

24/26

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



OBTENCION EXPERIMENTAL DE SILICATO DE SODIO Y SUS APLICACIONES EN LA INDUSTRIA

TESIS MANCOMUNADA
JESUS LEONARDO ESPAÑA ORTIZ
JOEL BAEZ ACOSTA
INGENIERO QUIMICO

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

1988



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 está 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.

I N D I C E

Página

I.	INTRODUCCION	
1.1	Antecedentes Históricos	3
1.2	Propiedades de los Silicatos	5
1.3	Propiedades de las Arenas	13
1.4	Propiedades del Carbonato de Sodio	17
II.	PROPIEDADES Y USOS	
2.1	Propiedades Físicas y Químicas del Silicato de Sodio	19
2.2	Usos	27
2.3	Empresas Productoras	34
2.4	Empresas Consumidoras	35
III.	SECCION EXPERIMENTAL	
3.1	Análisis de Materias Primas (Arena Sílice y Carbonato de Sodio)	38
	a) Análisis por Difracción de Rayos X	39
	b) Determinación de Humedad	44
	c) Análisis Químico	45
	d) Análisis Granulométrico	48

		Página
3.2	Métodos de Obtención	53
3.3	Descripción del Método Experimental	57
3.4	Análisis del Producto Terminado	60
	a) Análisis Químico	60
	b) Determinación de la Densidad	62
	c) Determinación de la Viscosidad	63
	d) Determinación del pH	64
IV.	RESULTADOS Y GRAFICAS	
4.1	Temperatura VS Viscosidad	67
4.2	Densidad VS Viscosidad	69
4.3	Na ₂ O % VS Viscosidad	71
4.4	Densidad VS Sólidos	73
4.5	Densidad VS pH	75
4.6	Na ₂ O VS pH	77
4.7	% Sólidos VS pH	79
4.8	Discusión de Resultados	81
V.	CONCLUSIONES	84
VI.	BIBLIOGRAFIA	86

CAPITULO I

INTRODUCCION

El presente trabajo se llevó a cabo con el fin de desarrollar y optimizar el uso de materias primas mexicanas, en este caso y en particular nos referimos a las arenas del Estado de Michoacán y del Estado de Veracruz, comprobando su excelente calidad y facilidad de manejo en el mecanismo de este proceso.

La demanda nacional existente nos motiva a buacar nuevos caminos en cuanto a los usos y aplicaciones de este producto: Hoy en día, la -- Industria Mexicana tiene grandes necesidades en tecnología de silicato de sodio, ya que este representa un futuro muy prometedor brindándonos- la oportunidad de abrir nuevos campos de acción.

El gran desarrollo de la industria del silicato se debió en su -- origen al abaratamiento de los jabones "cargados" con silicato de sodio desde el año 1867 en que apareció en Inglaterra el primer jabón cargado con un 30 % de una solución 20 °Bé su uso se extendió rápidamente.

Paralelamente al crecimiento de la industria se fueron encontrando nuevas aplicaciones que a su vez aumentaron la demanda del producto llegando a colocarlo en el prominente lugar que hoy ocupa.

En México hasta 1985 se había importado silicato de sodio; ac---
tualmente ya existen dos plantas ubicadas al oriente de la zona metro--
politana que satisfacen el mercado nacional.

Industrialmente se dá el nombre de silicato de sodio a todos los compuestos formados por la combinación del anhídrido silícico con óxido de sodio, se trate o no de la sal de sodio del ácido silícico.

Tanto por sus propiedades físicas y químicas, el silicato de sodio natural presenta las características de los vidrios; llámese vidrio a toda materia isótropa amorfa que resulta de la solidificación y que -- al sobreenfriarse dá una mezcla fundida de los óxidos no metálicos y -- compuestos excentos de oxígeno, es por ello que se hace incapié en estas propiedades que lo han llevado a ser uno de los compuestos de mayor -- aplicación.

La preparación del silicato de sodio es un proceso conocido desde hace muchos años, cuando científicos de reconocido prestigio como Van - Helmont, Glauber, Liebig y Johann Nepomuk Von Fuchs (1) entre otros, -- iniciaban los primeros estudios experimentales del llamado "vidrio solu- ble".

Dada la importancia que se tiene actualmente de este producto, - se hizo un estudio más profundo con el fin de poder interpretar el comportamiento de sus propiedades, haciendo uso para ello de los diferen-- tes métodos analíticos, fisicoquímicos y cristalográficos.

1.1 ANTECEDENTES HISTORICOS

La historia comienza con unos marineros quienes tomando un pedazo de sodio natural, lo agregaron sobre un baño de arena y le aplicaron calor. Ellos ignoraban el hecho de que el vidrio formado por la interacción de arena y sodio fuera soluble.

Un manuscrito acredita al alquimista Basil Valentine (1520) (1), por contener la primera referencia de los silicatos solubles como producto de las artes. A él le pareció tener conocimiento de como hacer -- vidrio fluido en frío, mezclando polvo de sílice y sal "tártari".

En 1640, Van Helmont (1) consciente de que la combinación de sílice con un exceso de álcali, tendía a ser líquido en lugares húmedos y que era posible precipitar sílice en igual peso a la cantidad original por tratamiento de la solución con ácido. Ocho años después Glauber (1) lo llamó "oleum de silicio" y demostró que las diferentes sales metálicas originaban la precipitación de ácido silícico y metal.

En 1783, Guyton de Morveau (1) fusionó cuarzo y carbonato de sodio dando como resultado un vidrio transparente que podía disolverse en agua.

Los usos industriales de los silicatos solubles fueron debidos a los trabajos de Johann Nepomuk Von Fuchs (1), él los descubre por -- accidente en 1818 en el transcurso de unos experimentos al tratar de -- purificar ácido silícico. Disolviendo sílice en potasa cáustica observó

las propiedades vidriosas llamándolo "water-glass".

Von Fuchs (1), propuso los silicatos solubles como adhesivos, -- cementos y morteros, pinturas resistentes al fuego, como aglutinante de color usado en pinturas frescas. Asimismo sus usos en lavanderías, en los procesos de lavado directo como constituyente de jabón, en la industria textil y como reactivos para tintes.

Por problemas internos entre los Estados del Norte y los Estados del Sur ya no se pudo comercializar la resina (colofonia); esto motivó a los fabricantes del norte a usar silicato de sodio para la elaboración de sus jabones y en corto tiempo demostró ser mejor materia prima que la colofonia.

Se puede decir que existen pocos tratados en lo que se refiere a "vidrios solubles". Von Fuchs publicó sus trabajos en 1825. Un folleto de 46 páginas escrito por Zwick en 1877, presenta un punto a favor en conocimientos sobre silicatos a Alemania, a la vez que Krätzer en ese mismo año publica su primer libro. La Librería Carnegie de Pittsburgh publicó en 1922 un informe detallado sobre problemas relacionados con silicatos solubles en la Industria Americana.

1.2 PROPIEDADES DE LOS SILICATOS

La sílice y los silicatos forman la mayor parte de la corteza terrestre y de las estructuras que el hombre ha erigido sobre el planeta. Son silicatos las rocas ígneas, que varían en su composición desde las dunitas situadas profundamente y cuyos constituyentes son en gran parte ortosilicatos, pasando por los basaltos y las piroxenitas, formadas por minerales que son principalmente metasilicatos y llegando hasta las rocas graníticas más silíceas y el cuarzo que surgen a la superficie.

El hombre construye sus estructuras con argamasa u hormigón de silicatos, ladrillos hechos de una mezcla de silicato, vidrio de silicato y piedras de construcción que son de la misma naturaleza. Todos estos materiales excepto la piedra caliza y el mármol son silicatos, y, no obstante su diversidad aparente de composición, tienen semejanzas fundamentales, expresión de las propiedades de la unidad SiO_2 de que están constituidos todos ellos.

Fue gracias a la aplicación de difracción de rayos X que se establece una clasificación sistemática basándose en las ordenaciones estructurales de los mismos y sus distancias en $\text{Ångströms} (\text{Å})$.

Anteriormente existían dificultades esenciales para la clasificación de los silicatos, los datos analíticos eran insuficientes, ya que un determinado conjunto de valores para una sustancia de tanta complejidad

dad puede ser compatible con una serie de fórmulas moleculares diferentes. Además puede dudarse de la homogeneidad de la muestra que se utiliza, ya que cuando se lleva a cabo un análisis químico para identificar un mineral, este puede ser completamente fortuito. Otro factor que interviene es el de la sustitución isomorfa; los iones tales como el Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+2} , etc., pueden reemplazarse fácilmente presentando sustituciones análogas entre el Al^{+3} y Fe^{+3} , Na^{+} y K^{+} u OH^{-} y F^{-} , en una variedad casi sin fin. Tales sustituciones no implican cambios en el estado de oxidación o composiciones en general pero plantean dificultades analíticas. Un tipo de sustitución más significativo es el del silicio por el aluminio ($r_{\text{Si}^{+4}} = 0.50 \text{ \AA}$, $r_{\text{Al}^{+3}} = 0.55 \text{ \AA}$) y es extraordinariamente frecuente. Como consecuencia de la diferencia en el número de oxidación, cuando el silicio es sustituido se presenta un aumento en el estado de oxidación del anión en una unidad y por tanto la electroneutralidad exige o la presencia de un catión que compense la pérdida de carga positiva (por ejem. Na^{+}) o bien, otra sustitución isomorfa simultánea de un catión por otro de carga positiva superior (por ejem. Na^{+} por Ca^{+2}). En estas circunstancias se presenta otra complicación consistente en que, mientras el silicio siempre presenta el número de coordinación 4, el aluminio puede presentar 4 o 6. Por tanto es evidente que la única clasificación lógica de los silicatos es la basada en sus estructuras.

Los silicatos son en efecto, estructuras coordinadas basadas en la asociación de aniones grandes con cationes pequeños. Las dimensiones del retículo cristalino quedan en general controladas más por los aniones que por los cationes a causa del mayor tamaño de los primeros. Los más importantes son el Si^{+4} y el O^{-2} . En todos los silicatos la unidad estructural básica es el tetraedro SiO_4 . Este permanece inalterado en esencia con independencia de cuales sean las otras sustancias presentes porque las distancias $\text{Si} - \text{O}$ y $\text{O} - \text{O}$ permanecen constantes a 1.62 \AA y 2.7 \AA respectivamente. Por conveniencia estos tetraedros suelen presentarse en varias formas táles como:

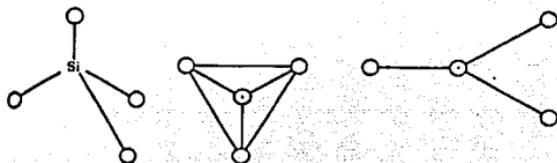


Fig. 1.1

en las cuales la primera se comprende sin más, mientras que las otras dos representan tetraedros viéndose desde arriba, con el átomo de silicio representado por un punto. El enlace de los tetraedros tiene lugar compartiendo los átomos de oxígeno que ocupan los vértices.

De acuerdo con las distribuciones tetraédricas se pueden distinguir los siguientes tipos de estructuras.

a) Aniones discretos, en los que o se encuentran tetraedros discretos, aislados como los ortosilicatos $(\text{SiO}_4)^{-4}$, o se combinan un número limitado de tetraedros para formar grupos de iones discretos $(\text{Si}_2\text{O}_7)^{-6}$, $(\text{Si}_3\text{O}_9)^{-6}$, $(\text{Si}_6\text{O}_{18})^{-12}$ (fig. 1.2).

b) Aniones extensos, en los que los tetraedros se enlazan para formar cadenas de longitud infinita $(\text{SiO}_3)^{-2}$, $(\text{Si}_4\text{O}_{11})^{-6}$ o en hojas de área indeterminada $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{-6}$. (fig. 1.3).

c) Redes tridimensionales, en los que los tetraedros se unen completamente entre sí en las direcciones del espacio (SiO_2) (fig. 1.4).

Aniones Discretos:

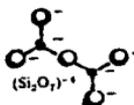


Fig. 1.2

Aniones Extensos:

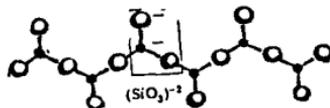
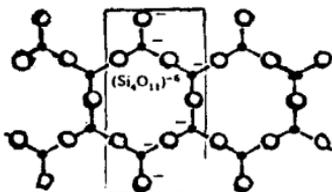


Fig. 1.3

Redes Tridimensionales:

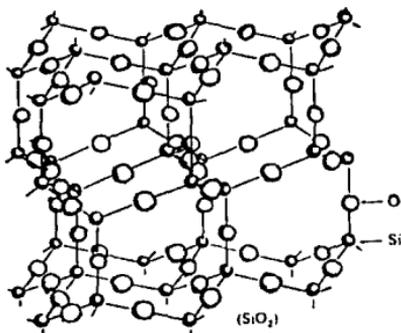


Fig. 1.4

Con el transcurso del tiempo se ha logrado establecer y definir bien las estructuras de los silicatos con la ayuda de modelos moleculares estudiada por Noyce W.K. (2), en la Universidad de Arkansas, quedando establecida una clasificación más moderna en forma siguiente:

1.- Silicatos simples.- formados por minerales que tienen grupos SiO_4 .

2.- Asbestos (cadena tipo silicio-oxígeno).- entre otros están los piroxenos, la diópsida $\text{Ca Mg} (\text{SiO}_3)_2$, y la tremolita $\text{CaMg Si}_4\text{O}_{11}$.

3.- Mica (láminas de silicio-oxígeno).- se caracterizan por la presencia de láminas de silicio oxígeno formadas por la unión de 3 vértices de cada tetraedro SiO_4 con los tetraedros vecinos de manera que cada tetraedro tiene 3 átomos de oxígeno compartidos y uno libre.

4.- Redes tridimensionales de silicio-oxígeno.- caracterizadas por una red continua de tetraedros ligados entre sí.

Los silicatos naturales se forman por medio de cambios geoquímicos, con el objeto de verificar la génesis o geoquímica de formación de los mismos; los silicatos se pueden preparar en el laboratorio, mediante la acción de carbonatos, hidróxidos u óxidos sobre el bióxido de silicio requiriendo para ello altas temperaturas.

Los silicatos, sales de ácido silícico son muy numerosos y muy estables. Muchos de ellos no son atacados por los ácidos, salvo el ácido fluorhídrico mientras otros se descomponen fácilmente.

Para comprender mejor el comportamiento de toda la gama existente de silicatos, se dá a continuación la siguiente clasificación:

1.- Silicatos solubles en agua

2.- Silicatos insolubles en agua

a) Silicatos descompuestos por ácidos

b) Silicatos no descompuestos por ácidos

1.- Silicatos solubles en agua:

La solubilidad de un silicato depende de dos factores: la solubilidad del óxido metálico y la proporción de ácido silícico. Por regla general, las sales de los ácidos ortosilícico y metasilícico son más solubles que los ácidos polisilícicos.

Los productos en los que la relación sílice-álcali ($\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O}$) es aproximadamente 2.0, son solubles en agua, mientras que en aquellos que tienen relación mayor de 2.0 necesitan una determinada presión de vapor para disolverse.

2.- Silicatos insolubles en agua:

a) Descompuestos por ácidos:

Un gran número de silicatos naturales son descompuestos por evaporación de ácido clorhídrico, depositándose la sílice en forma de jalea o en masa pulverulenta. Todas las zeolitas y algunos silicatos pertenecen a esta clase.

b) No descompuestos por ácidos:

La mayor parte de los silicatos, por ejemplo feldespatos, micas, vidrios artificiales, porcelana, etc., pertenecen a este grupo.

1.3 PROPIEDADES DE LAS ARENAS

Las arenas pueden definirse como granos sueltos de materia mineral que varían de tamaño, desde aproximadamente 0.01 a 5 mm. de diámetro. La mayoría de las arenas se componen de un 93 a 99 % de SiO_2 . En algunos otros casos los granos de sílice están asociados con diminutas cantidades de feldespatos, micas, ilmenita (FeO-TiO_2), magnetita (Fe_3O_4) circón (Zr SiO_4), olivina ($\text{Mg Fe}_2\text{SiO}_4$), fayalita (Fe_2SiO_4).

Los depósitos de arena son el producto de cambios geológicos en la superficie de la tierra a través de los siglos por la acción del viento, el agua, el hielo y la nieve. La composición de estos dependerá de la naturaleza de los minerales que fueron erosionados y la manera en que fueron depositados.

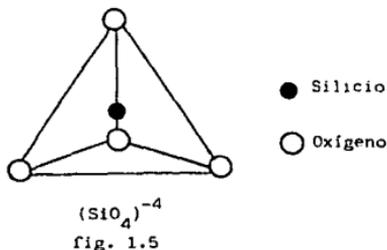
Las arenas se clasifican en:

a) Arenas de sílice.- aquellas que fueron acumuladas por la deposición a lo largo de las costas de los mares enterradas bajo una gruesa capa de sedimento para posteriormente consolidarse formando piedra arenisca.

b) Arenas de banco.- son producto de la desintegración de piedra arenisca por la acción del viento. Estas arenas esparcidas por el viento cubren áreas extensas y se amontonan en forma de pequeños bancos, - variando su pureza dependiendo del material con que son mezclados.

c) Arenas de lago.- son de origen geológico y están compuestas - de arenas producidas por la erosión de rocas a lo largo de las orillas de los lagos, donde se depositan para formar playas. Algunas arenas --- superficiales han sido desplazadas por el viento y en diferentes áreas- se les conoce como arenas de dunas.

La unidad estructural fundamental de la sílice (SiO_2), y de los silicatos es el átomo de silicio (Si), que es positivo, rodeado ordinariamente por cuatro átomos de oxígeno en coordinación tetraédrica.



El radio iónico del silicio en coordinación cristalográfica sería es 0.36 \AA y el del oxígeno es 1.40 \AA ; de ahí que la unidad estructural sea un tetraedro de átomos de oxígeno que rodean al átomo de silicio que es más pequeño. Para satisfacer las reglas de valencia, cada -- átomo de oxígeno actúa como vértice de dos tetraedros adyacentes de sílice.

En la naturaleza se conocen tres especies cristalinas de sílice, estas son: el cuarzo α , β , la tridimita α , β y γ ; la cristobalita α , β ; y en una forma no cristalina se presenta el vidrio - cuarzoso.

En la fig. 1.6 se puede apreciar que cada curva del diagrama --- corresponde a una de las cuatro formas de la sílice. Las líneas de trazas corresponden al estado inestable y las líneas continuas al estado estable. La forma más difundida de la sílice es estable hasta la temperatura de 870 °C, donde ésta curva se intercepta con la de tridimita.- A la temperatura de 573 °C, el cuarzo β se transforma en cuarzo α , - el cual a la temperatura superior de 870 °C, llega a ser una modificación inestable hasta la de 1600 °C, o sea hasta la fusión.

En la práctica, sin adiciones especiales el cuarzo α no se convierte en tridimita directamente; en las condiciones de equilibrio, el cuarzo α sufre varias transformaciones complejas, convirtiéndose en parte a una temperatura de 1200 °C a 1470 °C en cristobalita.

Las demás formas de la sílice son inestables a una temperatura inferior a 870 °C; la tridimita α es estable dentro del intervalo de 870 °C a 1470 °C, después de lo cual se transforma lentamente en cristobalita α que posee la temperatura máxima de fusión de 1713 °C, y es estable en este rango.

El cuarzo es un mineral muy difundido y sus usos son muy numerosos, en la industria de la construcción se utilizan cantidades enormes

de cuarzo para hacer mortero y hormigón. También se usan grandes cantidades como arena de moldeo y como abrasivo en papel de lija. La cuarcita se emplea como piedra de construcción y los ladrillos de sílice se usan para las coronas de los hornos destinados a la fabricación de vidrio y acero. Los cristales de cuarzo de mejor calidad se utilizan en instrumentos ópticos y las placas de cuarzo para el control de las frecuencias en los resonadores siendo esenciales en los sistemas modernos de comunicaciones.

La sílice es en todas sus formas, resistente a los agentes químicos; en la meteorización de las rocas, el cuarzo permanece inalterado aún después que los feldespatos se han desintegrado. El cuarzo y el vidrio son insolubles en todos los ácidos, excepto en el fluorhídrico que forma SiF_4 . Las soluciones de álcalis cáusticos o de carbonatos alcalinos fríos tampoco afectan al cuarzo y al vidrio de sílice.

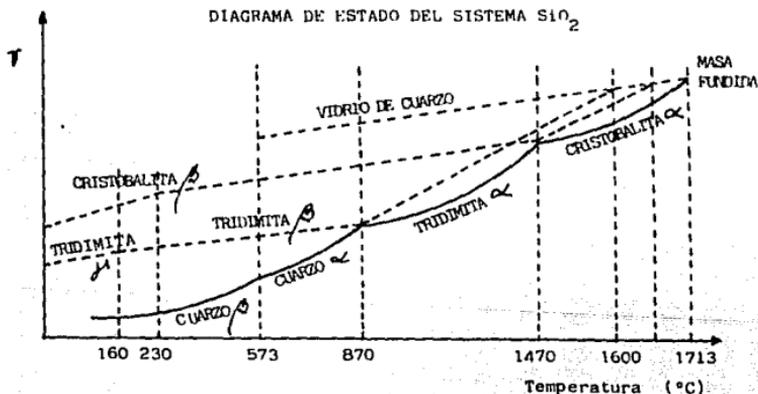


Fig. 1.6

1.4 PROPIEDADES DEL CARBONATO DE SODIO

El carbonato de sodio o soda ash, es un compuesto químico, polvo higroscópico blanco, cristalino; es moderadamente soluble en agua fría y muy soluble en agua caliente, su solución es fuertemente alcalina -- por hidrólisis.

El procedimiento más antiguo para la fabricación industrial del carbonato sódico es el método de Leblanc, que tuvo su auge hacia 1880. La primera planta que utilizó el procedimiento Leblanc fué construída en Inglaterra en 1823, y desde entonces hasta 1885 fué este el método más importante para la producción del mismo.

En el año 1861, cuando Ernest Solvay descubrió el procedimiento, en 1865 se estableció una planta en Couillet, Bélgica, que aún continúa trabajando. Dicha planta en aquel entonces producía 1.5 toneladas por día y para 1872 ya producía 10 toneladas diarias. En ese mismo año se estaba construyendo la que hoy es la mayor planta Europea en Dombasle, cerca de Nancy, Francia.

La primera fábrica norteamericana para la producción del carbonato de sodio por el método Solvay, se estableció en Siracusa, Nueva York en el año 1882, actualmente sigue siendo la planta más grande del mundo.

Los principales usos a que se destina el carbonato de sodio son los siguientes:

Industria del vidrio	47.5 %
Fabricación de tripolifosfato de sodio	20.0 %
Industria Química	12.8 %
Industria del silicato de sodio	6.8 %
Industria del jabón y detergente	8.1 %

La producción estimada en 1985 fué de 450,000 toneladas, mientras que el consumo durante ese mismo año fué de aproximadamente 560,000 toneladas lo que hace necesario importar este producto.

En México existen solamente dos fabricantes:

- a) Sosa Texcoco, S.A.
- b) Industria del Alcalí, S.A.

C A P I T U L O I I

PROPIEDADES Y USOS

2.1 PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Contemplando las propiedades físicas y químicas de este compuesto nos referiremos al silicato de fórmula $\text{Na}_2\text{O} \cdot (\text{SiO}_2)_x$; donde x -- puede variar prácticamente desde 0.4 hasta 4.0; así los productos actuales no deben de exceder de esta última cifra, ya que se vuelven completamente insolubles. Algunas de las propiedades más importantes del silicato de sodio son referidas en este capítulo, asimismo, la diversidad de aplicaciones o usos a que son destinados.

Los valores numéricos reportados en la literatura (3), se encuentran en el cuadro 2.1 correspondientes a las propiedades tanto de las materias primas, así como de nuestro producto de interés.

C U A D R O 2.1

	CARBONATO DE SODIO	DIOXIDO DE SILICIO	SILICATO DE SODIO
FORMULA	Na_2CO_3	SiO_2	Na_2SiO_3
PESO MOLECULAR (g/gmol)	118.014	60.06	122.054
DENSIDAD RELATIVA	2.533	2.650	2.614
SOLUBILIDAD (AGUA)	SOLUBLE	INSOLUBLE	SOLUBLE
INDICE DE REFRACCION	1.5350	1.5442	1.49-1.54
TEMPERATURA DE FUSION (°C)	854.0	1,470.0**	1,088.0
CAPACIDAD CALORIFICA (Cal/gmol *K)	28.9	10.25	26.8
CALOR DE FUSION (Cal/mol)*	7,000	3,400**	10,300
CALOR DE FORMACION (Kcal/mol)*	- 269.46	- 203.35**	- 383.91
ENERGIA LIBRE (Kcal/mol)*	- 249.55	- 190.40**	- 361.49

* DATOS REPORTADOS A 25 °C

** SiO_2 (ALFA CUARZO)

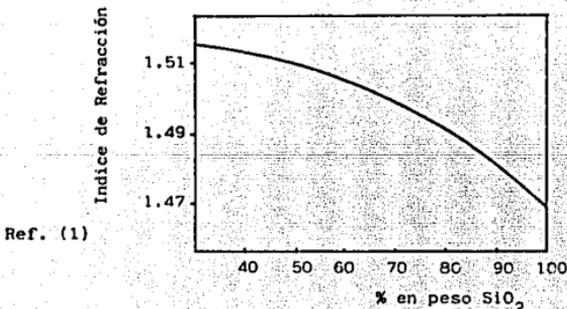
SOLUBILIDAD

Una de las propiedades más importantes del silicato de sodio, es la solubilidad de los cristales, la cual va a depender principalmente de la concentración del ión sodio, obteniéndose solubilidades más altas en cristales con relaciones menores a 2.0 (la relación se define como el cociente que se obtiene al dividir el % en peso de sílice entre el % en peso de álcali); los ortosilicatos cristalinos, sesquisilicatos y metasilicatos cubren las relaciones 0.5, 0.67 y 1.0 respectivamente. En cambio los vidrios más silíceos; o sea aquellos que tienen relaciones mayores a 2.0 se disuelven más lentamente por lo que es necesario la aplicación de presión de vapor para la obtención del silicato líquido.

INDICE DE REFRACCION

Otro de los métodos para conocer la relación sílice-álcali, es la medición del índice de refracción, el cual depende de la concentración del álcali presente. En la fig. 2.1 se puede apreciar que a mayor contenido de SiO_2 el índice de refracción tiende a disminuir.

fig. 2.1



DENSIDAD Y VISCOSIDAD

Son propiedades características que distinguen a la solución de silicato de sodio, ya que mediante estas se comercializa. La viscosidad es una propiedad física importante de las soluciones de silicato soluble, la comparación de viscosidades demuestra que las soluciones más silíceas aumentan más rápido que aquellas alcalinas (ver pág. 69).

La densidad es una función directa de la viscosidad; es decir, si se tienen viscosidades altas, la densidad es mayor.

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

Los estudios de Kohlraush (1) sobre la conductividad de las soluciones de silicato de sodio fueron los primeros en demostrar la evidencia de la constitución de las mismas, tomando como base la formación de sílice coloidal, para ello analizó diferentes soluciones de silicato de sodio de relación $2 \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ hasta $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3.4 \text{SiO}_2$. De sus resultados determinó que la conducción era debida principalmente a la presencia de iones sodio, deduciendo que aquellas con mayor contenido de sílice presentaban conductividades más bajas, tal y como se muestra en la fig. 2.2

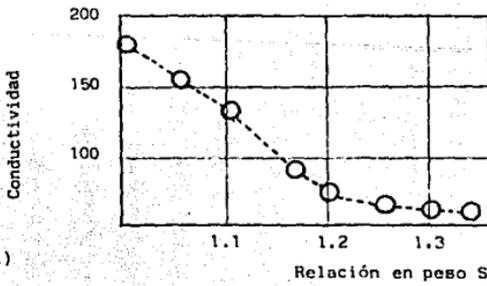


Fig. 2.2

Ref. (1)

NUMERO DE TRANSPORTE

Los estudios realizados por Harman (1) en su intento por determinar la movilidad de los iones Na^+ y $\text{SiO}_3^{=}$, encontró que el número de transporte del ión $\text{SiO}_3^{=}$ en una relación 1:2 es el doble que el número de transporte del ión Na^+ , para relaciones 1:3 es 3 veces mayor y para relaciones 1:4 se cuadruplica, esto lo atribuye a que entre mayor sea el contenido de iones $\text{SiO}_3^{=}$ hay formación de micelas o iones complejos de silicato.

pH

El conocer la actividad de los iones H^+ solvatados en una solución de silicato de sodio, es de suma importancia, ya que la actividad de los iones H^+ no solo participa desplazando el equilibrio ácido-base de óxido reducción, precipitación y complejación, sino que también interviene en el mecanismo cinético.

La concentración de los iones H^+ varía de acuerdo a la relación sílice álcali; es decir, a relaciones bajas se tienen pH altos, como se puede comprobar en la fig. 2.3.

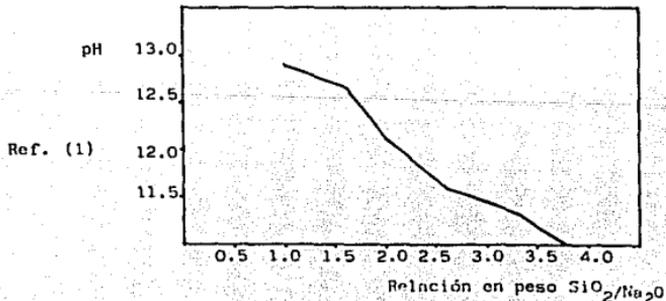


fig. 2.3

FORMACION DE SOL Y GEL

Partiendo de la definición fisicoquímica del concepto de sol y gel reportado por B. Girgenson (4), en la cual define "sol" como un estado particular de la materia que contiene partículas dimensionales coloidales y "gel" como un estado en particular de un coloide que posee consistencia sólida aunque pueda contener mucha agua, vamos a contemplar que los silicatos de sodio reaccionan con compuestos ácidos es así que cuando las soluciones de concentraciones relativamente altas se acidifican, los aniones de silicato soluble se polimerizan hasta formar un "gel", cuando se acidifican soluciones de concentraciones relativamente bajas se pueden formar "soles" activados.

El grado de polimerización de los aniones de silicato depende de la concentración de la solución, la temperatura y el pH. Los soles de sílice coloidal se pueden preparar por medio de un intercambio de iones, diálisis u otros medios.

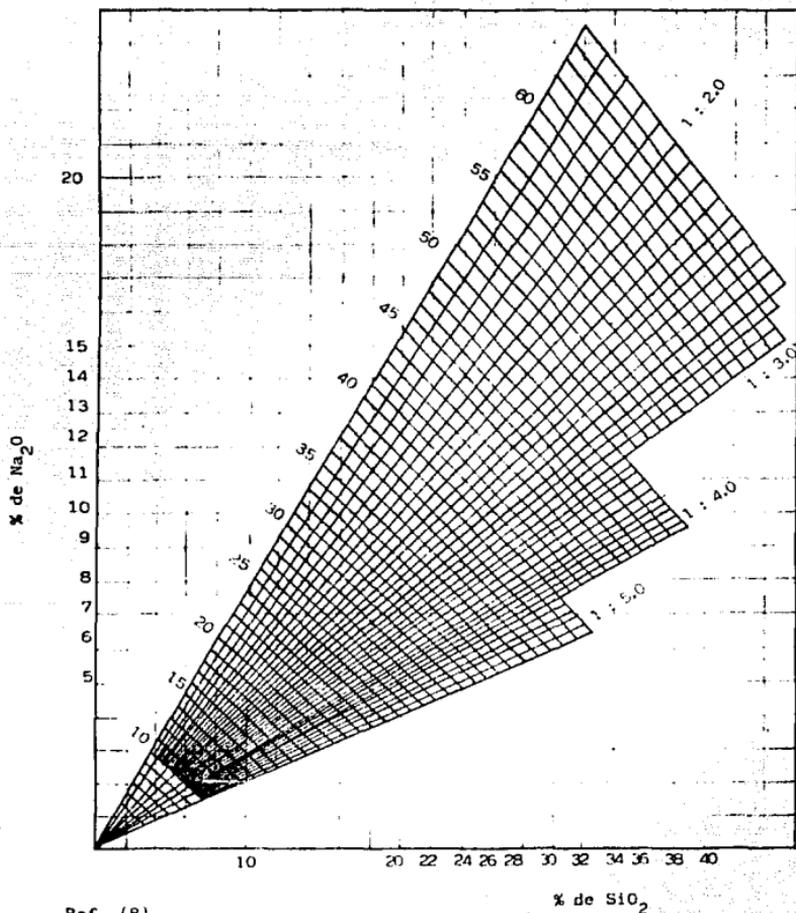
El gel de sílice se prepara neutralizando una solución de silicato con ácido mineral. El gel húmedo es triturado, desalinizado y secado para preparar desecantes, absorbentes, agentes transmisores y bases catalizadoras.

RELACION DE DENSIDAD (°Bé) Y % Na_2O

Se reporta en la literatura (5) los resultados experimentales, donde se ha logrado establecer una relación entre el % de Na_2O y la densidad (°Bé), simplificando así el análisis volumétrico, los cálculos y poder conocer directamente el % de SiO_2 , este resultado se encuentra con solo interpolar los primeros datos posteriormente por definición se obtiene la relación sílice-álcali (fig. 2.4).

Fig. 2.4

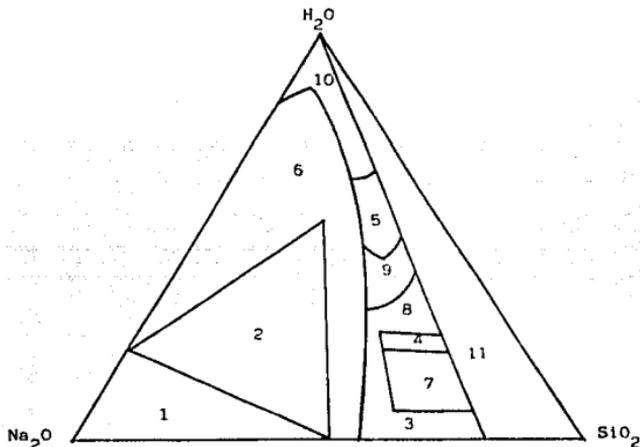
RELACION DE DENSIDAD (\cdot Bé), % DE Na_2O Y % DE SiO_2 EN PESO DE SILICATO DE SODIO



Ref. (8)

SISTEMA TERNARIO: $\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} - \text{H}_2\text{O}$

Dentro de la preparación de silicato de sodio existe un sistema ternario de $\text{SiO}_2 - \text{Na}_2\text{O} - \text{H}_2\text{O}$, el cual es reportado por Weldes Helmut y Lange K. Robert (6). En la fig. 2.5 se encuentran desglosadas las áreas de miscibilidad de este sistema.



- 1.- Área de los silicatos altamente alcalinos incluyendo ortosilicatos
- 2.- Área de cristales alcalinos de metasilicato de sodio y sus anhídros
- 3.- Área en la cual se produce vidrio comercial
- 4.- Área donde se denota el campo de polvos amorfos e hidratados
- 5.- Área donde se produce silicato de sodio
- 6.- Área de mezclas parcialmente cristalizadas
- 7.- Área de cristales hidratados no económicos
- 8.- Área de masas semisólidas
- 9.- Área de líquidos muy viscosos
- 10.- Área de líquidos diluidos
- 11.- Área de líquidos y geles no estables

2.2 USOS

La presencia del silicato de sodio cobró interés a partir de que se eliminó la resina colofonia del mercado que se utilizaba como materia prima para la elaboración del jabón. Las ventajas de utilizar el silicato de sodio en sustitución de esta resina son: prevenir la remoción de mugre y la redeposición en las superficies limpias, consecuentemente cuando se lava con jabones silíceos las telas blancas son teñidas, por lo que ningún otro jabón es tan efectivo. Esta función de prevención es atribuida a la sílice soluble más que al álcali.

Los métodos de lavado que se practican en México hacen indispensable el uso del jabón en barra debiendo cumplir con las características físicas siguientes:

- a) Durante el lavado, la espuma debe ser lo más abundante y persistente posible
- b) Debe tener una densidad baja
- c) La solubilidad no debe ser muy alta para que el jabón no se consuma con demasiada rapidéz, pero tampoco debe ser tan baja que requiera de un tiempo de frotación excesivo para dar la espuma, y
- e) Debe dar una solución con un pH de 9 a 10.5 para que no dañe la piel y a su vez logre una mejor detergencia.

En las formulaciones de detergentes, el silicato de sodio tiene un número de propiedades vigorizantes que intensifican la actuación -- del sistema detergente, estas propiedades son:

a) Humectación o reducción de la tensión superficial de los líquidos

b) Emulsificación o dispersión de manchas grasosas

c) Defloculación o ruptura de manchas o partículas inorgánicas

d) Prevención de la redeposición de la mugre o la habilidad de -- mantener la suciedad flotando sin que se redeposite en las superficies limpias

e) Alcalinidad y amortiguamiento, habilidad de controlar el pH -- de la solución detergente en presencia de mugre ácida

f) Prevención de la corrosión, protección de superficies de metal sensible a los efectos corrosivos de otros ingredientes del detergente

g) Control de aguas duras

h) Suspensión de suelos

El enorme crecimiento de la industria de las cajas de cartón que se manejan hoy en día, ha exigido una gran cantidad de pegamentos a -- base de silicatos por ser un material sumamente económico y fácil de -- manejar.

El tipo de adhesivo ideal para pegar papel, vidrio, madera, metales ligeros, etc., debe tener una viscosidad baja para poder penetrar en las superficies que van a unir y el cuerpo necesario para que estos poros se mantengan llenos todo el tiempo requerido para el fraguado.

Entre las sustancias que se agregan frecuentemente al silicato de sodio para mejorar su propiedad como adhesivo se encuentran: la dextrina, el almidón y la caseína. Los dos primeros proporcionan únicamente flexibilidad al pegamento, en tanto que la caseína proporciona resistencia ya sea mecánica a la acción del agua. Una mezcla de caseína, cal y silicato de sodio forman un pegamento completamente a prueba de agua con mayor resistencia que la de la madera misma.

Por otra parte la industria textil usa grandes volúmenes de silicato de sodio para la estabilización de baños blanqueadores y preparación de fibras.

Se obtienen baños alcalinos que no perjudican los tejidos de algodón o de acetato de celulosa y que pueden emplearse en el teñido de las mismas. Se utilizan también estos baños ligeramente alcalinos como activadores de la acción del peróxido de hidrógeno en el blanqueo de la seda, lana y algodón, logrando al mismo tiempo que la solución sea más estable que cuando se usan otros compuestos alcalinos.

En el blanqueo de la pulpa de madera por medio de hipoclorito de calcio disminuye el efecto debilitante del baño cuando se agrega silicato de sodio estabilizando la solución; cuando se trata de pasta mecánica es necesario utilizar el silicato de sodio de alto contenido de sílice, es decir; de relación alta.

Dentro de la industria de la fundición, el silicato de sodio ocupa un importante lugar, porque ha sido de gran interés por muchos años para la elaboración de moldes y corazones con la ayuda de la arena sílice. El llamado proceso CO_2 ha ganado amplia aceptación debido al bajo costo tanto de la arena como del silicato de sodio, la facilidad de mezclado y el tamaño de piezas que se pueden obtener.

Para lograr una mejor calidad en el acabado de moldes o corazones es necesario mezclar arena seca de AFS 40-50 o 50-60 con un 4-5 % de silicato de sodio; si el tamaño de partícula está comprendido dentro de un rango de AFS 70-80 o 80-90 se deberá agregar de 1-2 % adicional, el tiempo de mezclado dependerá del tipo de mezcladora que se use pero se recomienda de 2-4 minutos.

Otra de las ventajas que se tiene al utilizar el silicato de sodio como aglutinante es que se logra una excelente resistencia, buena permeabilidad y alta colapsibilidad.

Existen una gran cantidad de cementos industriales formados ya sea por silicato de sodio exclusivamente o por mezclas de silicato con otras sustancias, así por ejemplo, un cemento hecho con silicato, cal y carbonato de calcio, fragúa mucho más rápidamente que otro fabricado con silicato y carbonato de calcio exclusivamente, ya que la reacción entre la cal y el silicato es más rápida que la del carbonato de calcio y el silicato, asimismo, los cementos hechos con silicato de alto contenido de sílice son muy inestables y fragúan rápidamente tanto por la pérdida de humedad como por reacción química, siendo entonces la rapidéz de fraguado una función creciente de la relación $\text{SiO}_2:\text{Na}_2\text{O}$. Con esta metodología se pueden obtener toda una serie de cementos, ajustando el silicato y los demás ingredientes de tal forma que la velocidad de fraguado corresponda precisamente a las necesidades; desde los cementos para hacer imitaciones de mármol con objeto de arte que requieran una velocidad de fraguado suficientemente lenta permitiendo el modelado de los mismos, hasta los cementos llamados de "emergencia" que tienen fraguados extremadamente rápidos para cerrar grietas o poros violentamente.

El silicato de sodio se utiliza en el tratamiento de aguas para calderas, ya sea interno o externo. En el primer caso se añade al agua de alimentación una pequeña cantidad de silicato de sodio para que se deposite una delgada capa de gel sobre las superficies metálicas prote

giéndolas contra la corrosión. También son extensivamente usados para proteger tanques y líneas de agua, tales como en sistemas municipales e industriales, una dosis de silicato de sodio es inyectada dentro, -- mientras que este fluye através del sistema; hasta donde se sabe el si licato de sodio no produce efectos nocivos para el consumidor por lo -- que se puede emplear en agua potable en cantidades muy pequeñas.

Hoy en día, los silicatos solubles son ampliamente usados en gra nulación y aglomeración de partículas finamente divididas, tales como: fertilizantes, arcillas, minerales metalíferos y otros materiales.

El fraguado del silicato de sodio en esas uniones se lleva a --- cabo por secado de aire o por calentamiento a altas temperaturas para-- formar una unión cristalina o por fraguado químico.

Los silicatos solubles son también usados como materia prima --- para la producción de zeolitas, las cuales han estado ganando signifi-- ficado industrial durante las dos últimas décadas a causa de sus pro-- piedades únicas en el proceso de separación líquido gas y como siste-- mas catalizadores específicos.

Son usados como impregnantes de madera y metales porosos enlaza-- dores en ruedas abrasivas, en solidificación de suelos, en la regenera-- ción de caminos de concreto y endurecimiento.

Desde 1912, se ha estado agregando a los alimentos pequeñas cantidades de silicato en polvo. Los silicatos líquidos se han tomado por vía gástrica como medicina; también se les ha inyectado por vía intravenosa para el tratamiento de la arteriosclerosis o por vía rectal --- para neutralizar la acidéz intestinal.

Los silicatos solubles son excelentes vehículos para pinturas -- ricas en zinc, resistentes a la corrosión de fierro y acero, estos protegen al metal de la corrosión estableciendo una acción galvánica --- entre el sustrato de fierro y el de zinc. En la elaboración de pintu--ras refractarias es también utilizado el silicato soluble por su alto-punto de fusión y su resistencia a cambios bruscos de temperatura.

Cabe mencionar su aplicación en la molienda del fosfato que se - utiliza como fertilizante, este se adiciona facilitando el trabajo del molino coloidal gracias a su poder dispersante.

Estas son algunas aplicaciones de este producto, pero la necesi--dad de tecnología que se vive en el país nos obliga a buscar nuevos -- usos.

2.3 EMPRESAS PRODUCTORAS

De acuerdo con el estudio de mercado efectuado sobre productores de silicato de sodio, se encontró que solamente 4 empresas lo producen en México, estas son:

- 1.- Silicatos y Derivados, S.A. (Area metropolitana)
- 2.- Silicatos Especiales, S.A. (Area metropolitana)
- 3.- Silisol, S.A. de C.V. (Monterrey, N.L.)
- 4.- Químex de Oriente, S.A. (Cholula, Puebla)

Existen más de 40 empresas localizadas en diferentes partes del país que se dedican a la distribución de este producto, tanto en su forma líquida como en su forma sólida.

2.4 EMPRESAS CONSUMIDORAS

La demanda del silicato de sodio es muy amplia, todo es debido a la gran diversidad de sus propiedades, llegando a colocarlo en uno de los productos más nobles, ya que no contamina, no es tóxico y tampoco produce reacciones violentas al ser mezclado con algunos compuestos orgánicos.

De acuerdo a estadísticas se ha encontrado que el consumo en ---orden creciente se distribuye de la siguiente manera:

Jabones y Detergentes

Papel y cartón corrugado

Refractarios

Fundición Metalúrgica

• Construcción

Esmaltes y Pinturas

Tratamiento de Aguas

Textiles

Prevención de corrosión

ALMACENAJE

Por sus características fisicoquímicas las soluciones de silicato de sodio no pueden ser almacenadas en recipientes de vidrio, ya que tienden a reaccionar lentamente con éste, así como también pueden absorber CO_2 del medio ambiente provocando pérdida de agua cuando no están bien cerrados los recipientes; sin embargo, estas soluciones pueden ser almacenadas por largo tiempo en tambores de acero u otros perfectamente cerrados, con excepción de recipientes de aluminio, acero galvanizado, hierro o zinc, ya que puede haber formación de gas hidrógeno y ocasionar un incendio.

Para capacidades más grandes se recomienda utilizar tanques de acero al carbón o concreto, debiendo tener el espacio suficiente para que un hombre pueda hacer su inspección y/o mantenimiento.

TOXICIDAD

Con el objeto de especificar las precauciones que se deben de tomar para el manejo de este producto, además de conocer el grado de toxicidad, se presenta el cuadro 2.2; comprobándose que se trata de un producto sumamente noble, ya que no contamina, no tiene olor y sobre todo que es completamente soluble en agua. Se garantiza entonces limpieza en su manejo, en el equipo y en su almacenamiento.

C U A D R O 2.2
T O X I C I D A D

T O X I C I D A D	ABSORCION	{	INGESTION
	PATOLOGIA	{	IRRITANTE
	SIGNOS Y SINTOMAS	{	CONJUNTIVITIS ERITEMA Y ERUPTIONES VESICULARES DE LA PIEL
	TESIS DE DIAGNOSTICO	{	NO SE HA ESTABLECIDO NINGUNO
	TRATAMIENTO	{	LAVADO DE OJOS CON AGUA. LAVADO CON AGUA Y JABON - DE LAS PARTES CONTAMINADAS DEL CUERPO. LAVADO GASTRI CO, SI SE HA INGERIDO, -- SEGUIDO POR UN PURGANTE - SALINO SINTOMATICO Y DE - FORTALECIMIENTO GENERAL
	SECUELAS	{	NO SE HAN CONSIGNADO LE-- SIONES PERMANENTES
MEDIDAS PREVENTIVAS	{	GAFAS PROTECTORAS GUANTES DE GOMA	
CONCENTRACION MAXIMA PERMISIBLE	{	NO HAY NADA ESTABLECIDO	

C A P I T U L O I I I
SECCION EXPERIMENTAL

3.1 ANÁLISIS DE MATERIAS PRIMAS

El análisis de materias primas es de gran importancia en este proyecto ya que las arenas contienen pequeñas cantidades de elementos como Al, Fe, Ti, V, entre otros. La pureza de la arena sílice define la calidad del silicato de sodio, por consiguiente es conveniente analizar -- estas en detalle.

El primer análisis practicado a la arena sílice fué caracterizarla por difracción de rayos X mediante el aparato Philips modelo PW 1025/25, utilizando la $K\alpha$ del cobre; posteriormente mediante el análisis químico se pudo cuantificar el porcentaje de los óxidos presentes tanto en la arena Veracruz como en la arena Michoacán, asimismo, se efectuó el análisis granulométrico para encontrar el tamaño de partícula adecuado para el propósito del presente trabajo.

En el caso del carbonato de sodio solamente se concretó a la determinación del por ciento de humedad y de la pureza para posteriormente -- utilizarse en los cálculos estequiométricos.

a) ANALISIS POR DIFRACCION DE RAYOS X

El método de análisis por difracción de rayos X es de gran utilidad en el estudio de los minerales tipo arena, este método se usa para la identificación y determinación de las estructuras de dichos minerales.

El principio básico para la identificación de los minerales por este método, consiste en que cada sustancia cristalina tiene un arreglo cristalino característico que difracta los rayos X formando un patrón específico.

En el análisis por difracción de rayos X se requiere de una pequeña cantidad de material para obtener el difractograma, lo anterior es posible puesto que el haz de rayos X de una longitud de onda definida es difractada por el arreglo cristalino y nos proporciona información al mismo tiempo del conjunto de planos que inciden sobre una muestra cristalina de partículas finas orientadas al azar.

Las figuras 3.1 y 3.2 muestran respectivamente los difractogramas obtenidos para la arena Veracruz y arena Michoacán. De acuerdo a las reflexiones hkl observadas en dichos difractogramas podemos afirmar que ambas arenas contienen como mineral principal cuarzo con reflexiones características 3.34, 4.26 y 1.81, que coinciden con las reportadas por la ficha ASTM- 5-0490 para dicho compuesto; además como mineral secundario se presenta un feldespato que es la albita de fórmula $(\text{Na Al Si}_3\text{O}_8)$

el cual es un silicoaluminato de sodio coincidiendo con el reportado en la ficha ASTM 19-1184 para dicho compuesto.

La figura 3.3 muestra el difractograma correspondiente al carbonato de sodio cuyas reflexiones características hkl coinciden con la ficha ASTM 18-1208.

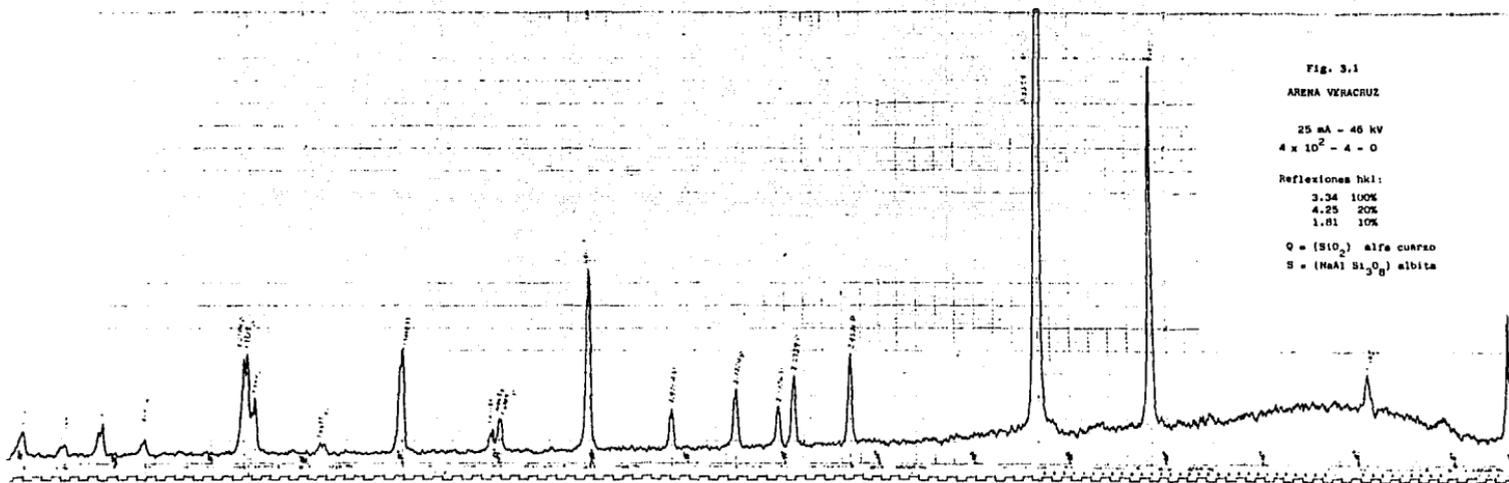


Fig. 3.1
ARENA VERACRUZ

25 mA - 46 kV
4 x 10² - 4 - 0

Reflexiones hkl:

3.34	100%
4.25	20%
1.81	10%

Q = (SiO₂) alfa cuarzo

S = (NaAl Si₃O₈) albita

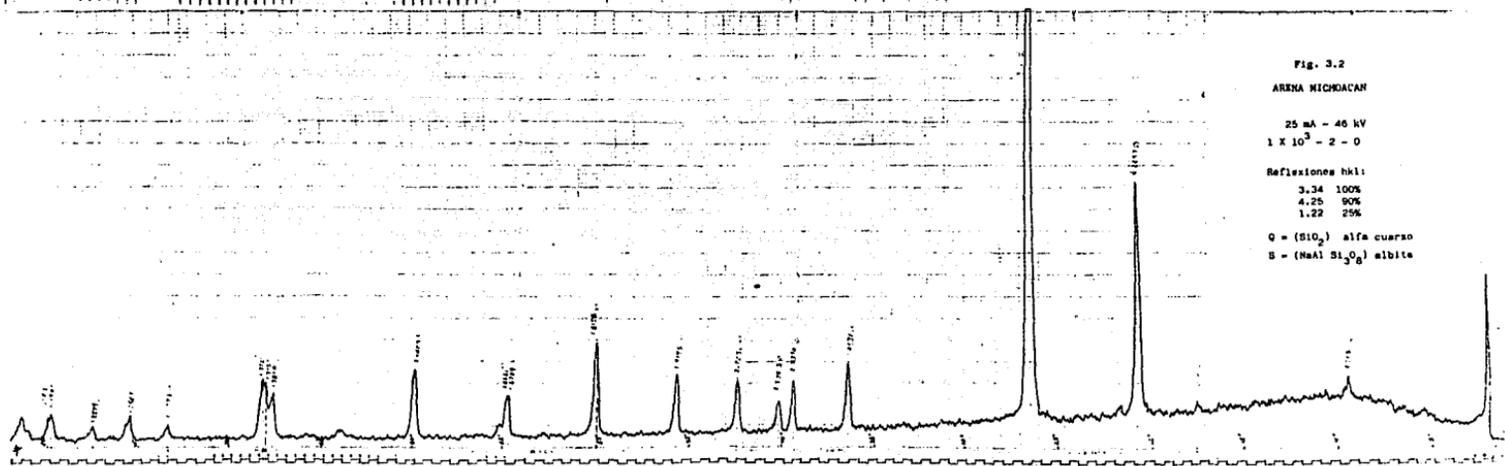


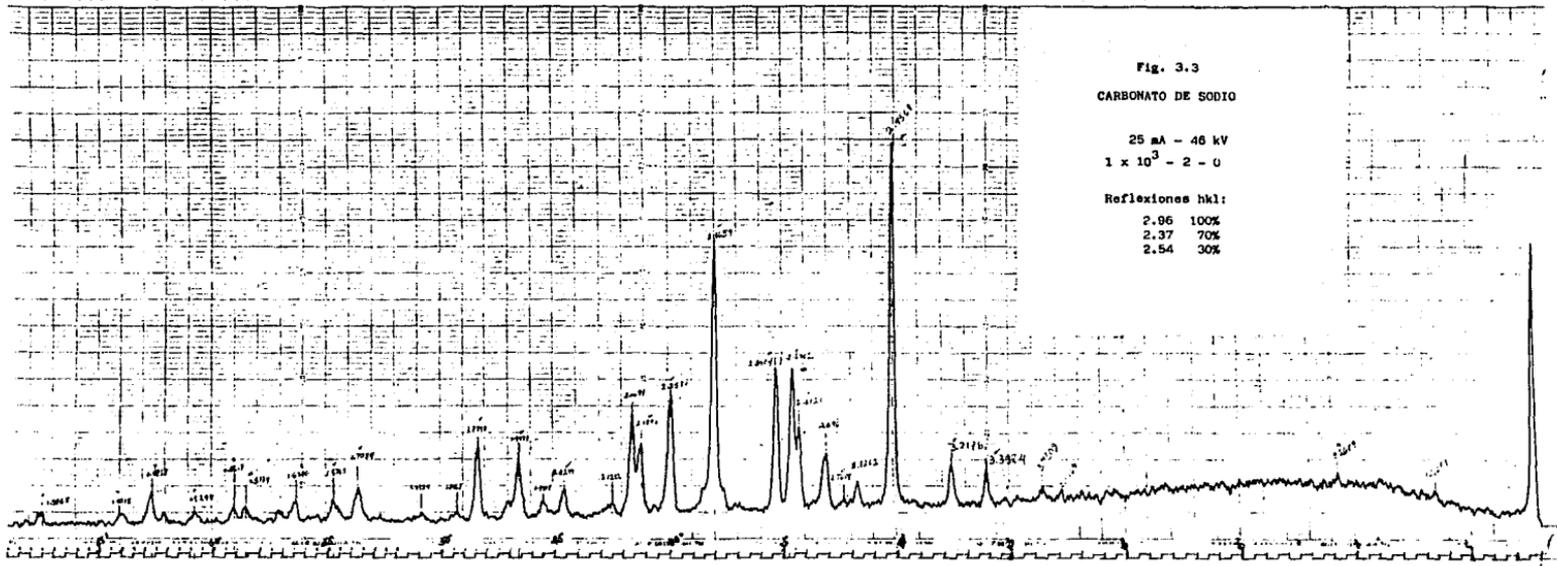
Fig. 3.2
ARENA MICHOACAN

25 mA - 46 kV
 $1 \times 10^3 - 2 - 0$

Reflexiones hkl:

3.34	100%
4.25	90%
1.22	25%

0 = (SiO_2) alfa cuarzo
S = $(\text{NaAl Si}_3\text{O}_8)$ albite



b) DETERMINACION DE HUMEDAD

La muestra a analizar es cuarteada previamente obteniendo una -- muestra representativa del total. Se pesan aproximadamente 5 g. y se pasa al crisol, este se coloca en la estufa a una temperatura de 100-110 °C durante una hora, se lleva al desecador y se pesa posteriormente.

CALCULOS:

$$\% \text{ HUMEDAD} = \frac{P_1 - P_2}{g} \times 100$$

DONDE:

P_1 = peso del crisol con muestra húmeda

P_2 = peso del crisol con muestra seca

g = gramos de muestra

NOTA: EL METODO ES APLICABLE TANTO PARA ARENA SILICE COMO PARA CARBONATO DE SODIO.

c) ANALISIS QUIMICO

1.- ARENA SILICE

Primeramente se seca la arena, después se muele en el mortero y se tamiza por malla 200. De esta se toman 0.5 g. y se pasa a un crisol de platino previamente puesto a peso constante (7); se calcina en la mufla durante una hora a 1000-1100 °C, posteriormente se enfría en el desecador y se pesa (M_1). La misma muestra se humedece con un poco de agua destilada añadiendo 1 ml. de HNO_3 y HF hasta la tercera parte del crisol; se lleva a sequedad con un mechero a calor suave. Se vuelve a adicionar 1 ml. de HNO_3 y HF hasta la tercera parte del crisol llevando de nuevo a sequedad. Esta operación se repite cuatro veces más hasta que desaparezca la sílice por completo. Se seca el contenido del crisol y se calcina en la mufla durante 10 minutos a la temperatura de 1000-1100 °C, se retira el crisol de la mufla, se pasa al desecador y por último se pesa obteniéndose (M_2).

CALCULOS:

$$\% \text{SiO}_2 = \frac{M_1 - M_2}{\text{g. de muestra}} \times 100$$

NOTA: TODOS LOS ATAQUES CON HNO_3/HF SE REALIZAN EN LA CAMPANA CON MUCHO CUIDADO.

Para confirmar los estudios efectuados en rayos X, se efectuó el análisis químico pudiéndose cuantificar la composición de los óxidos - presentes en la siguiente forma:

	ARENA MICHOACAN	ARENA VERACRUZ
Sílice (SiO_2)	97.40 %	98.97 %
Hierro (Fe_2O_3)	0.28 %	0.09 %
Alúmina (Al_2O_3)	0.57 %	0.27 %
Potasio (K_2O)	0.346 %	0.12 %
Calcio (CaO)	0.84 %	0.26 %
Magnesio (MgO)	0.03 %	0.04 %
Sodio (Na_2O)	0.387 %	0.15 %
Titanio (TiO_2)	0.32 %	0.14 %

2.- CARBONATO DE SODIO

Se pesa alrededor de 1 g. de muestra (8), se lleva a un matr az -- Erlenmeyer de 250 ml., se adicionan 100 ml. de agua destilada y 2 gotas de fenolftaleina titulando con solución valorada de HCl (1 N), obteni n dose un volúmen (V_1) con el vire de color rosa a incoloro; sobre la mis ma muestra se agregan 2 gotas de anaranjado de metilo titulando con el mismo ácido hasta llegar a un volúmen (V_2), el vire será de amarillo a canela.

CALCULOS:

$$\% \text{Na}_2\text{O} = \frac{V_1 N(\text{HCl}) \cdot \text{meq. Na}_2\text{O}}{\text{peso de muestra}} \times 100$$

$$\% \text{Na}_2\text{CO}_3 = \frac{V_2 N(\text{HCl}) \cdot \text{meq. Na}_2\text{CO}_3}{\text{peso de muestra}} \times 100$$

$$\text{meq. Na}_2\text{O} = 0.031$$

$$\text{meq. Na}_2\text{CO}_3 = 0.053$$

d) ANALISIS GRANULOMETRICO**DETERMINACION DE AFS:**

La finura de una arena se determina por el tamaño y distribución de sus partículas y el objetivo de este ensayo es determinar el porcentaje de los diferentes tamaños de grano así como la cantidad de arcilla presente en la muestra.

El método más usual para el ensayo de finura consiste en la separación de los diferentes tamaños de grano, pasando la muestra a través de una serie de tamices U.S. de acuerdo con la norma AFS (9).

PROCEDIMIENTO:

Los tamices son montados en una vibradora colocándose uno sobre otro, primero se coloca el tamiz de mayor abertura y el más fino hasta abajo. La muestra es introducida sobre el tamiz superior. Se agita durante 15 minutos, la muestra cae separándose en fracciones según la abertura del tamiz. Los resultados obtenidos se encuentran en el cuadro 3.1; para la arena Veracruz se obtuvo un AFS de 61.13 por lo que corresponde a una clasificación 60-70; para la arena Michoacán se determinó un AFS de 51.64 correspondiente a una clasificación 50-60, ver cuadro 3.2.

A pesar de que el tamaño de las aberturas de los tamices está calculado, comunmente se hace referencia a los tamices de acuerdo a su número, es decir; al número de aberturas del tamiz por pulgada sobre la -- superficie del tamiz. Mientras mayor sea el número del tamiz, menor es la abertura de la misma.

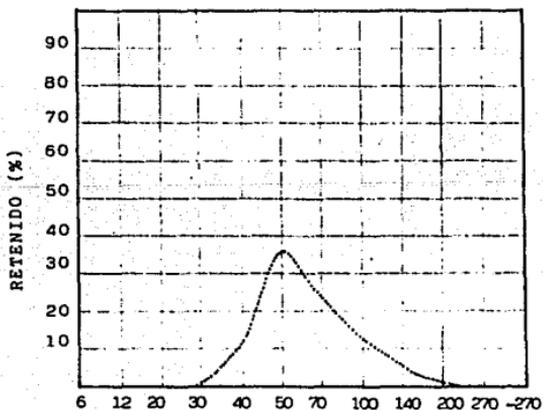
En el cuadro 3.3 se establecen los equivalentes en pulgadas y en-milímetros de los tamices que comunmente son utilizados para la determinación de AFS.

C U A D R O 3.1
ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA ARENA VERACRUZ

No. MALLA	RETENIDO (g)	RETENIDO (%)	FACTOR	PRODUCTO
6			3	
12			5	
20			10	
30	0.3	0.56	20	11.2
40	6.4	11.89	30	356.7
50	19.2	35.69	40	1,427.6
70	9.2	17.10	50	855.0
100	8.3	15.43	70	1,080.1
140	6.3	11.71	100	1,171.0
200	3.3	6.13	140	858.2
270	0.5	0.93	200	186.0
- 270	0.3	0.56	300	168.0
TOTAL	53.8	100.0		6,113.8

No. AFS
61.13

DISTRIBUCION DE MALLAS



No. DE MALLAS

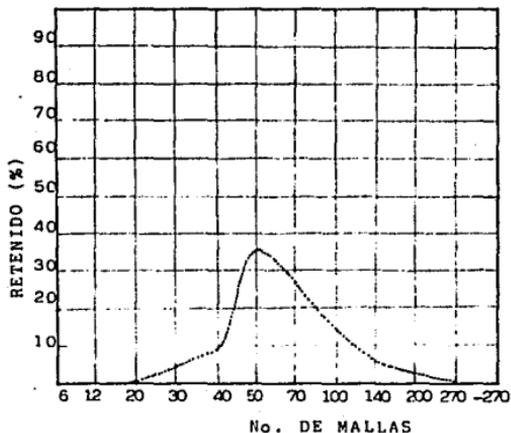
C U A D R O 3.2

ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA ARENA MICHOACAN

No. MALLA	RETENIDO (g)	RETENIDO (%)	FACTOR	PRODUCTO
6			3	
12			5	
20	0.2	0.31	10	3.1
30	3.0	4.63	20	92.6
40	6.0	9.26	30	227.8
50	23.7	36.57	40	1,462.8
70	17.5	27.00	50	1,350.0
100	8.7	13.42	70	939.4
140	3.0	4.63	100	463.9
200	2.4	3.70	140	518.0
270	0.2	0.31	200	62.0
- 270	0.1	0.15	300	45.0
TOTAL	64.8	99.98		5,163.7

No. AFS
51.64

DISTRIBUCION DE MALLAS



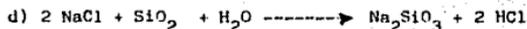
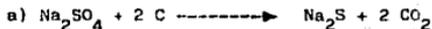
CUADRO 3.3

TABLA DE EQUIVALENCIAS
SERIE DE TAMICES U.S.

No. DE TAMIZ	ABERTURA DEL TAMIZ	
	PULGADAS	MILIMETROS
6	0.1320	3.36
12	0.661	1.68
20	0.0331	0.84
30	0.0232	0.59
40	0.0165	0.42
50	0.0117	0.297
70	0.0083	0.210
100	0.0059	0.149
140	0.0041	0.105
200	0.0029	0.074
270	0.0021	0.053

3.2 METODOS DE OBTENCION

Teóricamente se puede preparar silicato de sodio por medio de las siguientes reacciones (10):



Analizando cada una de las reacciones anteriores podemos decir que las primeras cinco son factibles de llevarse a cabo pero son poco recomendables por las siguientes razones:

1° Se obtienen subproductos que interfieren en el producto de --- reacción.

2° Se generan gases venenosos tendientes a contaminar tanto al --
producto como al medio ambiente

3° Se requieren de altas presiones para llevarse a cabo (reacción e)

Tomando en cuenta lo anterior se seleccionó la reacción f) ya que
cumple con las siguientes características:

- a) Disponibilidad de materia prima, es decir la fácil adquisición
- b) Su bajo costo comparado con el costo de los materiales de las -
otras reacciones
- c) La obtención de dióxido de carbono como subproducto pero como -
sabemos no contamina el producto ni el medio ambiente
- d) La pureza de los reactivos (95-98 %)

En años recientes Hussein, Maksond y Elwan (11) efectuaron un estudio experimental para la obtención de silicato de sodio, utilizando como materia prima:

a) Residuos de ceniza de cáscara de arroz, con una composición de 94.47 % de SiO_2 , 2.03 % Al_2O_3 , 1.14 % CaO , 0.89 % MgO y 1.54 % de óxidos alcalinos.

b) Carbonato de sodio puro y anhidro

c) Hidróxido de sodio (R.A.)

El residuo de las cenizas de la cáscara de arroz es finamente molido y tamizado por la malla 150; siendo mezcladas posteriormente con carbonato de sodio e hidróxido de sodio de acuerdo con las siguientes reacciones:



Las relaciones moleculares calculadas sugieren completa formación de silicato de sodio cuando 106 g. de Na_2CO_3 o 80 g. de NaOH son mezclados con 62 g. de residuos de cenizas de cáscara de arroz. Una vez mezclados se introducen en un contenedor de acero inoxidable con cubierta perforable.

Las muestras obtenidas se filtraron y lavaron con agua destilada para después evaporarse bajo lámparas infrarrojas hasta que en el filtrado se obtuviese la viscosidad deseada.

Los resultados obtenidos se pueden ver en la siguiente tabla:

	% OBTENIDO		
	2.5 atm.	10 atm.	pH
1) Residuos de cenizas de cáscara de arroz + Na_2CO_3	25.5	36	10.6
2) Residuos de cenizas de cáscara de arroz + NaOH	81.5	97	14.0

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede deducir que:

a) Este método es poco usual ya que en el primer caso se obtienen rendimientos bajos y en el segundo caso una alcalinidad bastante alta lo cual no es recomendable tampoco comerciable a pesar del alto rendimiento.

b) El proceso de obtención no es fácil de llevarse a cabo ya que se necesitan equipos muy costosos.

3.3 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO EXPERIMENTAL

Para la obtención experimental de silicato de sodio en el laboratorio se tuvo primeramente que diseñar un modelo de crisol debiendo cumplir con las siguientes condiciones:

- a) Que sea un material inerte, es decir; que no reaccione con la materia prima
- b) Resista temperaturas arriba de 1300 °C
- c) Que tenga una forma y tamaño apropiado, de tal manera que entre en la mufla
- d) Que sea de un material no muy costoso

Después de haber llevado a cabo diferentes pruebas con algunos materiales, se llegó a la conclusión que era conveniente utilizar un material refractario con la siguiente composición:

Alúmina (Al_2O_3)	85 ± 2.0 %
Silice (SiO_2)	11 ± 1.0 %
Fierro (Fe_2O_3)	1 ± 0.5 %
Titanio (TiO_2)	2 ± 0.5 %
Calcio (CaO)	0.5 ± 0.2 %
Magnesio (MgO)	0.1 ± 0.05 %

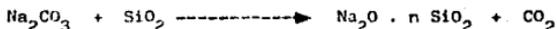
Temperatura máxima de uso: 1650 °C

Módulo de ruptura a temperatura ambiente: 40 - 50 Kg/cm²

Módulo de ruptura a 1370 °C: 50 - 70 Kg/cm²

BALANCE ESTEQUIOMETRICO

Primeramente procedemos a efectuar el balance estequiométrico partiendo de la siguiente reacción:



donde "n" se define como la relación mol.

SECUENCIA DE CALCULO:

- 1.- El primer paso es definir la relación mol de nuestro silicato a obtener, es decir; definir "n"
- 2.- Balancear la reacción estequiométrica
- 3.- Pesar y mezclar perfectamente
- 4.- Introducir el crisol a la mufla cuando la temperatura alcance 1300 °C durante un tiempo de aproximadamente 2 horas
- 5.- El material fundido es recibido en un recipiente de acero inoxidable.

En una segunda etapa el vidrio soluble es sometido bajo presión de vapor para obtenerlo en fase líquida, para lo cual se utilizó un digestor de acero inoxidable con capacidad de 500 ml. diseñado para soportar una presión de 15 Kg/cm^2 .

1° Se pesan 100 g. de vidrio soluble llevándolo al digestor y adicionando 300 ml. de agua, se cierra herméticamente

2° Se calienta con un mechero fisher hasta alcanzar una presión de 8 Kg/cm^2 manteniendo esta durante 45 minutos

3° Se deja enfriar el digestor, el líquido obtenido se recibe en un vaso de precipitados para darle las características requeridas como la densidad y viscosidad.

3.4 ANALISIS DEL PRODUCTO TERMINADO

Obtenido el silicato de sodio en estado líquido, el siguiente paso consiste en efectuar los análisis químicos y físicos, utilizando para ello los métodos que a continuación se describen. Todos los resultados se encuentran en el cuadro 3.4.

a) ANALISIS QUIMICO

Se pesa aproximadamente 1.0 ± 0.1 g. de silicato de sodio líquido (8), se lleva a un matraz Erlenmeyer de 250 ml. agregando 100 ml. de agua destilada agitando hasta homogenización. Se agregan 3 a 5 gotas de rojo de metilo titulando con solución valorada de ácido clorhídrico (0.2 N) hasta obtener un vire de color amarillo a canela anotándose el volumen consumido (V_1).

Sobre la misma muestra se agregan 2-3 g. de fluoruro de sodio (R.A.), agitando hasta disolución completa tornándose la solución de color cangrejo al amarillo original, se titula con solución valorada de ácido clorhídrico (1 N), obteniéndose un vire de amarillo a rosa, se anota el volumen (V_2).

Se neutraliza el exceso de ácido titulando con solución valorada de hidróxido de sodio (1 N) hasta el vire de amarillo a rosa llegando finalmente a un volumen (V_3).

REACCION:



CALCULOS:

$$\% \text{Na}_2\text{O} = \frac{V_1 \times N_{\text{HCl}}^1 \times \text{meq. Na}_2\text{O}}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

$$\% \text{SiO}_2 = \frac{(V_2 \times N_{\text{HCl}}^2 - V_3 \times N_{\text{NaOH}}) \cdot \text{meq. SiO}_2}{\text{gramos de muestra}} \times 100$$

$$\text{meq. Na}_2\text{O} = 0.031$$

$$\text{meq. SiO}_2 = 0.015$$

Conociendo los porcentajes de los óxidos podemos determinar la relación molar de la siguiente manera:

$$R = \frac{\% \text{SiO}_2 / 60}{\% \text{Na}_2\text{O} / 62}$$

Y la determinación de la relación en peso:

$$R = \frac{\% \text{SiO}_2}{\% \text{Na}_2\text{O}}$$

Asimismo se conoce el % de sólidos presentes en la muestra:

$$\% \text{Sólidos} = \% \text{SiO}_2 + \% \text{Na}_2\text{O}$$

b) DETERMINACION DE LA DENSIDAD: (g/cm^3)

Se utiliza una probeta graduada de 10 ml. y una balanza analítica.

Esta determinación se llevó a cabo a temperatura ambiente y a temperaturas de 25 a 40 °C .

Se pesa primeramente la probeta, se llena hasta un cierto volumen y se pesa de nuevo.

La densidad volumétrica se conoce mediante la relación: $\rho = m/v$

DETERMINACION DE LA DENSIDAD: (°Bé)

La densidad es determinada a temperatura ambiente, utilizando para ello una probeta y un densímetro Baumé. La muestra de silicato de sodio se vierte en la probeta evitando derrame, se introduce lentamente el densímetro dejando reposar durante unos minutos para que se equilibre el sistema, posteriormente se toma la lectura directamente en °Bé.

c) DETERMINACION DE LA VISCOSIDAD

Para esta prueba utilizamos el viscosímetro de Haake Falling Ball- (caída del balón), aparato que mide solamente viscosidades de líquidos-newtonianos transparentes. En este caso la viscosidad es correlacionada con el tiempo que un balón requiere para atravesar una distancia definida. El movimiento rotante y deslizante del balón a través de la muestra líquida contenida dentro de un tubo cilíndrico ligeramente inclinado -- está determinado por medio del tiempo. El aparato cuenta con un equipo auxiliar donde es controlada la temperatura en un rango de - 20 a 120 °C, utilizando para ello agua como líquido circulante.

La muestra a analizar es introducida en el tubo interno previniendo la posible formación de burbujas, se estabiliza el sistema y se empieza a hacer las mediciones efectuando cinco corridas para cada caso.

La viscosidad se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$\mu = K (\rho_2 - \rho_1) \theta^2$$

donde:

K = constante del balón (0.575)

ρ_1 = densidad de la muestra

ρ_2 = densidad del balón (8.136 g/cm³)

θ = tiempo (seg)

μ = viscosidad (cps)

d) DETERMINACION DEL pH

Se determina utilizando un potenciómetro Corning Modelo 3-D.

Estas mediciones se tomaron a temperatura ambiente y en todos los casos la lectura fué tomada preparando soluciones al 1 %, el electrodo utilizado es de vidrio y una solución buffer para calibrar el aparato.

C U A D R O 3.4

	Na ₂ O %	SiO ₂ %	RELACION PESO	SOLIDOS %	DENSIDAD g/cm ³	DENSIDAD °Bé	VISCOSIDAD CPS	pH
MUESTRA No. 1	15.29	32.97	2.15	48.26	1.5411	54.2	1,840.06	11.40
MUESTRA No. 2	13.87	32.76	2.36	46.63	1.5388	52.0	933.17	11.25
MUESTRA No. 3	12.23	31.48	2.57	43.71	1.4746	47.6	352.39	10.92
MUESTRA No. 4	9.67	31.02	3.20	40.69	1.4131	42.3	295.33	10.72
MUESTRA No. 5	9.98	33.15	3.32	43.13	1.4067	43.5	902.33	10.63

RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS EXPERIMENTALMENTE

C A P I T U L O I V
R E S U L T A D O S Y G R A F I C A S

En este capítulo se presentan los datos obtenidos experimentalmente al obtener el silicato de sodio y los resultados se representan en gráficas correspondientes para cada una de las propiedades determinadas de nuestro compuesto, se complementa con la discusión de resultados.

Se contempló para la determinación de la viscosidad las temperaturas comprendidas dentro del rango de 20 a 80 °C, en la tabla 4.1 se desglosan con detalle el intervalo de temperaturas para cinco diferentes corridas obteniéndose una media aritmética la cual se utiliza para elaborar dicha gráfica.

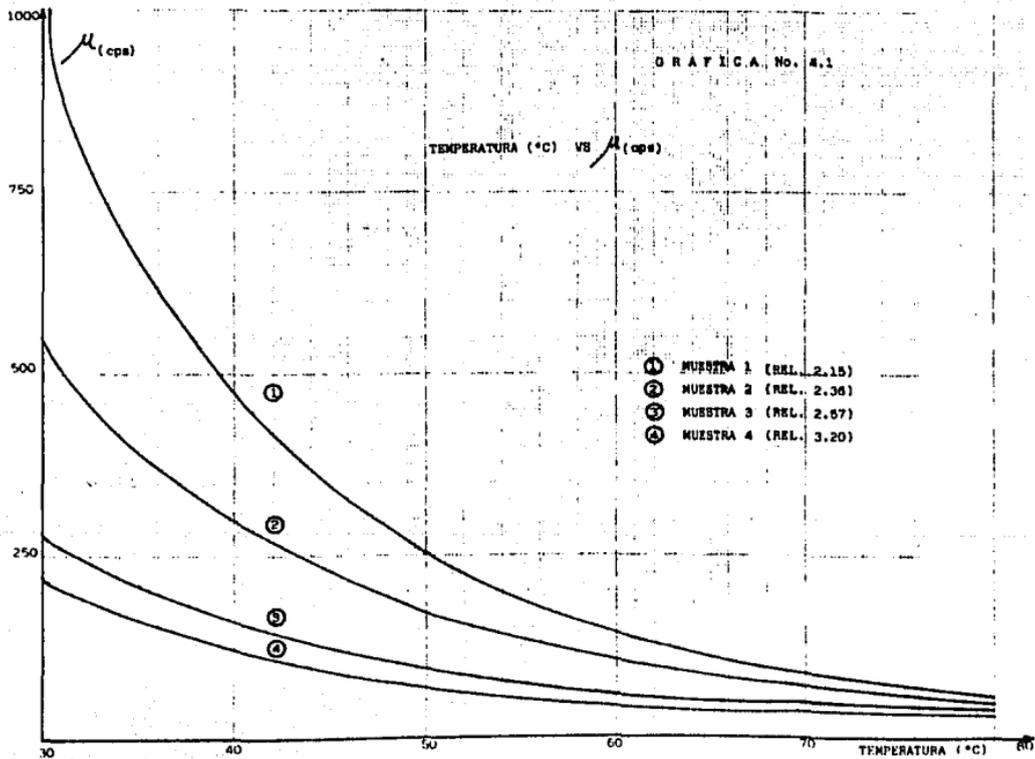
A partir de la muestra original reportada en el cuadro 3.4 referente a la densidad (%Bé), se efectuaron cuatro diluciones para las muestras 1 y 2; en la muestra 3 se diluyó tres veces; para las muestras 4 y 5 solamente se diluyó dos veces, asimismo, fué necesario concentrar las muestras 1, 2, 3 y 4, con el objeto de obtener más puntos dando como resultado gráficas más congruentes.

Con estas nuevas muestras se obtuvieron los resultados reportados en las tablas 4.2 a 4.7 utilizadas para la elaboración de las gráficas correspondientes.

T A B L A 4.1

TEMPERATURA VS VISCOSIDAD

MUESTRA	TEMPERATURA (°C)	20	30	40	50	60	70	80
1	TIEMPO (seg)	242.62	133.54	61.90	33.30	19.30	12.08	7.96
	DENSIDAD (g/cm ³)	1.5411	1.5424	1.5295	1.5121	1.5082	1.4878	1.4668
	VISCOSIDAD (cpu)	1840.06	1014.12	470.28	253.66	147.10	92.36	61.09
2	TEMPERATURA (°C)	20	30	40	50	60	70	80
	TIEMPO (seg)	123.00	72.40	39.45	23.16	14.00	9.96	7.00
	DENSIDAD (g/cm ³)	1.5388	1.5319	1.5267	1.5143	1.5067	1.4726	1.4159
	VISCOSIDAD (cps)	933.17	549.86	299.85	176.36	106.37	76.32	53.81
3	TEMPERATURA (°C)	20	30	40	50	60	70	80
	TIEMPO (seg)	58.00	35.30	20.34	12.84	8.70	6.36	5.30
	DENSIDAD (g/cm ³)	1.4746	1.4731	1.4598	1.4428	1.4332	1.4296	1.4210
	VISCOSIDAD (cps)	444.26	270.48	156.17	98.83	67.06	49.05	40.93
4	TEMPERATURA (°C)	20	30	40	50	60	70	80
	TIEMPO (seg)	42.40	28.06	17.92	11.20	7.27	5.41	4.50
	DENSIDAD (g/cm ³)	1.4131	1.4096	1.3976	1.3884	1.3753	1.3651	1.3539
	VISCOSIDAD (cps)	326.26	217.05	138.87	86.91	56.52	42.13	35.10
5	TEMPERATURA (°C)	20	30	40	50	60	70	80
	TIEMPO (seg)	116.60	76.48	44.50	30.00	20.34	15.08	12.00
	DENSIDAD (g/cm ³)	1.4067	1.4035	1.3956	1.3872	1.3724	1.3649	1.3528
	VISCOSIDAD (cps)	907.37	592.14	344.94	232.83	158.20	117.42	93.61



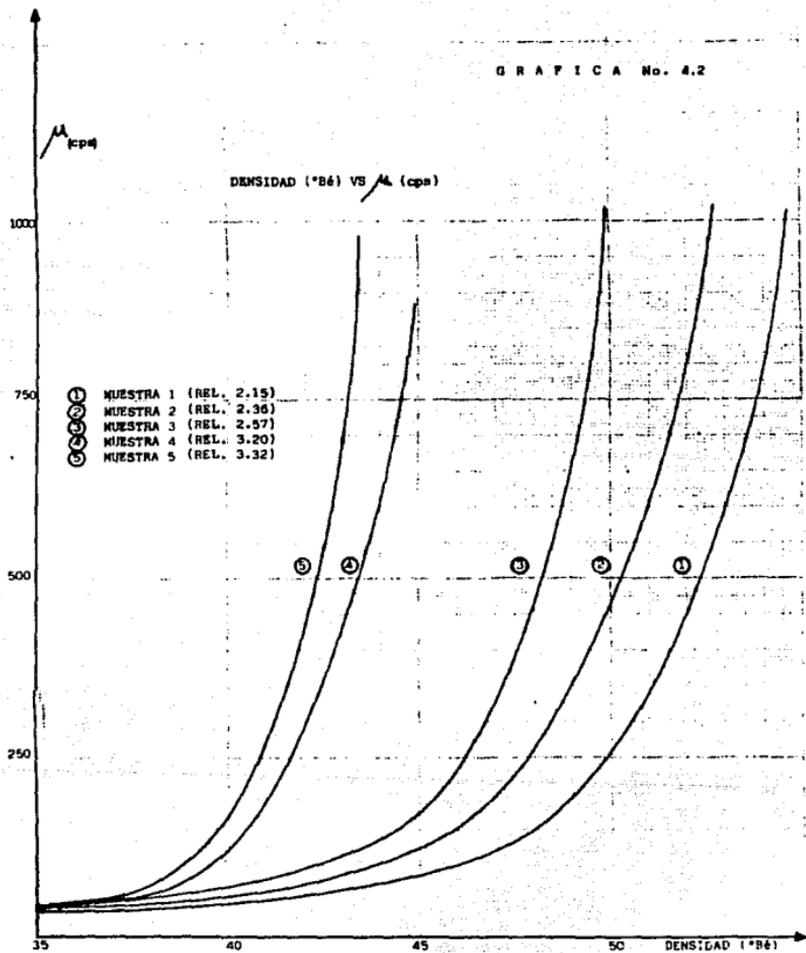
T A B L A 4.2

DENSIDAD ($^{\circ}$ Bé) VS VISCOSIDAD

MUESTRA		35	40	45	50	55
1	DENSIDAD ($^{\circ}$ Bé) ₃					
	DENSIDAD (g/cm ³)	1.2893	1.3624	1.4285	1.4834	1.5582
	TIEMPO (seg)	1.54	3.24	8.86	29.88	320.00
	VISCOSIDAD (cps)	12.13	25.23	68.34	228.60	2420.63
2	DENSIDAD ($^{\circ}$ Bé) ₃	35	40	45	50	55
	DENSIDAD (g/cm ³)	1.3056	1.3556	1.4007	1.5128	1.5459
	TIEMPO (seg)	1.64	3.58	10.20	62.35	465.00
	VISCOSIDAD (cps)	12.88	27.91	79.00	474.90	3524.05
3	DENSIDAD ($^{\circ}$ Bé) ₃	35	40	45	50	55
	DENSIDAD (g/cm ³)	1.2922	1.3592	1.4392	1.5174	
	TIEMPO (seg)	1.80	3.70	16.00	130.72	
	VISCOSIDAD (cps)	14.16	28.82	123.22	994.96	
4	DENSIDAD ($^{\circ}$ Bé) ₃	35	40	45	50	
	DENSIDAD (g/cm ³)	1.3003	1.3801	1.4218		
	TIEMPO (seg)	2.12	11.00	111.26		
	VISCOSIDAD (cps)	16.66	85.46	859.07		
5	DENSIDAD ($^{\circ}$ Bé) ₃	35	40	43.5		
	DENSIDAD (g/cm ³)	1.3057	1.3653	1.4067		
	TIEMPO (seg)	2.80	16.96	116.60		
	VISCOSIDAD (cps)	21.99	132.05	902.33		

* La muestra No. 5 se trabajó hasta los 43.5 $^{\circ}$ Bé.

GRAFICA No. 4.2



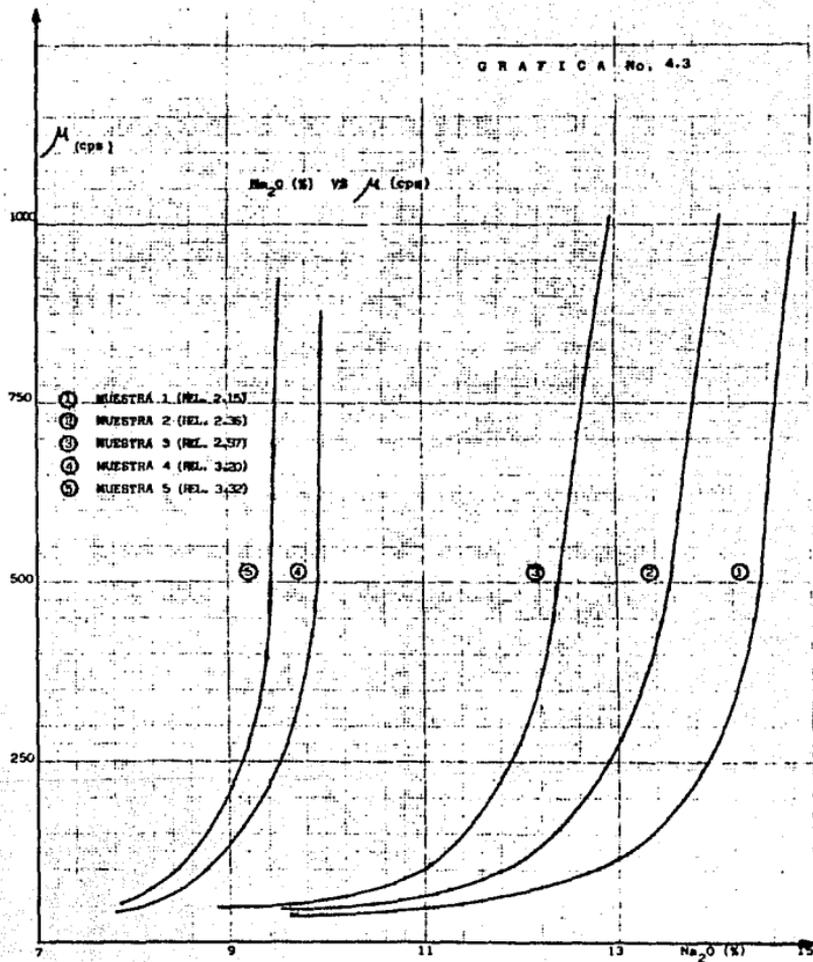
T A B L A 4.3

% Na₂O VS VISCOSIDAD

MUESTRA

1	DENSIDAD (°Bé) ₃	35	40	45	50	55
	DENSIDAD (g/cm ³)	1.2893	1.3624	1.4285	1.4834	1.5582
	TIEMPO (seg)	1.54	3.24	8.86	29.88	320.00
	VISCOSIDAD (cps)	12.13	25.25	68.34	228.60	2420.63
	Na ₂ O (%)	9.45	11.02	12.50	14.05	15.48
2	DENSIDAD (°Bé) ₃	35	40	45	50	55
	DENSIDAD (g/cm ³)	1.3056	1.3555	1.4007	1.5128	1.5459
	TIEMPO (seg)	1.64	3.58	10.20	62.35	465.00
	VISCOSIDAD (cps)	12.88	27.91	79.00	474.90	3524.05
	Na ₂ O (%)	9.26	10.61	11.88	13.48	14.63
3	DENSIDAD (°Bé) ₃	35	40	45	50	55
	DENSIDAD (g/cm ³)	1.2922	1.3592	1.4392	1.5174	
	TIEMPO (seg)	1.80	3.70	16.00	130.72	
	VISCOSIDAD (cps)	14.16	28.83	123.22	994.96	
	Na ₂ O (%)	8.93	10.23	11.51	12.96	
4	DENSIDAD (°Bé) ₃	35	40	45	50	
	DENSIDAD (g/cm ³)	1.3003	1.3801	1.4218		
	TIEMPO (seg)	2.12	11.00	111.26		
	VISCOSIDAD (cps)	16.66	85.46	859.07		
	Na ₂ O (%)	7.85	8.93	9.97		
*5	DENSIDAD (°Bé) ₃	35	40	43.5		
	DENSIDAD (g/cm ³)	1.3057	1.3653	1.4067		
	TIEMPO (seg)	2.80	16.96	116.60		
	VISCOSIDAD (cps)	21.99	132.05	902.33		
	Na ₂ O (%)	7.83	8.83	9.98		

* La muestra No. 5 se trabajó hasta los 43.5 °Bé.



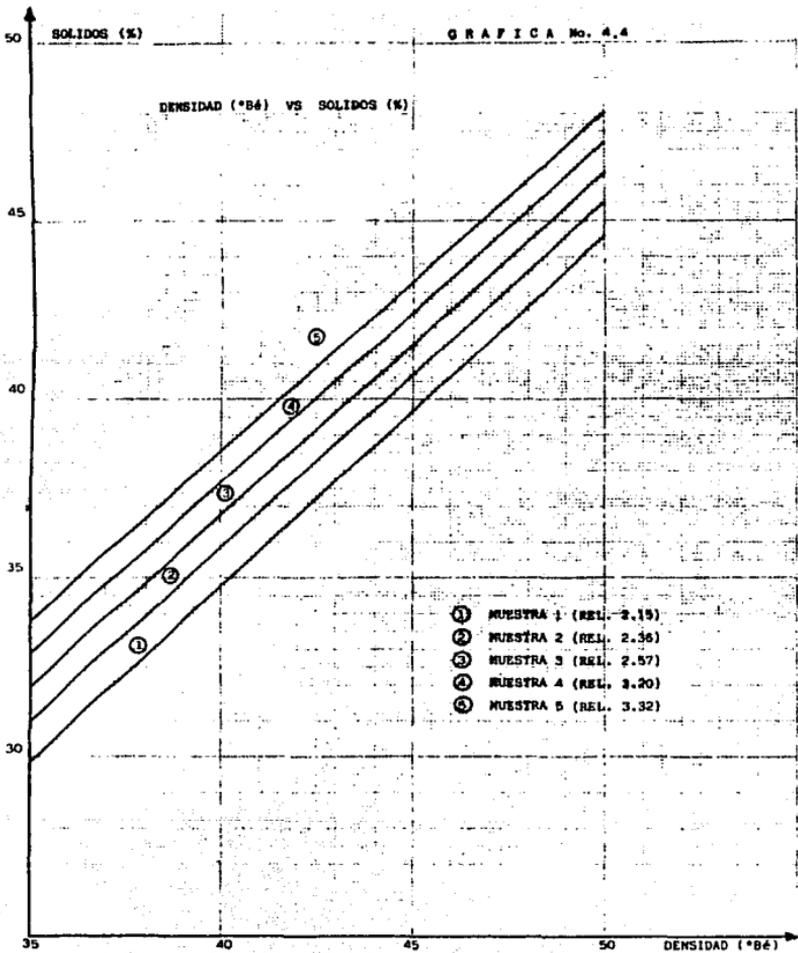
T A B L A 4.4

DENSIDAD (°Bé) VS SÓLIDOS (%)

MUESTRA

1	DENSIDAD (°Bé)	35	40	45	50	55
	Na ₂ O (%)	9.45	11.02	12.50	14.05	15.48
	SiO ₂ (%)	20.54	23.82	26.80	30.43	33.07
	SÓLIDOS (%)	29.99	34.84	39.30	44.48	48.55
2	DENSIDAD (°Bé)	35	40	45	50	55
	Na ₂ O (%)	9.26	10.61	11.88	13.48	14.63
	SiO ₂ (%)	21.98	25.21	28.19	31.99	34.69
	SÓLIDOS (%)	31.24	35.82	40.07	45.47	49.32
3	DENSIDAD (°Bé)	35	40	45	50	55
	Na ₂ O (%)	8.93	10.23	11.51	12.96	
	SiO ₂ (%)	23.12	26.35	29.62	33.41	
	SÓLIDOS (%)	32.05	36.58	41.13	46.37	
4	DENSIDAD (°Bé)	35	40	45	50	
	Na ₂ O (%)	7.85	8.93	9.97		
	SiO ₂ (%)	25.12	28.61	32.01		
	SÓLIDOS (%)	32.97	37.54	41.98		
*5	DENSIDAD (°Bé)	35	40	43.5		
	Na ₂ O (%)	7.83	8.83	9.98		
	SiO ₂ (%)	25.97	29.24	33.15		
	SÓLIDOS (%)	33.80	38.07	43.13		

* La muestra No. 5 se trabajó hasta los 43.5 °Bé.



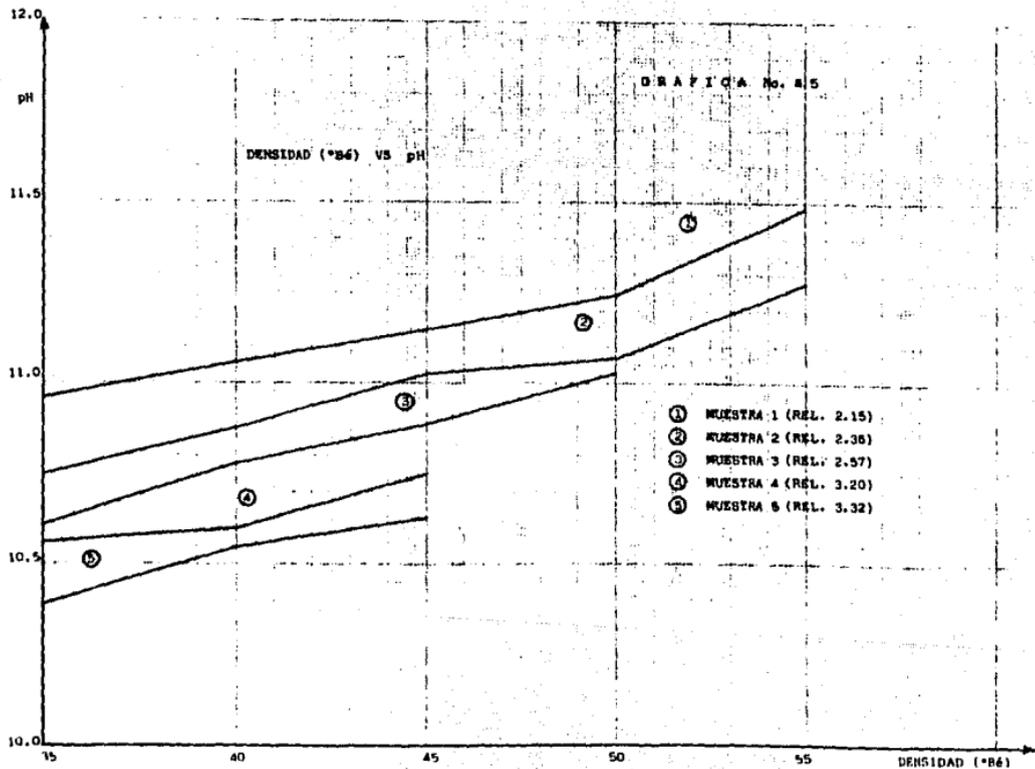
T A B L A 4.5

DENSIDAD (°Bé) VS pH

MUESTRA

1	DENSIDAD (°Bé)	35	40	45	50	55
	pH	10.96	11.06	11.15	11.24	11.49
2	DENSIDAD (°Bé)	35	40	45	50	55
	pH	10.75	10.88	11.03	11.07	11.28
3	DENSIDAD (°Bé)	35	40	45	50	55
	pH	10.63	10.78	10.89	11.03	
4	DENSIDAD (°Bé)	35	40	45	50	
	pH	10.56	10.60	10.75		
*5	DENSIDAD (°Bé)	35	40	43.5		
	pH	10.40	10.55	10.63		

* La muestra No. 5 se trabajó hasta los 43.5 °Bé.



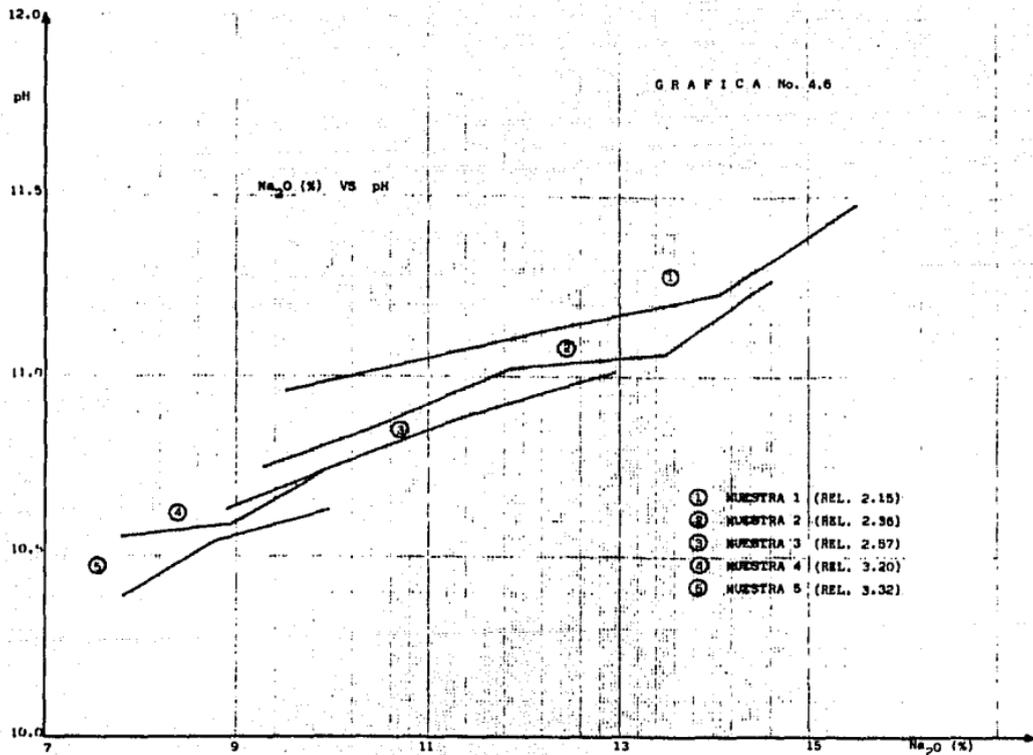
T A B L A 4.6

Na O (%) VS pH

MUESTRA

1	DENSIDAD (°Bé)	35	40	45	50	55
	Na ₂ O (%)	9.45	11.02	12.50	14.05	15.48
	pH ^c	10.96	11.06	11.15	11.24	11.49
2	DENSIDAD (°Bé)	35	40	45	50	55
	Na ₂ O (%)	9.26	10.61	11.88	13.48	14.63
	pH ^c	10.75	10.88	11.03	11.07	11.28
3	DENSIDAD (°Bé)	35	40	45	50	55
	Na ₂ O (%)	8.93	10.23	11.51	12.96	
	pH ^c	10.63	10.78	10.89	11.03	
4	DENSIDAD (°Bé)	35	40	45	50	
	Na ₂ O (%)	7.85	8.93	9.97		
	pH ^c	10.56	10.60	10.75		
*5	DENSIDAD (°Bé)	35	40	43.5		
	Na ₂ O (%)	7.83	8.83	9.98		
	pH ^c	10.40	10.55	10.63		

* La muestra No. 5 se trabajó hasta los 43.5 °Bé.

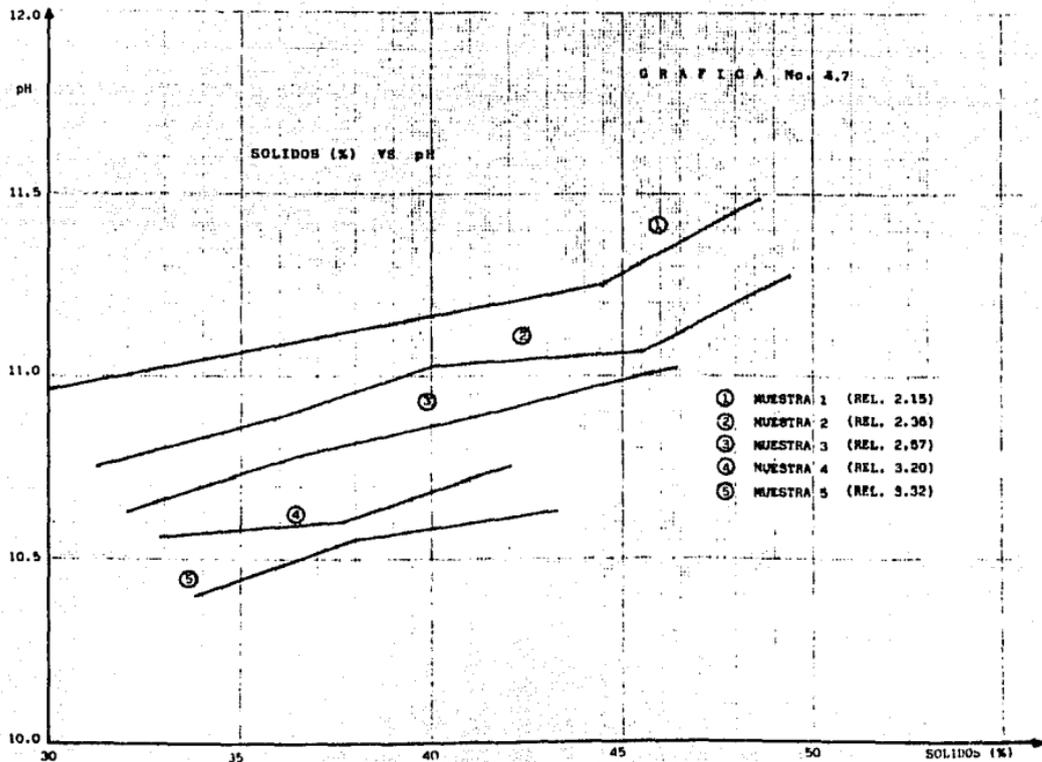


T A B L A 4.7

SOLIDOS (%) VS pH

MUESTRA		35	40	45	50	55
1	DENSIDAD (°Bé)	35	40	45	50	55
	Na ₂ O (%)	9.45	11.02	12.50	14.05	15.48
	SiO ₂ (%)	20.54	23.82	26.80	30.43	33.07
	SOLIDOS (%)	29.99	34.84	39.30	44.48	48.55
	pH	10.96	11.06	11.15	11.24	11.49
2	DENSIDAD (°Bé)	35	40	45	50	55
	Na ₂ O (%)	9.26	10.61	11.88	13.48	14.63
	SiO ₂ (%)	21.98	25.21	28.19	31.99	34.69
	SOLIDOS (%)	31.24	35.82	40.07	45.47	49.32
	pH	10.75	10.88	11.03	11.07	11.28
3	DENSIDAD (°Bé)	35	40	45	50	55
	Na ₂ O (%)	8.93	10.23	11.51	12.96	
	SiO ₂ (%)	23.12	26.35	29.62	33.41	
	SOLIDOS (%)	32.05	36.58	41.13	46.37	
	pH	10.63	10.78	10.89	11.03	
4	DENSIDAD (°Bé)	35	40	45	50	
	Na ₂ O (%)	7.85	8.93	9.97		
	SiO ₂ (%)	25.12	28.61	32.01		
	SOLIDOS (%)	32.97	37.54	41.98		
	pH	10.56	10.60	10.75		
*5	DENSIDAD (°Bé)	35	40	43.5		
	Na ₂ O (%)	7.83	8.83	9.98		
	SiO ₂ (%)	25.97	29.24	33.15		
	SOLIDOS (%)	33.80	38.07	43.13		
	pH	10.40	10.55	10.63		

* La muestra No. 5 se trabajó hasta los 43.5 °Bé.



DISCUSION DE RESULTADOS

A partir de los resultados obtenidos experimentalmente podemos hacer las siguientes observaciones:

En la gráfica 4.1 (T VS μ), se puede ver que el comportamiento del silicato tiende a ser lineal cuando se tienen relaciones altas; cabe mencionar que las mediciones de viscosidad y densidad (muestra 5) fueron dispares que no fué posible incluirlo en la gráfica; podríamos pensar que esto se debe a la formación de un gel de óxido de silicio, el cual se ve favorecido al aumentar la temperatura, en cambio cuando las temperaturas son bajas se tienen viscosidades altas.

En la gráfica 4.2 ($^{\circ}\text{Bé}$ VS μ), podemos apreciar claramente la asimetría que existe entre ambas propiedades, es decir; que a mayor densidad se tiene una mayor viscosidad, por consiguiente a viscosidades altas mayor densidad; suponemos que esto es debido principalmente al contenido de sólidos presentes en la muestra ya que en las soluciones de silicato de sodio, los iones SiO_2 y Na_2O tienden a estar más unidos entre mayor sea la relación, esto se confirma con el aumento de la temperatura.

Es importante mencionar que para esta prueba la muestra 3 se trabajó a los 50 °Bé, la muestra 4 hasta los 45 °Bé y la muestra 5 a 43.5 °Bé; la explicación se debe básicamente a que como son relaciones altas (2.57, 3.20 y 3.32 respectivamente), con el paso del tiempo tienden a formar geles a consecuencia de la pérdida de agua, por consiguiente es muy difícil llevarlas hasta una concentración mayor.

En la gráfica 4.3 ($\text{Na}_2\text{O} \%$ VS μ), la viscosidad es mayor cuando la concentración de iones Na^+ aumenta, podríamos explicar este fenómeno estableciendo que tenemos un gel el cual va a estar influenciado por la presencia de estos iones Na^+ ; esto es debido a que al aumentar la concentración favorece la aglomeración de los iones lo cual se detecta experimentalmente con un aumento en la viscosidad.

Como la viscosidad es una propiedad física importante de las soluciones de silicato de sodio soluble y desde el punto de vista aplicación, es importante discutir la viscosidad de estas soluciones como una función de la relación, concentración y temperatura; se deduce entonces que entre mayor sea la relación en peso el % de Na_2O tenderá a disminuir.

En la gráfica 4.4 (°Bé VS Sólidos) se observa la influencia de la concentración de los sólidos en función de la densidad, la cual tiende a aumentar entre mayor sea el contenido de sólidos. En las pruebas ---

experimentales se ha observado que las soluciones de silicato de sodio tienden a aglomerarse cuando la densidad se incrementa; esto se favorece debido a la pérdida de agua y por consiguiente al alto contenido de sólidos.

En la gráfica 4.5 (°Bé VS pH) se aprecia un notable incremento en el pH al aumentar la densidad (°Bé); las soluciones de silicato más silíceas, es decir; con mayor contenido de óxido de silicio tienden a agruparse entre sí formando soluciones más adhesivas por lo que el pH en estas soluciones tenderá a disminuir debido al bajo contenido de álcali.

En la gráfica 4.6 (%Na₂O VS pH) se observa que al tener un mayor porcentaje de Na₂O implica una mayor concentración de los iones CH⁻, como consecuencia existirá una mayor alcalinidad; en cambio al aumentar la relación en peso la concentración de los iones sodio disminuye provocando con esto que el pH sea menor.

En la gráfica 4.7 (% Sólidos VS pH) se confirma lo dicho en las gráficas 4.5 y 4.6 ya que al variar la relación en peso se observa una clara diferencia en el comportamiento de las concentraciones de los iones OH⁻, por otro lado, el % de sólidos se obtiene sumando el % de Na₂O y el % de SiO₂, por lo que se deduce que a relaciones bajas existirá mayor pH.

C O N C L U S I O N E S

El llevar a cabo este trabajo con arenas mexicanas sustituyendo arenas de importación demuestran una vez más que la calidad de las arenas Veracruz y Michoacán cumplen con las condiciones requeridas para este experimento.

De las dos arenas utilizadas podría seleccionarse de preferencia la arena del Estado de Veracruz por contener el mayor porcentaje de SiO_2 y menor contenido de Fe_2O_3 , con lo cual se obtuvo un producto terminado de mejor calidad.

Respecto al tamaño de partícula se puede concluir que el tamaño óptimo es el de AFS 50-60.

La pureza del carbonato de sodio es deseable de 90-95 % .

Se diseñó un crisol adecuado a las condiciones de laboratorio, logrando con ello disminuir la contaminación del producto, así como la cantidad mínima requerida para llevar a cabo los diferentes análisis físicoquímicos.

Las condiciones de operación para la obtención del vidrio soluble fueron:

- a) Tiempo de permanencia en la mufla de 120 a 150 minutos a una temperatura de 1300-1350 °C.
- b) La digestión o solubilización del vidrio fué a la presión de 8 Kg/cm² en un tiempo de 35-45 minutos.
- c) La solución es concentrada a temperatura de 50 - 70 °C con el objeto de darle las propiedades fisicoquímicas finales.

Dentro de las aplicaciones generales de este compuesto fué interesante investigar los usos en diferentes industrias concluyendo después de nuestra investigación de que el más utilizado es el de relación en peso 3.22; también cabe mencionar que esta relación dentro del mercado resulta ser el más económico en comparación con la de relación 2.35.

Los resultados experimentales se presentan al final del capítulo IV.

Dada la nobleza de este producto, así como del bajo costo de la materia prima mexicana, consideramos que este trabajo puede llevarse a cabo a nivel industrial, lo cual generaría una fuente de trabajo disminuyendo las importaciones.

B I B L I O G R A F I A

- 1.- VAIL, JAMES G.
SOLUBLES SILICATES IN INDUSTRY
AMERICAN CHEMICAL SOCIETY, MONOGRAPH SERIES
1928
- 2.- NOYCE, WILLIAM K.
MOLECULAR MODELS OF SILICATES FOR LECTURE DEMONSTRATION
JOURNAL OF CHEMICAL EDUCATION
JANUARY 1951, PAG. 29-31
- 3.- PERRY, ROBERT H.
PERRY'S CHEMICAL ENGINEERS HANDBOOK
ED. M'C GRAW HILL
6a EDITION
- 4.- B. GIRGENSONS
COMPENDIO DE QUIMICA COLOIDAL
CIA. EDITORIAL CONTINENTAL, S.A.
1965
- 5.- KIRK, RAYMOND E./OHTMER, DONALD F.
ENCICLOPEDIA DE TECNOLOGIA QUIMICA
TOMO XIV
UNION TIPOGRAFICA EDITORIAL HISPANO MEXICANA

- 6.- WELDES, HELMUT H/LANGE, ROBERT K.
PROPERTIES OF SOLUBLES SILICATES
INDUSTRIAL AND ENGINEERING CHEMISTRY
VOL. 61 No. 4
APRIL 1969 PAG. 2-44

- 7.- ANALISIS DE MINERALES
COMISION DE FOMENTO MINERO
5a EDICION
1977

- 8.- ANALISIS DE SILICATOS SOLUBLES
MANUAL DE LABORATORIO S.E.S.A.
CASTRO L. MARIA LUISA
1987

- 9.- AMERICAN FOUNDRYME'S SOCIETY
DES PLAINES ILLINOIS, E.U.A.
1a EDITION
1967

- 10.- SCHWEIKER, G.C.
SODIUM SILICATES AND SODIUM ALUMINOSILICATES
J. AM. OIL CHEMISTS SOCIETY
JANUARY VOL. 55 PAG. 36-40

- 11.- HESSEIN, A.T./MAKSOU, ADEL M./ELWAN, S.M.
THE HIDROTERMAL PREPARATION OF SODIUM SILICATE
J. APR. CHEM. BIOTECHNOLOGIC
VOL. 22 PAG. 659-665
1972

- 12.- FALCONE, JAMES S.
SOLUBLE SILICATES
ACS SIMPOSIUM SERIES
AMERICAN CHEMICAL SOCIETY
1982

- 13.- MANUAL DE TOXICOLOGIA INDUSTRIAL
EDITORIAL URMO
1968

- 14.- I.P. MUJLIONOVA/A.Y. AVERBUJ,
D.A. KUZNETZOV/A.G. AMELIN,
E.S. TUMARKINA/I.E. FURMER
TECNOLOGIA QUIMICA GENERAL
EDITORIAL MIR MOSCU
1979 PAG. 111-129