicamente en Ocucaje no se tiene un conocimiento cabal de sus bondades.
2. Se recomienda hacer ensayos con cantidades mayores de zeolitas a fin de comprobar su capacidad adsorbente, con muestras de gas natural, en un laboratorio equipado para tal fin.
3. Así mismo en el laboratorio de la Facultad se debe de implementar un laboratorio para análisis de gases y ensayos de interés que permitan mejorar la formación académica teórica -práctica de los estudiantes de ingeniería Química.

VII. FUENTES DE INFORMACIÓN.

- [1] B. De la Cruz, Estudio de la Deshidratación de Alcoholes por Métodos de Adsorción Utilizando Tamices Moleculares, Tesis, Cuba, Universidad Central “Marta Abreu” De Villa, 2015.
- [2] J. Mendoza, Estudio de la formación de la zeolita empleada en la purificación del biogás, mediante técnicas Electroquímicas, Tesis, México, Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, (CONACYT), 2021
- [3] B. vizcaíno, Identificación y caracterización de la zeolita natural tipo clinoptilolita, Tesis, España, Universidad Autónoma De Nuevo León. 2008.
- [4] J. Ordoño y A. Mendoza, Remoción del cobre Cu (II) y arsénico (V) de aguas residuales de mina, por adsorción con zeolita natural en proceso Batch, Tesis, Perú, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, 2020.

ANEXOS

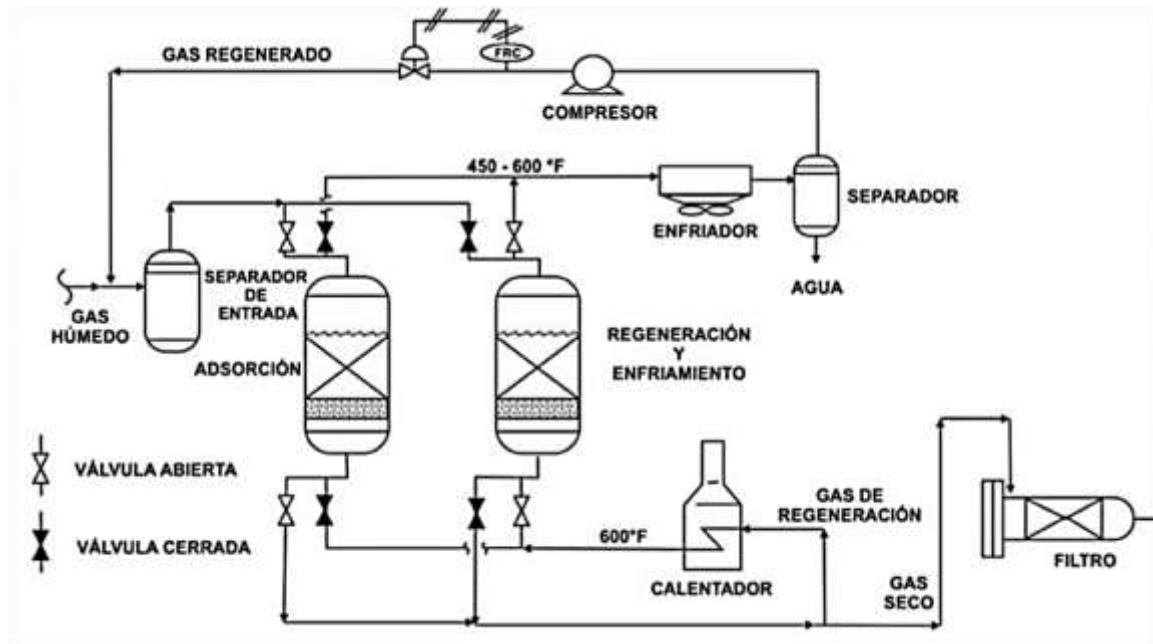


Fig. A.1. Esquema de una planta de deshidratación por adsorción [6].



Fig. A.2. Zeolita pulverizada [6]

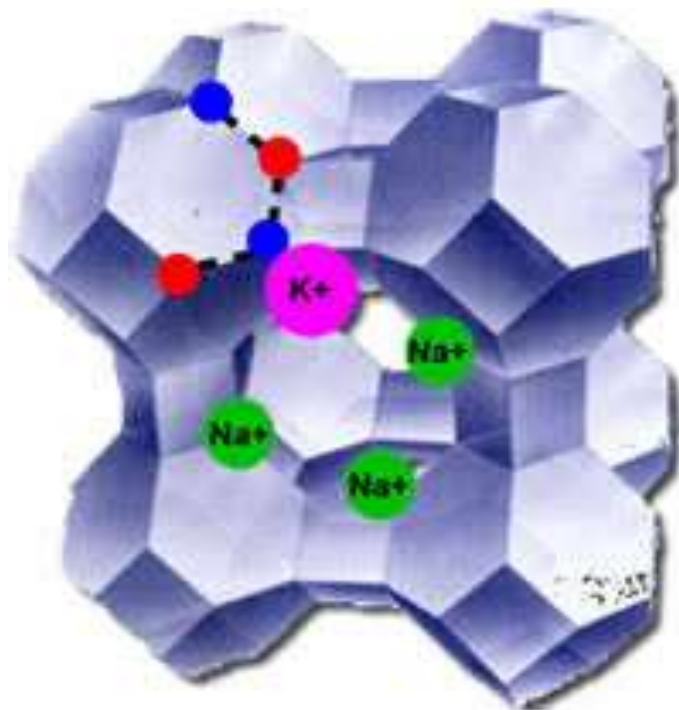


Fig. A.3. Representación de la zeolita en el tamiz molecular [6]

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

1.1 Identificador del producto

Nombre del producto Zeolite, naturally occurring mineral
Cat No. : 43628

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

Uso recomendado Productos químicos de laboratorio.
Usos desaconsejados No hay información disponible

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Empresa Thermo Fisher (Kandel) GmbH
Erlenbachweg 2
76870 Kandel
Germany
Tel: +49 (0) 721 84007 280
Fax: +49 (0) 721 84007 300

Dirección de correo electrónico tech@alfa.com
www.alfa.com
Departamento de seguridad do produto Tel. +049(0)7275 988687-0

1.4 Teléfono de emergencia

Carechem 24: +44 (0) 1235 239 670 (Multi-idioma, el número de emergencia las 24 horas)
Giftinruf Universität Mainz / Veneno Centro de información Mainz
www.giftinfo.uni-mainz.de Telefon: +49(0)8131/19240

SECCIÓN 2: IDENTIFICACIÓN DE LOS PELIGROS

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

CLP clasificación - Reglamento (CE) n ° 1272/2008

Peligros físicos

A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación

Peligros para la salud

A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación

Peligros para el medio ambiente

A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Zeolite, naturally occurring mineral

Fecha de revisión 21-feb-2021

Texto completo de las indicaciones de peligro: ver la sección 16

2.2. Elementos de la etiqueta

No se requiere.

2.3. Otros peligros

No hay información disponible

SECCIÓN 3: COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS COMPONENTES

3.1. Sustancias

Componente	Nº. CAS	Nº. CE	Porcentaje en peso	CLP clasificación - Reglamento (CE) n°
Zeolite, naturally occurring mineral	N/A		≤100	1272/2008

Texto completo de las indicaciones de peligro: ver la sección 16

SECCIÓN 4: PRIMEROS AUXILIOS

4.1. Descripción de los primeros auxilios

Contacto con los ojos	Enjuagar inmediatamente con abundante agua, también bajo los párpados, durante al menos 15 minutos. Consultar a un médico.
Contacto con la piel	Lavar inmediatamente con abundante agua durante al menos 15 minutos. Consultar a un médico inmediatamente si se producen síntomas.
Ingestión	Limpia la boca con agua y beber a continuación abundante agua. Consultar a un médico si se producen síntomas.
Inhalación	Transportar a la víctima al exterior. Consultar a un médico inmediatamente si se producen síntomas.
Equipo de protección para el personal de primeros auxilios	No se requieren precauciones especiales.

4.2. Principales síntomas y efectos, agudos y retardados

Ninguno razonablemente predecible.

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

Notas para el médico	Tratar los síntomas.
----------------------	----------------------

ALFAA43628

Página 2 / 10

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Zeolite, naturally occurring mineral

Fecha de revisión 21-feb-2021

SECCIÓN 5: MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

5.1. Medios de extinción

Medios de extinción apropiados

Utilizar medidas de extinción adecuadas a las circunstancias locales y al entorno. Agua pulverizada, dióxido de carbono (CO2), productos químicos secos, espuma resistente al alcohol.

Medios de extinción que no deben utilizarse por razones de seguridad

No hay información disponible.

5.2. Peligros específicos derivados de la sustancia o de la mezcla

Su descomposición térmica puede dar lugar a la liberación de vapores y gases irritantes.

Productos de combustión peligrosos

Ninguna en condiciones normales de uso.

5.3. Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios

Como en cualquier incendio, llevar un aparato de respiración autónomo de presión a demanda MSHA/NIOSH (aprobado o equivalente) y todo el equipo de protección necesario.

SECCIÓN 6: MEDIDAS EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

6.1. Precauciones personales, equipo de protección y procedimientos de emergencia

Asegurar una ventilación adecuada. Utilizar el equipo de protección individual obligatorio. Evitar la formación de polvo.

6.2. Precauciones relativas al medio ambiente

No debe liberarse en el medio ambiente. Para obtener más información ecológica, ver el apartado 12.

6.3. Métodos y material de contención y de limpieza

Barrier y recoger en contenedores apropiados para su eliminación. Evitar la formación de polvo.

6.4. Referencia a otras secciones

Consultar las medidas de protección en las listas de las secciones 8 y 13.

SECCIÓN 7: MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

7.1. Precauciones para una manipulación segura

Llevar equipo de protección individual/máscara de protección. Asegurar una ventilación adecuada. Evitar el contacto con la piel, los ojos o la ropa. Evitar la inhalación y la ingestión. Evitar la formación de polvo.

Medidas higiénicas

Manipular respetando las buenas prácticas de higiene industrial y seguridad. Manténgase lejos de alimentos, bebidas y piensos. No comer, beber ni fumar durante su utilización. Retirar y lavar la ropa y los guantes contaminados, por dentro y por fuera, antes de volver a usarlos. Lavar las manos antes de los descansos y después de la jornada de trabajo.

7.2. Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Mantener el contenedor perfectamente cerrado y en un lugar seco y bien ventilado.

ALFAA43628

Página 3 / 10

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Zeolite, naturally occurring mineral

Fecha de revisión 21-feb-2021

7.3. Usos específicos finales

Uso en laboratorios

SECCIÓN 8: CONTROLES DE EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN INDIVIDUAL

8.1 Parámetros de control

Límites de exposición

Este producto, tal y como se ha suministrado, no contiene ningún material peligroso con límites de exposición laboral establecidos por los organismos reguladores específicos de la región

Valores límite biológicos

Este producto, tal y como se suministra, no contiene ningún material peligroso con límites biológicos establecidos por los organismos reguladores regionales específicos

Métodos de seguimiento

EN 14042:2003 Título de identificación: Atmósferas en los lugares de trabajo. Directrices para la aplicación y uso de procedimientos para evaluar la exposición a agentes químicos y biológicos.

Nivel sin efecto derivado (DNEL) No hay información disponible

<u>Ruta de exposición</u>	<u>Efecto agudo (local)</u>	<u>Efecto agudo (sistémica)</u>	<u>Los efectos crónicos (local)</u>	<u>Los efectos crónicos (sistémica)</u>
Oral				
Cutánea				
Inhalación				

Concentración prevista sin efecto (PNEC) No hay información disponible.

8.2 Controles de la exposición

Medidas técnicas

Ninguna en condiciones normales de uso.

Equipos de protección personal

Protección de los ojos

Utilizar gafas de seguridad con protectores laterales (o antiparras) (Norma de la UE - EN 166)

Protección de las manos

Guantes protectores

ALFAA43628

Página 4 / 10

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Zeolite, naturally occurring mineral

Fecha de revisión 21-feb-2021

Material de los guantes	Tiempo de penetración	Espesor de los guantes	Norma de la UE	Guante de los comentarios
Caucho natural Goma de nitrilo Neopreno PVC	Consulte las recomendaciones del fabricante	.	EN 374	(requisito mínimo)

Protección de la piel y el cuerpo Ropa de manga larga.

Inspeccione los guantes antes de su uso

Por favor, observe las instrucciones en cuanto a la permeabilidad y el tiempo de adelanto que son provistos por el proveedor de los guantes. (Consulte al fabricante / proveedor para obtener información).

Asegurarse de que los guantes son adecuados para la tarea

química compatibilidad, destreza, condiciones de funcionamiento

También tener en cuenta las condiciones locales específicas bajo las cuales el producto es utilizado, tal como el

Quítese los guantes con cuidado para evitar contaminación de la piel.

Protección respiratoria

No necesario usar equipo protector en las condiciones normales de su uso.

A gran escala / uso de emergencia

Utilice un NIOSH / MSHA o la norma europea EN 138 respirador aprobado si los límites de exposición son excedidos o irritación u otros síntomas son experimentados

Tipo de filtro recomendado: Partículas filtrar

Pequeña escala / uso en laboratorio Mantener una ventilación adecuada

Controles de exposición
medioambiental

No hay información disponible.

SECCIÓN 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

9.1. Información sobre propiedades físicas y químicas básicas

Estado físico	Sólido Piezas	
Aspecto	Rosa	
Olor	Inodoro	
Umbral olfativo	No hay datos disponibles	
Punto/intervalo de fusión	No hay datos disponibles	
Punto de reblandecimiento	No hay datos disponibles	
Punto /intervalo de ebullición	No hay información disponible	
Inflamabilidad (líquido)	No es aplicable	Sólido
Inflamabilidad (sólido, gas)	No hay información disponible	
Límites de explosión	No hay datos disponibles	
Punto de inflamación	No hay información disponible	Método - No hay información disponible
Temperatura de autoignición	No hay datos disponibles	
Temperatura de descomposición	No hay datos disponibles	
pH	No hay información disponible	
Viscosidad	No es aplicable	Sólido
Solubilidad en el agua	Insoluble en agua	
Solubilidad en otros disolventes	No hay información disponible	
Coefficiente de reparto (n-octanol/agua)		
Presión de vapor	No hay datos disponibles	
Densidad / Densidad relativa	No hay datos disponibles	
Densidad aparente	No hay datos disponibles	
Densidad de vapor	No es aplicable	Sólido
Características de las partículas	No hay datos disponibles	

9.2. Otros datos

ALFAA43628

Página 5 / 10

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Zeolite, naturally occurring mineral

Fecha de revisión 21-feb-2021

Índice de Evaporación No es aplicable - Sólido

SECCIÓN 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

10.1. Reactividad Ninguno conocido, en base a la información facilitada

10.2. Estabilidad química Estable en condiciones normales.

10.3. Posibilidad de reacciones peligrosas

Polimerización peligrosa No hay información disponible.
Reacciones peligrosas Ninguno durante un proceso normal.

10.4. Condiciones que deben evitarse Productos incompatibles. Exceso de calor.

10.5. Materiales incompatibles Ninguno conocido.

10.6. Productos de descomposición peligrosos Ninguna en condiciones normales de uso.

SECCIÓN 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

11.1. Información sobre las clases de peligro definidas en el Reglamento (CE) n.º 1272/2008

Información del producto

(a) toxicidad aguda;
Oral No hay datos disponibles
Cutánea No hay datos disponibles
Inhalación No hay datos disponibles

(b) corrosión o irritación cutáneas; No hay datos disponibles

(c) lesiones o irritación ocular graves; No hay datos disponibles

(d) sensibilización respiratoria o cutánea;
Respiratorio No hay datos disponibles
Piel No hay datos disponibles

(e) mutagenicidad en células germinales; No hay datos disponibles

(f) carcinogenicidad; No hay datos disponibles
Este producto no contiene componentes químicos reconocidos como carcinógenos

ALFAA43628

Página 6 / 10

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Zeolite, naturally occurring mineral

Fecha de revisión 21-feb-2021

(g) toxicidad para la reproducción; No hay datos disponibles

(h) toxicidad específica en determinados órganos (STOT) – exposición única; No hay datos disponibles

(i) toxicidad específica en determinados órganos (STOT) – exposición repetida; No hay datos disponibles

Órganos diana No hay información disponible.

(j) peligro de aspiración; No es aplicable
Sólido

Síntomas / efectos, agudos y retardados No hay información disponible.

11.2. Información sobre otros peligros

Propiedades de alteración endocrina Evaluar las propiedades de alteración endocrina en la salud humana. Este producto no contiene ningún alterador del sistema endocrino conocido o sospechoso de serlo.

SECCIÓN 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA

12.1. Toxicidad

Efectos de ecotoxicidad No contiene sustancias nocivas para el entorno o no degradables en las estaciones de tratamiento de aguas residuales.

12.2. Persistencia y degradabilidad

Persistencia Insoluble en agua.

Degradabilidad No es pertinente para sustancias inorgánicas.

12.3. Potencial de bioacumulación Este material puede tener cierto potencial de bioacumulación

12.4. Movilidad en el suelo

Derrame poco probable que penetrar en el suelo. No es probable que sea móvil en el medio ambiente debido a su baja solubilidad en agua.

12.5. Resultados de la valoración PBT y mPmB

No hay datos disponibles para la evaluación.

12.6. Propiedades de alteración endocrina

Información del alterador del sistema endocrino Este producto no contiene ningún alterador del sistema endocrino conocido o sospechoso de serlo

12.7. Otros efectos adversos Contaminantes Orgánicos

Este producto no contiene ningún conocido o sospechada sustancia

ALFAA43628

Página 7 / 10

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Zenilite, naturally occurring mineral

Fecha de revisión: 21.feb.2021

Persistentes

Potencial de reducción de ozono Este producto no contiene ningún conocido o sospechado sustancia

SECCIÓN 13: CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA ELIMINACIÓN

13.1. Métodos para el tratamiento de residuos.

Restos de residuos/productos sin usar	Quienes generen residuos químicos deberán determinar si los productos químicos desechados se clasifican como residuos peligrosos. Los generadores de residuos químicos deberán consultar también las normativas locales, regionales y nacionales relativas a residuos peligrosos con el fin de asegurar una clasificación completa y exacta.
Embalaje contaminado	Vaciar el contenido restante. Eliminar, observando las normas locales en vigor. No reutilizar los recipientes vacíos.
Catálogo de Desechos Europeos	Según el Catálogo Europeo de Residuos, los códigos de residuos no son específicos del producto sino específicos de la aplicación.
Otra información	El usuario debe asignar códigos de residuos basándose en la aplicación para la que se utilizó el producto.

SECCIÓN 14: INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE

IMDG/IMO No regulado

14.1. Número ONU
14.2. Designación oficial de
transporte de las Naciones Unidas
14.3. Clase(s) de peligro para el
transporte.
14.4. Grupo de embalaje.

ADR No regulado

14.1. Número ONU
14.2. Designación oficial de
transporte de las Naciones Unidas
14.3. Clase(s) de peligro para el
transporte.
14.4. Grupo de embalaje.

IATA No regulado

14.1. Número ONU
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. No hay peligros identificados

14.6. Precauciones particulares para los usuarios No se requieren precauciones especiales

14.7. Transporte marítimo a granel con arreglo a los instrumentos de la OMI No aplicable, productos envasados

ALFAA43628

Página 8 / 10

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Zeolite, naturally occurring mineral

Fecha de revisión 21-feb-2021

SECCIÓN 15: INFORMACIÓN REGLAMENTARIA

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

Inventarios internacionales

X = enumeran, Europa (EINECS/ELINCS/NLP), U.S.A. (TSCA), Canadá (DSL/NDSL), Filipinas (PICCS), China (IECSC), Japan (ENCS), Australia (AICS), Korea (ECL).

Reglamento (CE) n.º 649/2012 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2012, relativo a la exportación e importación de productos químicos peligrosos
No es aplicable

Reglamentos nacionales

Clasificación WGK

Clase de peligro para el agua = 3 (autoclaseificación)

15.2. Evaluación de la seguridad química

Un Seguridad Química Evaluación / Informe (CSA / CSR) no se ha llevado a cabo

SECCIÓN 16: OTRA INFORMACIÓN

Texto completo de las indicaciones H mencionadas en las secciones 2 y 3

Legenda

CAS - Chemical Abstracts Service

EINECS/ELINCS : Inventario europeo de sustancias químicas comercializadas existentes/Lista europea de sustancias químicas notificadas

PICCS - Inventario de productos químicos y sustancias químicas de Filipinas

IECSC - Inventario chino de sustancias químicas existentes

NECL - Sustancias químicas existentes y evaluadas de Corea

WEL - Límites de exposición profesionales

ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists (Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales)

DNEL - Nivel obtenido sin efecto

RPE - Equipos de protección respiratoria

LC50 - Concentración letal 50%

NOEC - Concentración sin efecto observado

PBT - Persistentes, bioacumulativas, tóxicas

TSCA - Ley de control de sustancias tóxicas (Toxic Substances Control Act) estadounidense, apartado 8(b), Inventario

DSL/NDSL - Lista de sustancias domésticas/no domésticas de Canadá

ENCS - Inventario japonés de sustancias químicas existentes y nuevas

AICS - Inventario australiano de sustancias químicas (Australian Inventory of Chemical Substances)

NZIoC - Inventario de productos químicos de Nueva Zelanda

TWA - Tiempo Promedio Ponderado

IARC - Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer

Concentración prevista sin efecto (PNEC)

LD50 - Dosis Letal 50%

EC50 - Concentración efectiva 50%

POW - Coeficiente de reparto octanol: agua

vPvB - Muy persistente y muy bioacumulable

ADR - Acuerdo europeo sobre el transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera

IMO/IMDG - International Maritime Organization/International Maritime Dangerous Goods Code

ICAO/IATA - International Civil Aviation Organization/International Air Transport Association

MARPOL - Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación por los Buques

ALFAA43628

Página 9 / 10

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Zeolite, naturally occurring mineral

Fecha de revisión: 21-feb-2021

OECD - Organización para la Cooperación y el Desarrollo

ATE - Estimación de la toxicidad aguda

BCF - Factor de bioconcentración (FBC)

COV - (compuesto orgánico volátil)

Bibliografía fundamental y fuentes de datos

<https://echa.europa.eu/information-on-chemicals>

Los proveedores de datos de seguridad, ChemADVISOR - LOLI, Merck Index, RTECS

Consejo de formación

Formación de concienciación sobre peligros químicos, cubriendo etiquetado, fichas de datos de seguridad, equipos de protección personal e higiene.

Preparado por

Departamento de seguridad del producto

Fecha de revisión

21-feb-2021

Resumen de la revisión

Actualización del CLP formato.

**La hoja técnica de seguridad cumple con los requisitos del Reglamento (CE) No. 1907/2006
REGLAMENTO (UE) 2020/878 DE LA COMISIÓN por el que se modifica el anexo II del
Reglamento (CE) n.º 1907/2006**

Descargo de responsabilidad

La información facilitada en esta Ficha de Datos de Seguridad es correcta, a nuestro leal saber y entender, en la fecha de su publicación. Dicha información está concebida únicamente como guía para la seguridad en la manipulación, el uso, el procesamiento, el almacenamiento, el transporte, la eliminación y la liberación, no debiendo tomarse como garantía o especificación de calidades. La información se refiere únicamente al material específico mencionado y puede no ser válida para tal material usado en combinación con cualesquiera otros materiales o en cualquier proceso salvo que se especifique expresamente en el texto

Fin de la ficha de datos de seguridad