

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA

Incorporada a la U. N. A. S. A.

ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS

**ESTUDIO FISICO - QUIMICO SOBRE ARENAS
CUARZOSAS MEXICANAS**

T E S I S

para optar por el título de

QUIMICO

MARIA LUISA LORENZO HINZPETER

MEXICO, D. F.

1964



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA

Incorporada a la U. N. A. M.

ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS

ESTUDIO FISICO - QUIMICO SOBRE ARENAS

CUARZOSAS MEXICANAS

T E S I S

para optar por el título de

QUIMICO

MARIA LUISA LORENZO HINZPETER

MEXICO, D. F.

1964

UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA

Incorporada a la U. N. A. M.

ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS

**ESTUDIO FISICO-QUIMICO SOBRE ARENAS
CUARZOSAS MEXICANAS**

T E S I S

para optar por el título de

QUIMICO

MARIA LUISA LORENZO HINZPETER

MEXICO. D. F.

1964

A Mis Padres:
el Sr. José Lorenzo y
la Sra. Ma. Luisa Hinzpeter de Lorenzo
como símbolo de mi gratitud
y eterno cariño.

R E C O N O C I M I E N T O

Desee expresar mi reconocimiento al Sr. Ing. Guillermo P. Salas por haberme permitido realizar este trabajo en el Instituto de Geología de la UNAM, y de modo muy especial al Sr. Ing. Alberto Obregón y al Sr. Prof. Eduardo Schmitter por la dirección técnica que me brindaron.

Así mismo, agradezco al Sr. Ing. Francisco Schnabel, al Sr. Ing. Guillermo Díaz Araiza de "Materias Primas Monterrey, S.A."; al Sr. Ing. Víctor M. Gómez de la "Cía. Mexicana de Refractorios A. P. Green, S.A."; al Sr. Ing. Manuel Mercado y al Sr. Ing. Raul Guerrero C. de la "Metalúrgica Alemana, S.A."; al Sr. Dr. Agustín Ayala Castañares, al Sr. Ing. Ernesto Begoña, al Sr. Ing. Nicolás Yris R., y al quím. Renán Pérez P. de Instituto de Geología su valiosa colaboración.

CONTENIDO

CAPITULO I.

INTRODUCCION.

CAPITULO II.

GENERALIDADES SOBRE ARENAS.

ESTADISTICAS Y CONSUMO DE LAS ARENAS.

a) Solicitudes de importación.

b) Entradas en el Puerto fronterizo de Nuevo Laredo.

LOCALIZACION DE LAS MUESTRAS DE ARENA.

CAPITULO III.

REQUISITOS DE LAS ARENAS EN LA INDUSTRIA.

a) Vidriería.

b) Fundición.

c) Productos refractarios.

d) Usos metalúrgicos.

e) Abrasivos.

f) Cerámica.

g) Otros usos.

CAPITULO IV.

PROPIEDADES FISICAS DE LAS ARENAS.

a) Permeabilidad.

b) Cono pirométrico.

c) Granulometría.

d) Morfología de las arenas.

e) Clasificación de las arenas.

f) Análisis por fluorescencia de rayos X.

CAPITULO V.

EVALUACION DE LOS METODOS DE ANALISIS QUIMICO APLICADOS A LAS ARENAS.

Procedimiento usual para análisis de silicatos en la industria.

CAPITULO VI.

RESULTADOS DEL ANALISIS AL QUE SE SOMETIERON LAS MUESTRAS.

- a) Propiedades físicas.
- b) Análisis químicos.

CAPITULO VII.

CONCLUSION.

C A P I T U L O I .

INTRODUCCION.

Debido al enorme incremento que tuvieron las explotaciones de minerales no-metálicos en la República Mexicana durante la década de 1950 a 1960, se intensificaron las exploraciones de arena silicosa o arena cuarzosa.

Es de notar que los diferentes estudios realizados hasta la fecha, en relación con estos materiales tienden en lo general a completar trabajos o investigaciones tanto geológicas (García Lozano)(5), como de carácter estrictamente comercial e industrial, sólo para conocer si las arenas de un determinado depósito son susceptibles de ser usadas en algunas industrias, en particular vidrieras, fundiciones, productos refractarios, cerámica, etc.; pero ninguna de estas ha tratado de estudiar exhaustivamente los depósitos conocidos.

Con la mira de hacer un pequeño intento para llenar esta laguna, se emprendió la presente tesis en la que se tratará de estudiar un grupo de arenas cuarzosas bajo todos los aspectos que las puedan hacer industrialmente interesantes.

Indudablemente que, desde el punto de vista científico, se debería haber partido para esta investigación con las muestras tal como se encuentran en la naturaleza, sin tratamiento de ninguna clase, pero una investigación emprendida con este propósito requeriría demasiado tiempo y necesitaría hacerse una serie de tesis, con problemas separados en cada caso; llevaría aparejado también el estudio de los métodos de beneficio más favorables en cada uno de los tipos de los di-

versos yacimientos.

En el presente estudio únicamente se desea valorar las arenas que actualmente se utilizan en las diversas industrias. Para lo cual se procedió a solicitar de los diversos productores muestras del material que estuvieran ofreciendo a las industrias, o el producto que en último caso pudieran ofrecer si las cualidades y tonelaje de sus yacimientos permitieran una explotación adecuada de los mismos.

Como la cantidad de yacimientos que se hubieran podido estudiar sobrepasaría con mucho las posibilidades, tanto de equipo de platino para análisis, como de la ayuda de diferentes industrias, para hacer las determinaciones específicas, se limitó el número de muestras con las que se iba trabajar, a 14; las cuales se someterían a todas las pruebas necesarias para su caracterización y valoración. Para ello se hizo caso omiso de los datos que en algunos casos son suministrados por los vendedores, tales como análisis químicos y otras diversas especificaciones, con objeto de hacer el estudio comparativo completo de cada una de las muestras, con los mismos errores relativos de análisis. Merced a esto fue posible en algunos casos detectar ciertas fallas en los datos comerciales, por ejemplo en la muestra-tipo de arena cuarzosa del National Bureau of Standards, fue posible comparar las técnicas de análisis y eliminar errores.

Esta tesis fue desarrollada principalmente en el Laboratorio de Química del Instituto de Geología, pero para poder lograr los mejores resultados se utilizarán sucesivamente los diversos laboratorios con que está equipado el citado Instituto y se solicitó el asesoramiento de los especialistas en cada ramo.

Es digna de mencionarse la colaboración de diversos profesionistas e industriales, sin cuyos -- consejos y ayuda no se hubieran podido lograr datos específicos de diversas industrias.

C A P I T U L O II.

GENERALIDADES SOBRE ARENAS.

El término "arena" está dado, geológicamente, a todas las substancias minerales constituidas por granos cuyo diámetro fluctúa entre 0.1 a 1.0 milímetros, no importando su composición química.

La arena es un conjunto de partículas -- que se desprenden de las rocas por la acción de las lluvias y demás meteoros. Según el tamaño del grano se denominan de la siguiente manera: arena gruesa, mediana, fina y muy fina.

Debido a su forma, los granos pueden ser redondos, subangulares y angulares. Según la naturaleza de sus elementos, resisten la acción de los agentes atmosféricos, o cambian gradualmente su constitución debido a la influencia de estos agentes. Hay arenas que se mantienen invariables, como las arenas de cuarzo puro, así como las que no tienen más que elementos solubles -- como las arenas calcáreas, las cuales son inapropiadas para el cultivo.

Según su constitución las arenas se dividen en:

1.- Cuarzosas.- Suelen contener de 2 a 20 % de impurezas de otros minerales como feldspatos y micas. -- Frecuentemente estas arenas son ferruginosas, lo que se conoce porque los granos se cubren de una capa de óxidos de hierro hidratados. Cuando este material se encuentra mezclado con piedras preciosas como diamante, rubí, granate, etc., o con metales como el oro, platino y estaño, en cuyo caso se benefician.

2.- Calcáreas.- Se componen de granitos de natura-

lesa calcárea y se presentan en forma de arenas movedizas, a veces de origen coralífero. A menudo se encuentran mezcladas con restos fósiles como conchas, huesos, etc., así como también algo de cuarzo, dando lugar a las arenas calcáreo-cuarzosas o cuarzo-calcáreas.

3.- Dolomíticas.- Son las producidas por la descomposición de dolomitas o sea un carbonato de calcio y magnesio ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$).

4.- Glaucóníticas.- Son mezclas de cuarzo y glauconita. La glauconita es un silicato de hierro hidratado y potasio. Se usa como cambiador catiónico para ablandar el agua y para moldes de fundición.

5.- Ferruginosas.- En la composición de estas arenas predomina el hierro magnético, mezclado con granate zirconio, rubí y cuarzo, conteniendo platino y oro; provienen de la disolución de minerales ricos en hierro magnético, que se depositan en el fondo de arroyos, ríos o terrenos volcánicos.

6.- volcánicas.- Se encuentran a menudo en capas sedimentarias en las cercanías de los volcanes y se componen de pedacitos de lava y muchas veces de cristales procedentes de minerales cristalizados en la lava como sanidino, granate, etc. Los granos más finos de ésta arena es lo que se conoce como ceniza volcánica.

Las arenas se presentan por lo general en terrenos de formación reciente como la aluvial, la diluvial, el terciario y el cuaternario.

ESTADISTICAS Y CONSUMO DE LAS ARENAS.

a) Solicitudes de importación.

Los datos presentados en las siguientes tablas fueron colectados por el Ing. Nicolas Yris E. de

los archivos aduanales.

Las siguientes solicitudes fueren aprobadas por el comite de importación desde el 12 de mayo -- hasta el 8 de septiembre de 1961.

	P E S O	V A L O R
1) Vidriera Monterrey, S.A.,	12 800 T	2 477 770
2) Vidrio Plano, S.A.,	6 000	228 000
3) Fabrica Nacional de Vidrio,	500	34 375
4) Cristales Mexicanos,	3 000	114 000
5) Vidrio Neutro,	250	8 595
6) Metalúrgica Alemana,	40	11 120
7) Representaciones Técnicas,	50	3 000
8) Concretos Exactos,	3 000	37 500
9) Cia. Sherwin Williams,	227 Kg	1 400
10) Productos Químicos y Oleo- ginosos,	1 600 T	44 000
11) Ferro-Enamel de México,	60	58 800
12) Troqueles y Esmaltes,	24	17 350
13) Jacuzzi Universal,	1 000	42 185
14) Hierro Maleable de México,	300	13 000
15) Bon Ami de México,	300	44 061
16) Válvulas y Artículos Sani- tarios,	51	1 925
17) Fundición de Hierro y Acero,	500	7 500
18) Fundición BAFSA,	700	10 500
19) Carlos Leal Garza,	1 000	15 000
20) Juan Ignacio Lozano,	1 000	25 000
21) José González Gosa,	3 000	37 500
22) Félix Treviño González,	200	3 750
23) Rafael Hinojosa Ramírez,	300	11 250
24) José García Morales "Crama- ría La Higiénica",	1 000	750 000
25) Electrocerámica, S.A.,	200	30 000

	P E S O		V A L O R	
26) Fabrica de Losa Nueva San Isidro,	220 T	8	6	000
27) Ventas Técnicas, S.A.,	200		8	000
28) Productos Veraex,	400 Kg		1	000
29) Acero Solar,	100 T		10	000
30) Industrias Purex,	250		165	361

b) Entradas en el Puerto Fronterizo de Nuevo Laredo

Las entradas de carros de ferrocarril y cañones en este Puerto Fronterizo en el periodo comprendido entre el 18 de febrero y el 11 de agosto de 1961 es el siguiente:

FOR EMPRESAS O CONSIGNATARIOS	Toneladas
Vidriera Monterrey, S.A.,	8 658
Vidriera México, S.A.,	3 634
Fundidora de Hierro y Acero,	863
Vidrio Plano, S.A.,	4 022
Cristales Mexicanos, S.A.,	2 449
Fabrica Nacional de Vidrio,	445
Troqueles y Esmaltes, S.A.,	106
Ferro-Esmal de México, S.A.,	82
Productos Químicos leaginosos, S.A.,	458
Válvulas y Artículos Sanitarios, S.A.,	52
Jacuzzi Universal, S.A.,	143
Industrias Cornejo, S.A.,	349
Bon Ami de México,	92
Nueva San Isidro de México,	102
Cristaleria, S.A.,	1 409
Talleres Industriales, S.A.,	352
AMSCO MEX	197
Félix Treviño González,	16

FOR EMPRESA O CONSIGNATARIO	Toneladas
Vidriera González,	95
Purex, S.A.,	73
Ventas Técnicas, S.A.,	168
Productos Cerámicos, S.A.,	46
Fundidores, S.A.,	10
Hierro Maleable de México, S.A.,	401
NIBCO, S.A.,	49
Electrocerámica, S.A.,	137
José Fuentes de México,	48
Fundición BAFSA,	115
Guirsaletes Mexicanos, S.A.,	51
Sanitarios El Aguila, S.A.,	46
Cerámica Regiomontana, S.A.,	46
Vidriera Los Reyes, S.A.,	1 483
Federico Gutierrez,	155
Vidrio Neutro, S.A.,	150
Tomás Davila B.,	198
Proveedora de Productos Químicos de Monterrey,	152
Compañía Fundidora del Norte, S.A.,	51
Compañía Industrial del Norte,	37

c) Consumo de las diferentes industrias.

El consumo de arena cuarzosa en las diferentes industrias en los años de 1959, 1960, 1961 y --- 1962, esta dado en las tablas # 1, # 2, # 3, y # 4.

Tabla # 1.

1959			
INDUSTRIA	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR (millas de pesos)
Vidrio	Ton.	112 035	21 525
Mecanicos a base de cemento	m ³ .	57 870	929
Ladrillos, tabl-			

Tabla # 2.

1960

INDUSTRIA	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR (millares de pesos).
Vidrio	Ton.	106 056	18 721
Mosaicos a base de cemento	m ³ .	28 648	550
Ladrillos, tabiques, tubos y tejas	Ton.	6 360	800

Tabla # 3.

1961

INDUSTRIA	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR (millares de pesos).
Vidrio	Ton.	99 465	18 739
Mosaicos a base de cemento	m ³ .	31 007	583
Ladrillos, tabiques, tubos y tejas	Ton.	7 308	403

Tabla # 4.

1962

INDUSTRIA	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR (millares de pesos).
Vidrio	Ton.	160 931	32 594
Mosaicos a base de cemento	m ³ .	48 934	918
Ladrillos, tabiques, tubos y tejas	Ton.	5 826	184

LOCALIZACION DE LAS MUESTRAS DE ARENA

En la tabla # 5 se presentan los datos más importantes de las arenas guardasas usadas en el desarrollo de esta tesis.

PROCEDENCIA	REMITENTE	Edo. YACIMIENTO	DATOS ADICIONALES
Sa. José Iturbide, Gto. AFS-40	Mat. Frimas Monterrey	En Producción	Arena beneficiada
Sa. José Iturbide, Gto. AFS-105	Mat. Frimas Monterrey	En Producción	Arena beneficiada
Jaltiron, Ver. AFS-40	Mat. Frimas Monterrey	En Producción	Arena beneficiada
Jaltiron, Ver. AFS-80-89	Mat. Frimas Monterrey	En Producción	Arena beneficiada
Muchoteros, Ver. No. AFS-80-89	Mat. Frimas Monterrey	En Producción	Arena beneficiada
Juanita, Ver.	Gral. N. Rosaldua	En Producción	Arena beneficiada
Juanita, Ver.	Gral. N. Rosaldua	En Producción	Arena beneficiada
Corralitos, --- Chih.	Ing. Guillermo P. Salas	En Exploración	Arena beneficiada
Corralitos, Chih.	Ing. Guillermo P. Salas	En Exploración	Arena beneficiada
Michoacán	Ing. Ernesto Bagoña	En Exploración	Arena sin beneficio
Michoacán	Ing. Ernesto Bagoña	En Exploración	Arena sin beneficio
-----	N.B.S.	-----	-----
Juanita, Ver.	Arenas Sílicas, S.A.	En Producción	Arena beneficiada
Juanita, Ver.	Arenas Sílicas, S.A.	En Producción	Arena beneficiada

Tabla # 5.

C A P I T U L O III.

REQUISITOS DE LAS ARENAS EN LA INDUSTRIA.

Es fácil de suponer que las características de las arenas sean variables según el uso a que se destinan. A continuación se reseñan, las que parecen -- más importantes.

a) Vidriería.

Para la fabricación de vidrio se requiere arena cuarzosa con características físicas y químicas muy uniformes, ya que la composición química del -- vidrio también tiene que ser muy constante para evitar defectos que serían evidentes en los artículos de vi--- drio.

La arena cuarzosa debe estar compuesta -- casi en su totalidad, de sílice pura (SiO_2). Otros componentes diversos, que normalmente se hallan en las arenas de sílice, son intolerables para su aplicación en -- la industria vidriera. Por ejemplo, compuestos de aluminio, de calcio, de magnesio, de hierro y de titanio. Se considera también como impureza el agua de cristaliza--- ción en ciertas proporciones.

Las cantidades máximas tolerables de las impurezas antes mencionadas, se señalan en la tabla # 6 Las razones por las cuales se consideran tolerables son las siguientes:

Los compuestos de hierro y de titanio se consideran como impurezas debido a la coloración que -- los óxidos de dichos elementos imparten al vidrio. Tratándose de la fabricación de algunos vidrios de color -- pueden tolerarse pequeñas porciones de estas impure---

sas dentro de los límites marcados en la tabla # 6.

Los compuestos de aluminio, de calcio y de magnesio son nocivos en el caso de vidrios solubles debido a que afectan la solubilidad. Los óxidos de aluminio menoscaban la transparencia y hacen más difícil la fundición. Por otra parte, la fabricación de estos vidrios solubles toleran porcentajes razonables de compuestos de fierro mientras afecten sólo su color y no la solubilidad, siendo los compuestos de titanio indeseables.

El agua de composición que se encuentra en las diversas muestras de sílice varía dentro de ciertos límites. Cuando la cantidad de agua pasa de cierta medida, se considera dañosa por las fluctuaciones que imparte a la composición final de los vidrios.

La composición química de las arenas de sílice para la fabricación de vidrio debe ser lo más uniforme posible. A continuación se dan las variaciones tolerables:

SiO ₂	-----	± 0.25 %
Al ₂ O ₃	-----	± 0.10 %
CaO	-----	± 0.10 %
MgO	-----	± 0.10 %

Los porcentajes en que los óxidos entran en la composición final de los diferentes tipos de vidrio, se dan en la tabla # 6

En cuanto a los requisitos físicos de las arenas los más importantes son el tamaño y la forma de los granos, objeto principal de la granulometría. En la tabla # 7 se establecen los límites en el tamaño del grano.

Tabla # 6.

Especificaciones para arenas de vidrio -
de la U.S. Bureau of Standards. (10)

	SiO ₂ % mín	Al ₂ O ₃ % máx	Fe ₂ O ₃ % máx	CaO + MgO % máx
1° Calidad, óptica	99.8	0.1	0.22	0.10
2° Calidad, cristal de mesa,	98.5	0.5	0.035	0.20
3° Calidad, cristal	95.0	4.0	0.035	0.50
4° Calidad, vidrio cilindrado, varilla y vidrio pulido	98.5	0.5	0.06	0.50
5° Calidad,	95.0	4.0	0.06	0.50
6° Calidad, vidrio natural, vidrio de ventana	98.0	0.5	0.30	0.50
7° Calidad, vidrio natural	95.0	4.0	0.30	0.50
8° Calidad, vidrio ambar	98.0	0.5	1.00	0.50
9° Calidad, vidrio ambar	95.0	4.0	1.00	0.50

Tabla # 7.

MALLA No	RETENCION EN LA MALLA SEÑALADA.
20 -----	0 %
40 -----	20 % máximo.
100 -----	90 % mínimo.
200 -----	100 %

Los porcentajes anteriores se refieren a granos comprendidos entre 0.2 mm. a 0.5 mm. con sólo un poco más del 1 % entre 0.01 mm. y 0.1 mm.

Además de que los granos estén comprendi

dos dentro de estos límites, se necesita también que cada carga sea uniforme, ya que fluctuaciones, aun dentro de estos límites, producen defectos en el vidrio.

Respecto a la forma, es preferible que los granos sean en general de forma angular y no redonda, ya que la forma redondeada de los granos favorece la producción de burbujas de aire imposibles de eliminar después, mientras que los granos angulares funden en masas mucho más homogéneas ópticamente.

b) Fundición.

Una circunstancia desfavorable para el desarrollo de la industria de la fundición en nuestro País, en el proceso del moldeo de sus piezas vaciadas, es la producción de piezas defectuosas e imperfectas por falta de vigilancia y uniformidad en las arenas para moldeo y corazones.

La selección de las materias primas utilizadas en la preparación de moldes para fundición, tales como arenas naturales y aglutinantes tiene que ser consecuencia de un análisis respecto a la forma en que dichos materiales deben responder a diferentes factores que influyen notablemente tales como:

- 1) Diseño y tamaño de la pieza.
- 2) Tipo de metal requerido.
- 3) Temperatura de vaciado.
- 4) Método de moldeo.

La arena que vaya a emplearse en la fundición, debe ser pasada, sobre todo cuando debido al transporte, no se dispone de arena seca sino arena que contiene de 2 a 4 % de humedad, la cual no siempre puede eliminarse por sacudidas de sacadores apropiados.

Algunos de los diferentes tipos de fundiciones en las que se emplea la arena cuarzosa son los siguientes:

1) Selección de arena para corasones.

Las mejores arenas para la fabricación de corasones se caracterizan por su limpieza, su forma y su distribución del grano. Los granos de forma angular no son deseados para la fabricación de corasones como las arenas de granos redondos.

Las arenas para la fabricación de corasones son clasificadas en dos límites de tamaño granular. Las primeras son las que pasan por un tamiz de 40 mallas y retenidas en uno de 70 mallas; las otras son las que pasan por un tamiz de 50 mallas y son retenidas en uno de 200 mallas, estas últimas pueden contener un bajo porcentaje de arcilla o de sedimento.

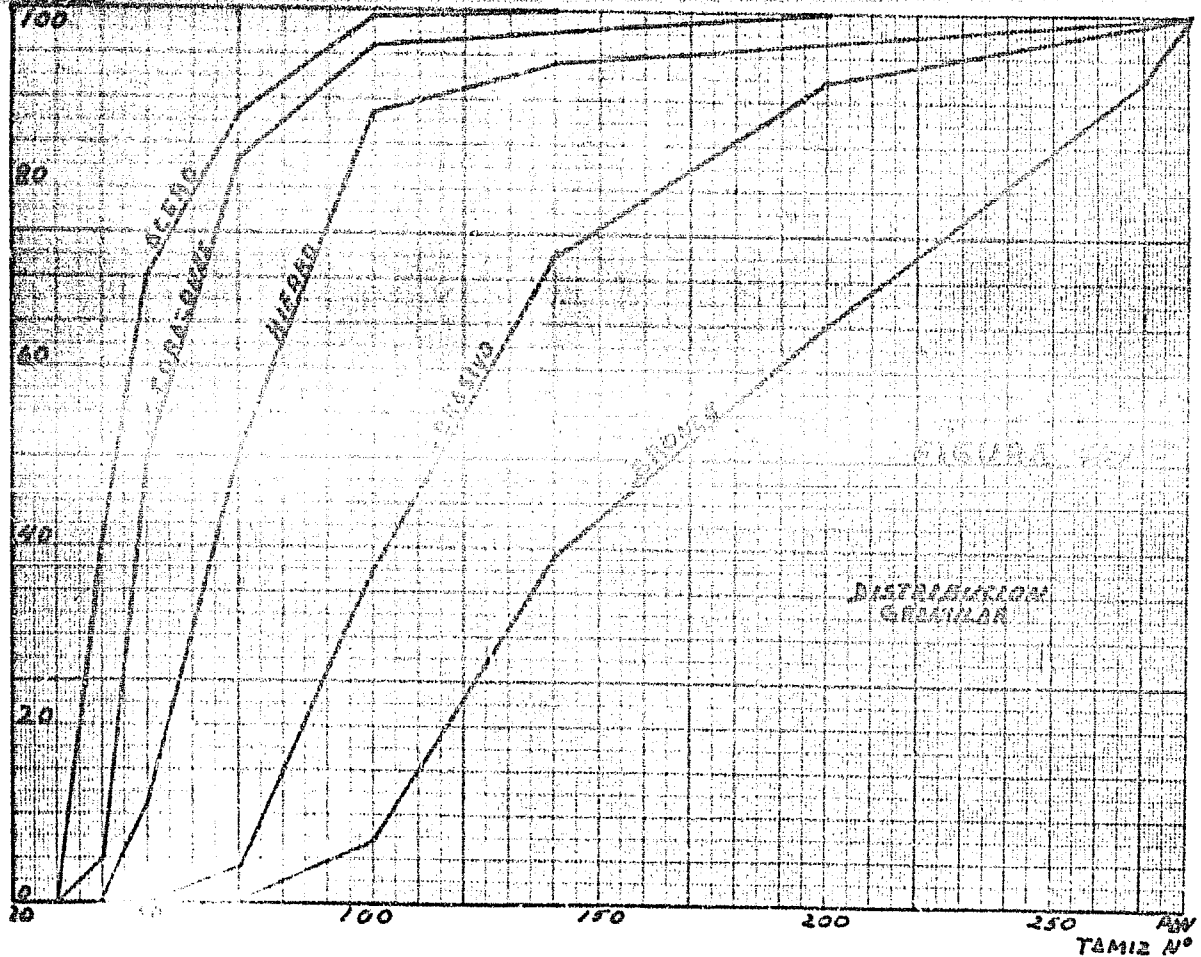
La distribución granular de este tipo de fundición está dado en la Figura # 1.

2) Selección de arena para acero moldeado.

Las arenas empleadas para fundiciones de acero deben ser más resistentes a la temperatura que las usadas para moldes de metales que se vacían a bajas temperaturas.

Así, una arena tipo para la fundición de acero puede tener las siguientes características:

Forma de grano -----	redondo o subangular.
Distribución de grano -----	65 - 80
No. de finza -----	45 - 55
Finos -----	0.8 % máximo.
Sílice (SiO_2) -----	98 % mínimo.
Oxido de hierro (Fe_2O_3) -----	rastros.
Oxido de calcio (CaO) -----	0.2 % máximo.



Cono piroométrico ----- 32 mínimo.

Punto de fusión ----- 1725°C.

La distribución de arena para este tipo de fundición se da en la Figura # 1.

3) Selección de arena para fierro moldeado.

La arena para fierro moldeado está compuesta principalmente por granos de sílice, arcilla y agua. El contenido más elevado de arcilla, como regla general, oscila entre 8 y 18 %, que se presenta como recubrimiento de los granos de arena.

En cuanto a la forma, el grano debe ser redondo o subangular; y la distribución del grano se da en la Figura # 1.

4) Selección de arena para aluminio y bronce moldeado.

Usualmente el tamaño granular es más fino que la usada para la fundición de fierro. La temperatura de vaciado en este tipo de fundición abarca de 649 a 1316°C de aquí que no necesitan una alta resistencia a la temperatura.

En cuanto a la forma, el grano debe ser redondo o subangular, cuya distribución del grano se da en la Figura # 1.

c) Productos refractarios.

La arena con o sin arcilla ligada, es el mejor material para fundición, ya que presenta diversos tamaños de grano; es relativamente barata y suficientemente refractaria para recibir la mayor parte de los metales a la temperatura de su vaciado.

La arena para ladrillo refractario requiere de un 96 a 98 % de sílice con impurezas de 2 a 4

%. El óxido de calcio, el óxido de magnesio y los alcalis son nocivos, pero hasta un 2 % como máximo es tolerable. Pequeñas cantidades de fierro actúan como aglutinantes pero arriba del 5 % se hacen intolerables. La arena empleada para la fabricación de ladrillo refractario debe ser angular.

La característica apropiada para refractarios es el tamaño de grano de la arena, generalmente entre 0.1 y 0.2 mm.

Las arenas que contienen más del 2 % de arcilla sirven para la fabricación de ladrillos para la construcción de edificios, pero no debe exceder del 5 %.

d) Usos metalúrgicos.

Una arena cuarzosa debe cumplir rigurosos requisitos de acuerdo con el uso que se le va a hacer así, por ejemplo la que se destina a la producción de aleaciones de silicio, ha de ser purísima. Se aplica a aleaciones de calcio, de cobre, de manganeso, y de titanio.

El óxido de aluminio es indeseable, pues no se reduce fácilmente en un horno eléctrico y forma escorias pegajosas que contaminan el producto. Por esto el óxido de aluminio debe de mantenerse abajo de 0.4 %. El óxido de fierro total debe ser como máximo de 0.2 %, pero combinado con los demás óxidos no debe exceder del 0.5 %. Las arenas que contengan arriba del 98 % de sílice es la apropiada para fines metalúrgicos.

En cuanto a la forma de grano, ésta debe ser redonda o subangular; variando el tamaño del grano según el tamaño y la forma de la pieza que se va a fabricar.

e) Abrasivos.

La sílice y las rocas altamente silíceas se usan como abrasivos. Los materiales más usados son - cuarzo ta, piedra pómez, tripoli, diatomita, cuarzo quebrado y arena cuarzosa.

La arena cuarzosa sirve también para la fabricación de piezas de anotar, polvos de acabar, pulidores de mármol, etc. Para todos estos fines constantemente hay que recurrir a las arenas de pozo graduadas, casi siempre pasadas por un tamiz de 150 mallas.

Todas estas arenas deben pasar, como regla, por un tamiz de 14 mallas y retenidas por un tamiz de malla 65.

Para la fabricación de lijas se usa el - cuarzo blanco quebrado. Las arenas naturales son inadecuadas para este uso debido a que los granos son redondos. Para trabajos extraduros, a veces se recurre al vidrio quebrado. En muchas lijas llamadas de papel, el - abrasivo es el vidrio.

f) Cerámica.

Para la manufactura de artículos comerciales esmaltados y blancos se aprovechan las vetas de cuarzo de buena calidad. También sirven para este propósito el vidrio y la sílice calcinada y quebrada. La arena cuarzosa con un bajo contenido de fierro es a menudo la más usada.

g) Otros usos.

Considerables cantidades de arena entran al mercado con el nombre de "Arenas para máquinas" ya - que previenen el deslizamiento de las ruedas de locomoc-

toras en los rieles. La arena que se prefiere consta de granos angulares, debe estar libre de arcillas y pasar completamente por un tamis de 10 mallas y el 55 % ha de quedar retenido en uno de malla 80.

Así mismo las arenas cuarzosas se emplean también en la mezcla de revestimientos para hacer caminos asfaltados. La granulometría frecuentemente requiere ser el 95 % a través de 10 mallas y no más del 5 % a través de 200 mallas.

Las arenas para filtros en plantas de -- agua potable tienen las siguientes características son de tamaño uniforme, están libres de arcillas y materias orgánicas y pesan del 2 % de óxido de calcio y óxido de magnesio calculados como carbonatos. La pérdida en ebullición con ácido clorhídrico diluido debe de mantenerse entre 2 y 5 %. La arena es de granos que oscilan entre 0.25 mm. y 0.11 mm., con no más de 1 % arriba de -- 0.13 mm.

C A P I T U L O I V

PROPIEDADES FISICAS DE LAS ARENAS.

a) Permeabilidad.

Permeabilidad es aquella propiedad de -- las arenas de moldeo que permite a los gases pasar a -- través de la mezcla de arena con el aglutinante. Mien-- tras mayor es la permeabilidad, mayor será la respira-- ción de los moldes y corazones. La permeabilidad se mide determinando la velocidad del gasto de aire bajo una presión dada a través de la muestra patrón. El aparato se llama permeámetro.

El permeámetro consta de un cilindro de compresión actuado por una campana de metal que se desliza hacia abajo pasando por unas marcas practicadas en el aparato.

Hay además un cronógrafo que empieza a -- contar cuando la campana pasa la primera marca. La mue-- tra previamente moldeada a presión en un compresor ma-- nual actúa como freno al escape del aire comprimido por la campana. Mientras más permeable es la muestra, tanto más rápidamente llega la campana a la segunda marca. El cronógrafo se oprimo en la segunda marca; su numeración está graduada directamente en unidades de permeabilidad.

La importancia de la permeabilidad ade-- cuada se debe a que al vaciar los metales, se producen grandes desalojamientos gaseosos. Todo el gas producido ha de poder escapar por los respiraderos y por los po-- ros de la arena moldeada.

La permeabilidad de las arenas de moldeo y de los corazones no depende de la distribución de los

granos de arena. Mientras más pequeños sean estos, corresponderá menor permeabilidad. Disminuye también su valor, con contenidos elevados de humedad, de arcilla, de polvo de sílice, de carbón de piedra y del aglomerante en la mezcla. Para obtener las más favorables permeabilidades, sea de descartar granos grandes y uniformes con el mínimo de adherentes o materiales de relleno. La permeabilidad usual para cada una de las diferentes mezclas de arena de moldeo aparecen en la tabla # 8.

Tabla # 8.

Tipo de arena.	% contenido de arcilla.	% total de humedad.	Resist. en verde en lb/in ² .	Valores de permeabilidad.
Acero moldeado.	3 - 5 bentonita	3 - 4	4.0 - 6.5	100 - 200
		2 - 5	3.0 - 10.0	80 - 300
Hierro moldeado.	8 - 18 natural	4 - 5	5.0 - 7.0	60 - 80
		3 - 8	4.0 - 8.0	40 - 100
Bronce moldeado.	10 - 16 natural	5 - 8	7.0 - 8.0	15 - 20
		4 - 10	50 - 90	12 - 30
Aluminio - moldeado.	15 - 22 natural	6 - 7	6.0 - 7.0	10 - 15
		5 - 9	5.0 - 8.0	7 - 20

La permeabilidad de corazones cocidos se determina de modo semejante.

b) Cono pirométrico.

En el caso de las arenas de moldeo, más que el punto de fusión, lo que interesa saber es el punto de reblandecimiento, el cual se obtiene por medio del ensayo del cono pirométrico.

El cono pirométrico equivale a un índice normal de la capacidad que tiene un material refractario para poder resistir un tratamiento térmico. Para determinar el cono pirométrico se hacen pequeños conos

del material que se va a probar, y se someten a diferentes temperaturas elevadas junto a los conos pirométricos patrón colocados sobre una placa hecha con 50 % de caolín y 50 % de alúmina.

Con determinada temperatura, los conos de prueba se reblanecen inclinándose hasta tocar la placa, pudiéndose así determinar el equivalente al cono pirométrico al compararlo con el cono normal patrón que haya tenido el grado de reblanecimiento más cercano al cono del material de prueba.

A continuación se anotan algunos conos pirométricos y equivalentes de temperatura más usados en arenas.

<u>Cono</u>	<u>°C</u>	<u>°F</u>
28 -----	1615 -----	2939
29 -----	1640 -----	2984
30 -----	1650 -----	3002
31 -----	1680 -----	3056
32 -----	1700 -----	3092
32 1/2 -----	1725 -----	3137
33 -----	1745 -----	3173
34 -----	1760 -----	3200
35 -----	1785 -----	3245

Para hacer los conos pirométricos correspondientes a las arenas que se desea probar se procede como sigue:

- 1) Se toman 5 g. de arena, y secarla a 400°C durante dos horas.
- 2) Se tritura en un molino vibratorio tipo holandés con excéntrica pasando la muestra 3 veces durante 5 seg.
- 3) Se pasa el material por la malla Tyler #65

- 4) Se hace el cono, empleando goma arábica para aglomerar la arena y moldearla empleando un molde metálico.
- 5) Se seca fuera del molde a unos 100°C.
- 6) En una matriz para hacer estrellas se colocan los conos sobre una placa refractaria.
- 7) Se abre un registro de la colocación de los conos de muestra y los patrones colocándola dentro de la estufa de gas, someténdola a temperaturas previstas durante el tiempo indicado de acuerdo con la tabla # 9.
- 8) Después del cono 32 1/2 o sea desde 1745°C se aplica una mezcla de oxígeno-gas, en vez de una mezcla aire-gas que se emplea en los conos anteriores al cono 32 1/2.

Tabla # 9.

<u>Cono</u>	<u>Tiempo (hrs. y min.)</u>
28 -----	1.15
29 -----	1.29
30 -----	1.33
31 -----	1.45
32 -----	1.53
32 1/2 -----	2.02
33 -----	2.11
34 -----	2.17
35 -----	2.27
36 -----	2.37

c) Granulometría.

La finura o índice granulométrico de la arena cuarzosa se da bajo el nombre de A.P.S. de finura,

la cual va de 10 a 300. El índice granulométrico de una mezcla de arena se obtiene haciendo pasar la arena seca y lavada por once tamices sucesivos con aberturas de mallas normalizadas y numeradas según la cantidad de mallas por pulgada lineal; el peso del residuo de cada tamiz y el peso de la arena caída en el recipiente, se multiplica por un factor cuyo valor depende del tamiz en cuestión, se suman todos los productos y finalmente se divide esta suma entre el peso total de la muestra ensayada, obteniéndose así el número de finura A.F.S. del grano de la arena cuarzosa; éste indicará el número de mallas por pulgada por la cual pasaría la arena cuarzosa si tuviera un tamaño uniforme.

El tamaño del grano de la arena cuarzosa influye en la resistencia, como pirométrica, permeabilidad del molde de arena y en el acabado de la pieza.

La granulometría de las arenas para la industria vidriera es de capital importancia, siendo deseable una gran uniformidad en el tamaño del grano.— En la tabla # 7 se establecen los límites permisibles.

d) Morfología de las arenas.

Se entiende por morfología de arenas la determinación y la vigilancia del aspecto externo de los granos; pero como no hay métodos específicos para clasificarlas, se ha pedido la opinión de un técnico para lograr así una base de comparación para los diferentes tipos de arena y así clasificarlas según la necesidad de cada industria.

Las formas usuales de los granos de arena son: redondos, subangulares, angulares y compuestos.

Las arenas de grano redondo son muy escasas en nuestro País, en cambio las arenas de grano sub-

angulares abundan en todos los tamaños usuales para la fundición, pues es intermedia entre la redonda y la angular. Las de grano angular también abundan sin contar las que resultan de la trituración y molienda del cuarzo. Hay también otras muestras de arena con granos compuestos, o sea dobles o múltiples aglomerados por algún material, o por la escoria. Dichos granos, aun en pequeñas proporciones, son inconvenientes por ser de estructura porosa y fragmentarse al entrar en contacto con el metal fundido. La forma de los granos influye en la superficie total de contacto entre ellos. Un cuerpo con mínima superficie y máximo de volumen, es la esfera. Toda desviación de la forma esférica se traduce en un aumento de la superficie por Kg. de muestra, de suerte que mientras más superficie se requiera (por ejemplo -- arenas para filtración, o alta permeabilidad, etc.), -- tanto más angulosos han de ser los granos. El efecto -- que produce la forma del grano de la arena cuarzosa en la permeabilidad de las mezclas, hace imprescindible conocer y examinar con frecuencia en el microscopio la -- forma de los granos.

Para ilustrar este trabajo se tomaron -- una serie de fotomicrografías en uno de los laboratorios del Instituto de Geología de la U.N.A.M.

e) Clasificación de las arenas.

Las arenas se clasifican después de someterlas a la investigación microscópica. El microscopio más adecuado para clasificarlas es el microscopio de polarización, por ejemplo el modelo de laboratorio construido por la casa Bausch y Lomb de Nueva York, o los microscopios de polarización de cualquier otro fabricante como Leitz o Zeiss.

El microscopio de polarización es un modelo más refinado de los microscopios usuales, con dos cambios principales: en el condensador y abajo del ocular lleva unos sistemas de polarización (nicosoles y polaroides) ajustables y provistos de verniers angulares para averiguar exactamente la posición relativa de ambos nicosoles. Ya con éstos el microscopio se convierte en uno de polarización, pero es natural que un modelo fino lleve mejoras especiales como platina giratoria, ranura para cuñas de cuarzo de compensación, oculares micrométricos, etc.

f) Análisis por fluorescencia de rayos X.

Para identificar y clasificar el porcentaje de elementos pesados en las arenas se empleó el método de fluorescencia con rayos X. Dado que el alto costo del equipo como del tiempo necesario para tomar una grafica completa son muy grandes, se seleccionarán únicamente dos muestras para comparar los resultados.

Como complemento de la investigación emprendida y para que el trabajo de la presente tesis que dara lo más completa posible, se solicitó la ayuda del Quím. Ramón Pérez Friego, técnico a cargo de este departamento en el Instituto de Geología, para hacer el estudio por fluorescencia de dos muestras. En seguida se hace un breve resumen de la técnica seguida y ésta puede dividirse en dos grupos, fluorescencia y difracción.

Para la primera llamada análisis por fluorescencia de rayos X secundarios, producidos por el material al ser excitado por el haz de rayos X primarios para determinar, cualitativa y cuantitativamente, los elementos que existen en el material por examinar.

La técnica de difracción aprovecha las -
redes moleculares de los diversos materiales para poder
clasificar los compuestos que existen en ellos. En esta
forma es posible clasificar materiales cuyo tamaño de -
partículas, o la falta de cristalización adecuada, ha--
cen muy difícil la aplicación de otros métodos.

Con el aparato de rayos X marca Phillips
se obtuvieron las gráficas presentadas, las cuales fue--
ron interpretadas en unas tablas. Mediante esta inter--
pretación se llegaron a determinar los elementos de las
muestras trabajadas.

CAPITULO V

EVALUACION DE LOS METODOS DE ANALISIS QUIMICOS APLICADOS A LAS ARENAS.

Debido a que los métodos de análisis químico para las arenas cuarzosas han sido estudiados en numerosas ocasiones y están ya suficientemente establecidos. Sus puntos básicos son similares a los de los métodos de análisis de silicatos, y en general siguen el orden señalado en el cuadro de la página 7 del Bulletin 1113 (7). Sin embargo, lo mismo que aquéllos, éstos son susceptibles de innovaciones o mejoras, ya sea por el uso de reactivos nuevos, o por técnicas más perfeccionadas, más rápidas, o más precisas.

El objeto de este capítulo es evaluar químicamente los diversos yacimientos de arenas mexicanas con miras a un ulterior aprovechamiento industrial.

La siguiente lista muestra los componentes usuales de una arena cuarzosas y su abundancia relativa:

Sílice (SiO_2)	-----	90 - 100 %
Alúmina (Al_2O_3)	-----	0.1 - 5.0 %
Oxidos de fierro	-----	0.01 - 1.0 %
Magnesia (MgO)	-----	0.01 - 2.0 %
Oxido de calcio (CaO)	-----	0.01 - 2.0 %
Oxido de sodio (Na_2O)	-----	0.01 - 1.0 %
Oxido de potasio (K_2O)	-----	0.01 - 1.0 %
Oxido de manganeso (MnO)	-----	menos de 0.1 %
Titanía (TiO_2)	-----	menos de 0.5 %

Por lo anterior se ve que, desde el punto de vista analítico se tiene que trabajar con un material insoluble en ácidos, formado por un constituyente

de primer orden sílice y una serie de elementos presentes en concentraciones mucho menores, sin que lleguen a tratarse de elementos en huellas.

Mineralógicamente se puede considerar a las arenas cuarzosas como constituidas por cuarzo y por diversos silicatos, entre los más abundantes son los feldespatos que pueden presentarse en el material en algunas de sus formas. El análisis químico de estas arenas sigue hasta la fecha dos caminos, el primero que corresponde a la técnica clásica para los análisis de silicatos, y que es el preconizado por la A.S.T.M. para analizar arenas usadas en vidriería, cuando menos en algunas de sus determinaciones (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , etc.) Es también el que se considera más exacto, aunque presenta el grave inconveniente de ser muy tedioso y exigir un número considerable de equipo de platino para poder seguir exactamente el método.

El segundo de los métodos corresponde al método de la vigilancia industrial y se basa en la determinación de sílice por diferencia de pesos después de haber provocado la descomposición de la muestra mediante un ataque con ácido fluorhídrico (HF), causando la formación de tetrafluoruro de silicio (SiF_4) volátil y habiendo desalojado éste por ataque de ácido más estable. Este método, aparentemente deseable, tiene algunos inconvenientes fundamentales, siendo uno de ellos el de que los metales alcalinos y alcalinotérreos presentes en la muestra quedarán en el residuo como sulfatos si se ha usado este ácido junto con el ácido fluorhídrico, mientras que en el cálculo se supone que el residuo está compuesto de óxidos, puesto que la temperatura de descomposición de estos sulfatos es muy superior a la temperatura a que se calienta el residuo en la práctica.

corriente, que generalmente es de 900°C.

	Temp. descomposición.
Na_2SO_4 -----	no se descompone.
K_2SO_4 -----	no se descompone.
CaCO_3 -----	1200°C --- CaO .
MgSO_4 -----	590°C ---- MgO .

Desde luego un error parecido, pero de signo contrario, se cometería en el caso de que la muestra tuviera algún compuesto con agua de combinación lo que daría una pérdida de peso aun cuando ésta no correspondiera a la sílice. El primero de los errores mencionados se ha querido evitar usando ácido nítrico en lugar de ácido sulfúrico, con lo cual efectivamente se obtienen óxidos de todos los metales, pero en cambio el ácido nítrico no es igualmente efectivo para desalojar el flúor de los fluoruros formados, y pueden formarse fluorosilicatos o fluoaluminatos de composición indeterminada que falsearían el resultado debido a que el flúor no deja cuantear el fierro ni el titanio. Además, como inconveniente práctico está el hecho de que para que el ataque al cuarzo o a las arenas cuarzosas de alta pureza sea efectivo, es preciso reducir la muestra a polvo extraordinariamente fino, cuando menos a 200 mallas, para que dicho ataque se efectue en un tiempo razonable y con una cantidad adecuada de ácido fluorhídrico. Hillebrand (9) para obtener una descomposición total para la determinación de fierro en arenas para vidrio, funde el residuo obtenido después de un ataque de las mismas con ácido fluorhídrico y ácido sulfúrico.

Se va a examinar una por una las diversas determinaciones para poder averiguar las fuentes de error y posteriormente proponer un método, suficiente-

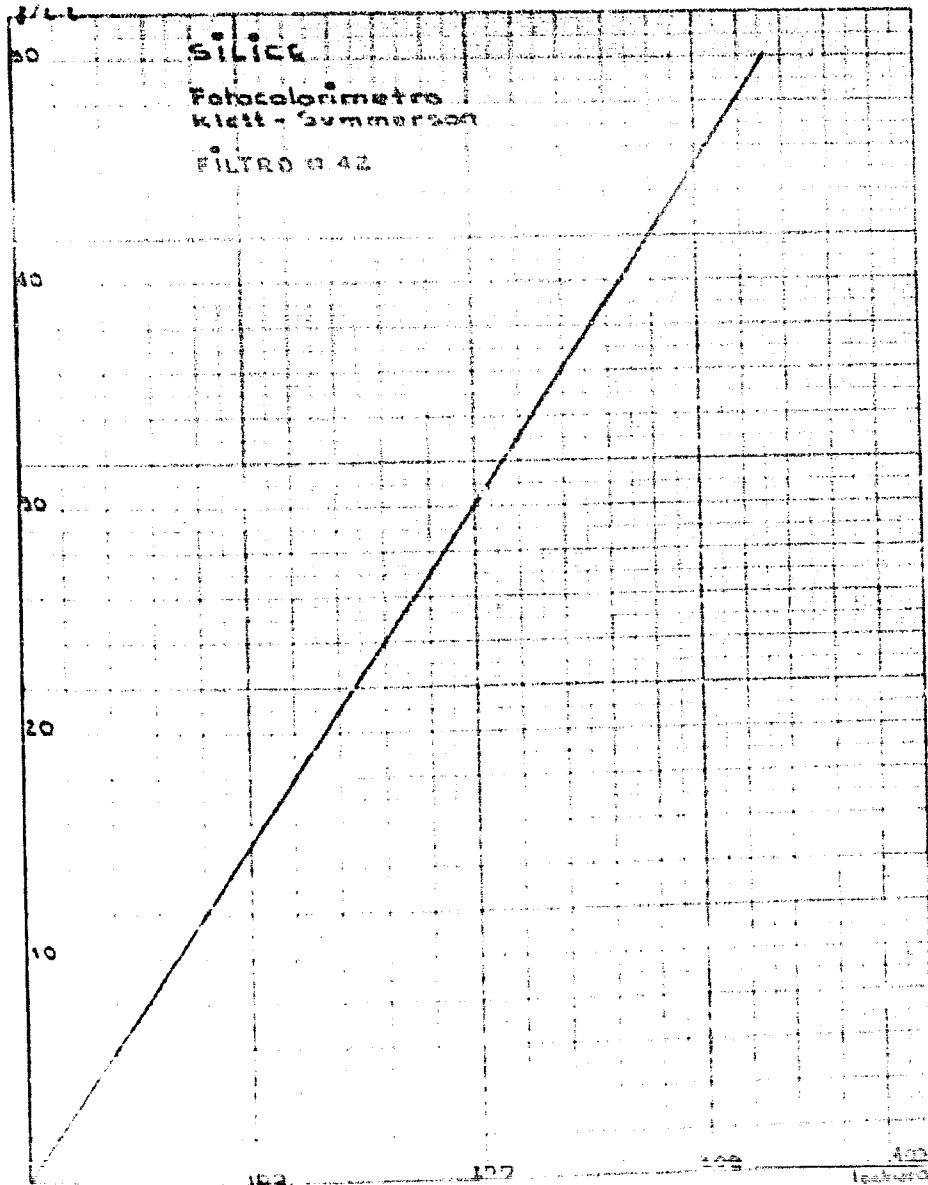
mente sencillo que pueda servir de guía a los productores y consumidores de estos materiales.

SILICE.- La determinación de sílice se basa en la disgregación de este producto transformándola en un compuesto ionizable, fundiéndolo con un fundente alcalino, generalmente hidróxidos o carbonatos de sodio o potasio, y disolviendo después en agua los carbonatos resultantes. Enseguida se precipita la sílice en forma de ácido silícico añadiendo algún ácido. El ácido silícico formado estará en condición de gel y corresponderá a la fórmula $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Para tener la sílice anhidra se lleva a sequedad la solución, y se deshidrata calentando a temperatura adecuada, dependiendo del ácido empleado.

El ácido comúnmente empleado es el ácido clorhídrico y la temperatura de deshidratación varía de 105 a 110°C por lapsos de tiempo variables, generalmente de dos horas. Según Lassieur (12) ésta deshidratación debe continuarse hasta que no se perciba el olor del ácido clorhídrico. El recipiente en el que se lleva a cabo la deshidratación también tiene importancia, usándose cápsulas de platino para los análisis que requieran la máxima exactitud.

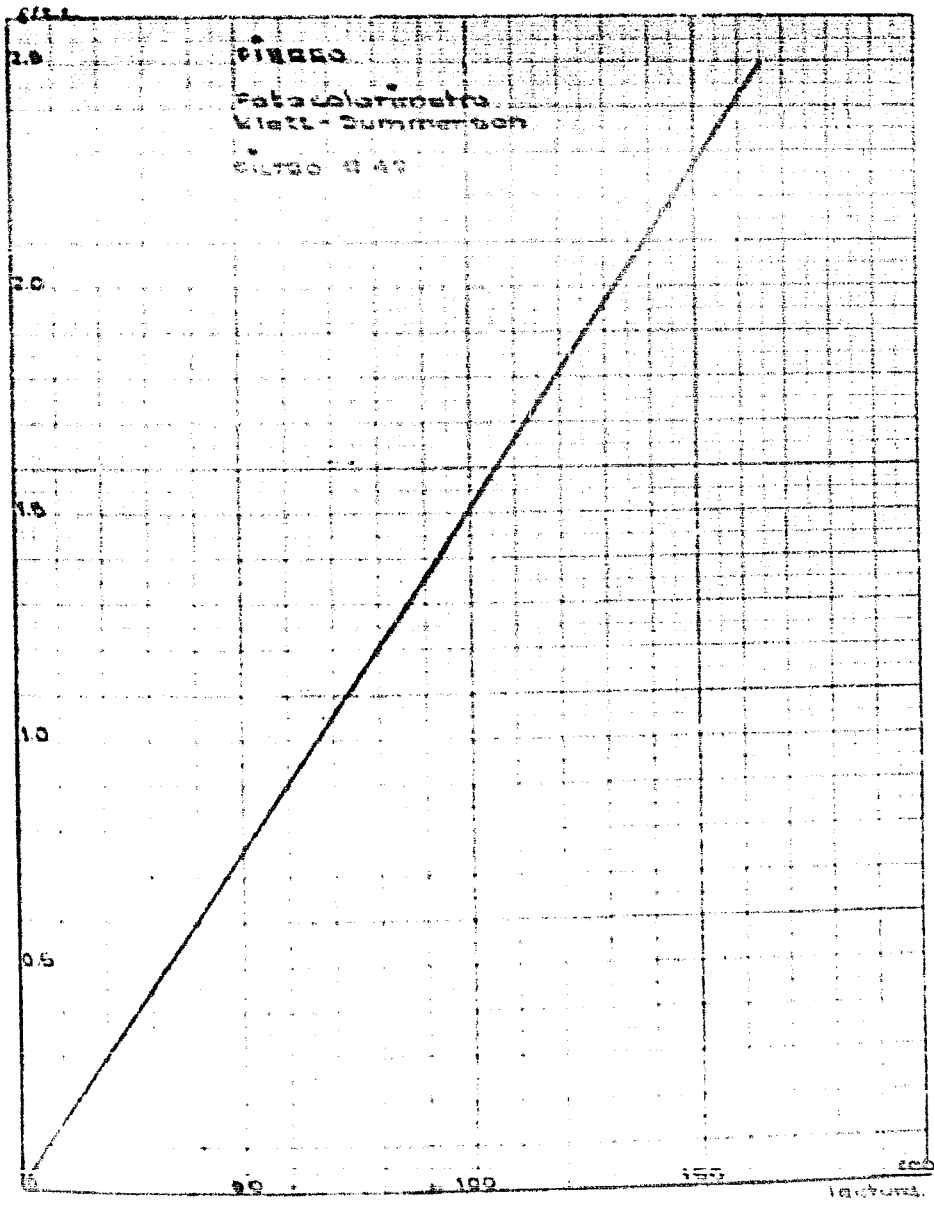
Sin embargo, sean cuales fueren el tiempo y la temperatura empleados, parte de la sílice queda en solución, y la cantidad de sílice variará según la concentración del ácido empleado para la disolución y del tiempo de ebullición necesario para esta misma disolución posterior y también según la cantidad de lavados necesarios y otros diversos factores imponderables e imprevisibles.

Es pues necesario determinar esta sílice que en algunos casos pasará de 7 mg. en pesados de muestra de 1 g. o sea 0.7 %. En los análisis normales de sí



licatos en los que la cantidad de alúmina y fierro es superior al 15 %, la precipitación de sus hidróxidos en la etapa siguiente de análisis arrastra toda la sílice como lo ha demostrado Stevens (7); y en el filtrado de la precipitación de los hidróxidos no se encuentra nada prácticamente de sílice. Pero en casos como el que nos ocupa, en que la cantidad de sílice es muy alta y la cantidad del residuo (H_2O_3) muy pequeña, se corre el riesgo de que no toda la sílice sea arrastrada por la precipitación de los hidróxidos y que quede un remanente que probablemente pueda escapar a las demás etapas del análisis. Es práctica común llevar de nuevo a sequedad el filtrado de la primera deshidratación de la sílice deshidratándolo de nuevo para recuperar en lo posible todo el resto de la sílice. Naturalmente este proceso alarga considerablemente el tiempo de análisis, de modo que es muy conveniente determinar esa cantidad de sílice sin necesidad de separarla, para poder corregir el valor obtenido gravimétricamente en la primera deshidratación, en la cual separamos más del 95 % de la sílice total. El medio más indicado para este objeto es determinar colorimétricamente la sílice por cualquiera de los métodos que se usan, ya sea por la medición del color amarillo del ácido silicomolibdico, o por la medición del color azul del compuesto reducido de los ácidos heteropolares que forma el silicio con el molibdeno. La elección del método como de costumbre se hará de acuerdo con la sensibilidad deseada, con las interferencias presentes y con el tipo de aparatos con que se cuenten para la medición fotométrica.

PIERRO. - La determinación de fierro en algunos casos es más importante que la sílice, por ejemplo en las arenas para vidrio, una pequeña variación en el contenido de -



silice no es tan importante como un contenido bajo de fierro. La determinación de fierro desde el primer momento permite clasificar una arena como posible fuente de abastecimiento para vidrierías o descartarla de esta aplicación. La determinación de fierro en muy pequeñas concentraciones en estos materiales ofrece muchas dificultades como lo hace notar Hillebrand (9), e incluso en los métodos del A.S.P.M. el procedimiento para detectar fierro es molestamente prolijo y exige aparatos especiales como un triturador potenciométrico, equipo de platino para tratar 10 g. de muestra, y aun así, su exactitud es sólo comparable a la obtenida por procedimientos colorimétricos.

El mejor, entre los procedimientos colorimétricos, en cuanto a sencillez de manipulación, es probablemente el que emplea como agente cromógeno el reactivo de Snyder (16).

Sin embargo este método presenta el inconveniente de requerir una muestra especial para esta determinación y el uso de un reactivo caro y difícil de conseguir en el mercado. Sigamos pues el método de análisis colorimétrico más antiguo para determinar fierro en huellas, o sea el del sulfocianuro.

Este método aunque presenta algunas inconvenientes de consideración ofrece la ventaja de llevar a cabo la reacción en un medio fuertemente ácido, con límites bastante amplios y sin que, en el caso de los materiales que nos interesen haya ninguno de los elementos que interfieran. Para los detalles de este procedimiento se referirá el método como lo da contact (15).

ALUMINIO. - La determinación de aluminio en silicatos se

sido siempre una de las que están más sujetas a errores. Generalmente la determinación se hace por la diferencia entre el peso de los hidróxidos precipitados, casi siempre con hidróxido de amonio (NH_4OH) a un pH de 6 a 7, - menos los diferentes elementos que constituyen este precipitado disuelto o fundido. Cualquier error en estas - determinaciones se reflejará en el valor encontrado para la alúmina.

Entre los métodos rápidos de análisis de silicatos uno de los puntos más interesantes es el hecho de que la determinación de aluminio se hace directamente en una alícuota tomada de la solución inicialmente obtenida, de suerte que su color, determinado generalmente por colorimetría, es independiente de las demás determinaciones.

Los métodos colorimétricos para aluminio se fundan casi siempre en la formación de lacas por absorción o adsorción de algún indicador coloreado dentro del gel alúmina. Sin embargo como Sandell (15) lo indica, la formación de lacas para análisis rutinarios es - uno de los procedimientos menos reproducibles, dado el gran número de factores que influyen en los resultados. Entre estos factores están la temperatura, el pH de la solución, la influencia de iones extraños en cantidades pequeñas (que en productos naturales y minerales son - muchas veces imposibles de controlar y evitar), y otros varios, similares.

Por todo esto, resulta muy conveniente - determinar la alúmina midiendo densidades ópticas de - verdaderas soluciones; y hasta la fecha, el único método empleado con éxito es el que se basa en la extrac- - ción clorofórmica del oxinato de aluminio, ya sea en u

dio ácido (pH:5) o en medio básico (pH:9). Este método que tiene ventajas innegables fue estudiado por Gentry y Sherrington (6) y aplicado específicamente al análisis de alicatos por Riley (14) y fue el que se escogió inicialmente para determinar alúmina en el presente trabajo.

Una de las características más deseables en los métodos colorimétricos es su sensibilidad; sin embargo, en algunos casos es preferible que no sea demasiado grande. De las curvas trazadas para la determinación de aluminio se puede calcular el límite máximo de concentración de aluminio en la alícuota que se toma para su extracción con una cantidad razonable de cloroformo. Para tener una alícuota de concentración adecuada, basta con tomar unos 25 ml. de la muestra inicial. Hay que tener en cuenta el error posible al medir la alícuota tan pequeña, en la pipeta. Por otro lado las extracciones con cloroformo son costosas, aun cuando se pueda recuperar éste, a más de ser molestas.

Como método opcional se determinó aluminio por titulación con EDTA en un medio ácido (pH:5-6). Sin embargo, hay que confesar que estas nuevas titulaciones no han tenido el éxito deseado, al menos en el caso del aluminio, por la baja estabilidad del complejo formado con el EDTA, y por la lentitud con que se forma. Además se titulan casi siempre el fierro y el aluminio. Uno de los métodos preferidos para este tipo de titulaciones es retitular la solución a la que se le ha agregado un exceso de EDTA, con lo que se logra la formación total del complejo de aluminio, ya que se puede hervir la solución el tiempo necesario para lograrlo. También hay estudios sobre los indicadores más adecuados, y el ión de la solución que sirva para la retitula

PPM

TITANIO

Fotometriametro

Klett - Summation

Filoso 0.40

100

75

50

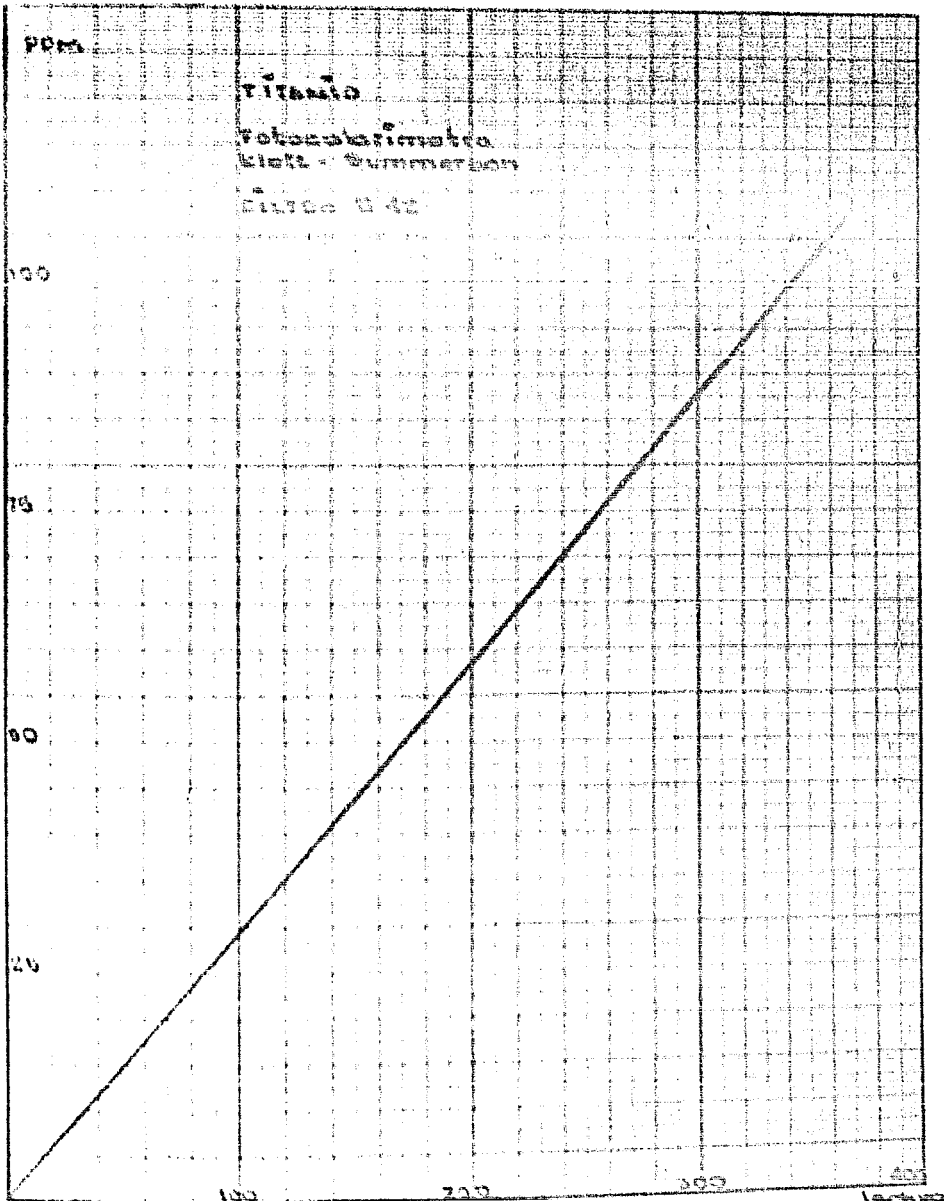
25

100

200

300

400



ción del exceso de EDTA. Se debe hacer notar que aun -- dentro de los inconvenientes mencionados, el hecho de -- que el complejo de aluminio-EDTA se forme a un pH muy -- bajo permite su titulación aun en presencia de otros ca -- tiones que casi siempre están en los materiales que in -- teresan, tales como Ca^{++} y Mg^{++} .

La elección del método de titulación con EDTA, en cada caso, no se ha de hacer sino después de -- una experimentación muy cuidadosa, pues el vire con --- ciertos indicadores se hace muy ambiguo y discutible, -- hasta el punto de obtenerse resultados indetectables e -- inadmisibles para muchos químicos. El método descrito -- por Kinnunen y Wennerstrand (11) se elige de preferen -- cia a las titulaciones directas por la facilidad de con -- seguir el indicador en el mercado.

TITANIO.-- Las ventajas evidentes del método del peróxi -- do de hidrógeno para la determinación de titanio han si -- do causa de que sea este un método generalmente emplea -- do para su determinación. La elevada acidez del medio -- en que se efectúa la reacción y los pocos iones que in -- terfieren con la misma hacen que se aplique aun cuando -- su sensibilidad es muy limitada. Yee y Armstrong (19) -- para obviar esta última dificultad emplearon tirón, nom -- bre comercial del disodio-1,2 dihidroxi-benzeno-3,5 di -- sulfonato que produce un intenso color amarillo con el -- titanio, a una sensibilidad aproximadamente cinco veces -- mayor que la del peróxido; sin embargo, hay necesidad -- de reducir el fierro trivalente, bien sea con ditionito -- de sodio como en el método original, o bien provocando -- el complejo de fierro con EDTA para impedir su reacción -- con tirón (Davis) (2).

Como en el caso de ciertas arenas no es -- tan importante la determinación de titanio, se recurre

135

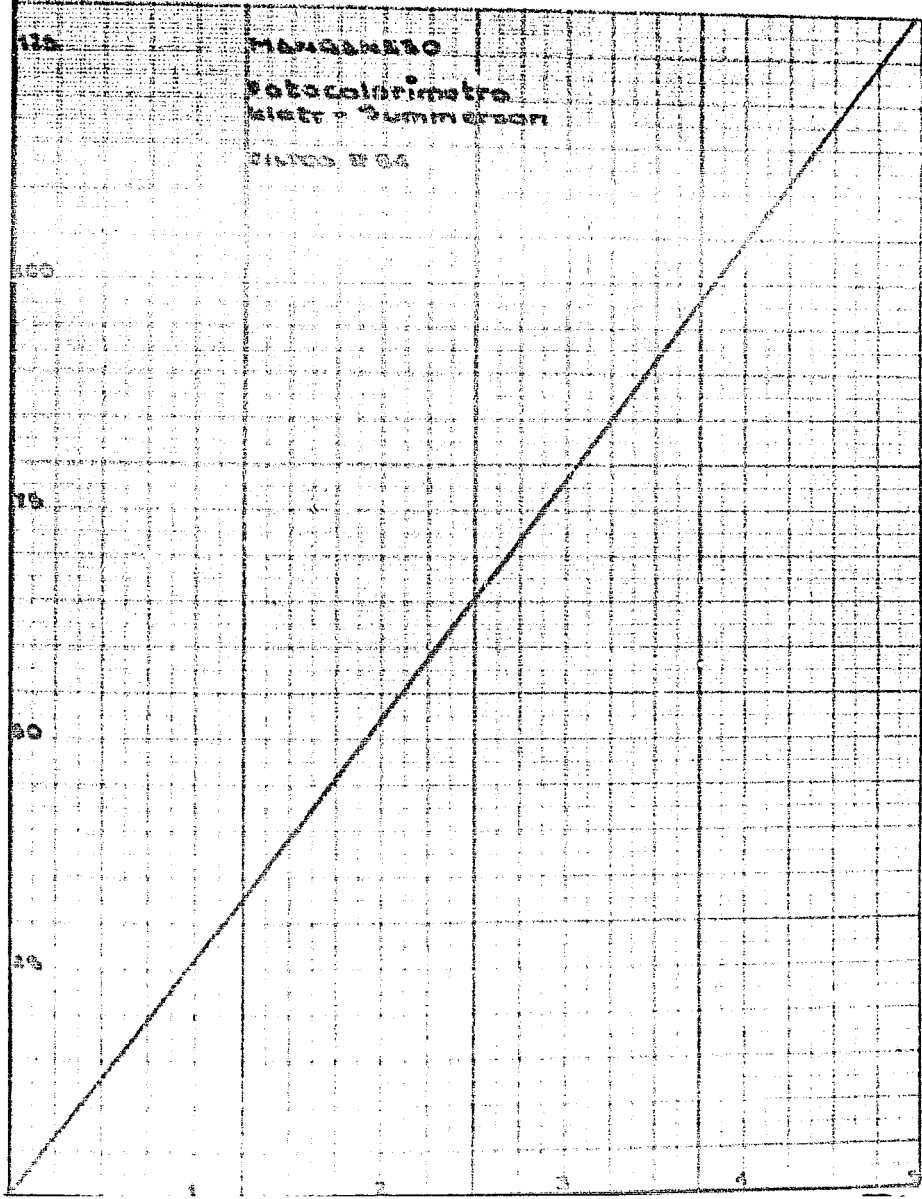
MANQUENISO
Fotocalorimetro
lett. Summerson
MILANO 1904

100

75

50

25



al método del peróxido, que de paso es el que se señala en el A.S.T.M.

CALCIO Y MAGNESIO.— Para estos metales si se percibe la falta de métodos colorimétricos libres de interferencias. Para magnesio existen una serie de métodos basados en formaciones de lacas, con los mismos inconvenientes mencionados al hablar del aluminio; y hasta la fecha sólo se han ensayado tres de los que se obtienen verdaderas soluciones; el que usa el negro de ericaceo para formar un complejo rojo con el magnesio y el método indirecto que se basa en formar el oxinato de magnesio y después disolverlo en ácido clorhídrico para determinar la cantidad de 8-hidroxiquinolina que estaba combinada con el magnesio, y el que se basa en la extracción del oxinato de magnesio en disolventes orgánicos. Todos estos métodos exigen una solución libre de iones extraños, para lo cual se necesitan manipulaciones relativamente largas.

Procedimiento usual para análisis de silicatos en la industria.

Pesar exactamente las siguientes porciones de la muestra debidamente bien mezclada:

- 1) 1.000 g. en crisol de platino grande para la fusión principal.
- 2) 1.000 g. en cápsula de platino para los álcalis.
- 3) 1.000 g. en crisol de platino para fierro ferroso.
- 4) 1.000 g. en crisol de porcelana tarado para H_2O^- y H_2O^+ .
- 5) 1 a 5 g. en matraz para determinar CO_2 por -

titulación o desprendimiento.

PROCEDIMIENTO PRINCIPAL: La muestra pesada en un crisol de platino de cuando menos 15 ml. o más, si es posible, se mezcla con 12 g. de una mezcla equimolecular de carbonato de sodio y potasio y fundida sobre mechero Fisher, primero a suave temperatura y después a la temperatura máxima del mechero. Cuando se ha llegado a fusión tranquila se deja por 10 minutos adicionales y se retira de la llama, dejando que la masa fundida se solidifique sobre uno de los lados del crisol. En el momento que ha enfriado ligeramente, se sumerge el crisol en agua fría por un momento sin que penetre al interior y nuevamente se calienta superficialmente, repitiendo el enfriamiento. En general, después del proceso anterior, se desprende limpiamente el sólido, que se pasa luego a una cápsula de porcelana de capacidad adecuada (unos 400 ml.). Tanto el crisol como la tapa del mismo se lavan con gendarme y ácido clorhídrico al 5% en caliente recibiendo todos los lavados en la cápsula, cubierta si es posible, con vidrio de reloj. En esta misma forma se le agrega suficiente ácido clorhídrico para descomponer todos los carbonatos y óxidos (generalmente con 25 ml. es suficiente) y se calienta suavemente, siempre cubierta, para que termine la reacción y se disuelva totalmente la masa fundida. El volumen final será de 200 a 300 ml. La cápsula se coloca destapada en baño de aire, de suerte que la temperatura esté entre 105 y 110°C y se deja evaporar hasta el día siguiente. Así, la evaporación del líquido requiere de 8 a 10 horas, de suerte que el residuo seco queda después a 110°C, el tiempo suficiente para la eliminación del exceso de ácido clorhídrico como lo recomienda Lassieur (12). A la mañana si-

guiente, no se nota ningún olor.

SILICE.- SiO₂

El contenido de la cápsula se humedece con 10 ml. de ácido clorhídrico concentrado, se le agrega pulpa de papel y se deja reposar por 10 minutos. Al cabo de este tiempo se le agregan 100 ml. de agua caliente y se deja en la parrilla hasta que los cloruros estén disueltos. Se filtra por filtro Whatman No. 31 de 9 cm., recibiendo en vaso de 400 ml., teniendo especial cuidado de bajar todos los grumos de sílice adheridos a las paredes de la cápsula, usando como líquido ácido clorhídrico al 2 % caliente. El precipitado en el filtro se lava perfectamente con agua caliente, tomando una muestra después de cada 5 lavados, para apreciar el momento en que las aguas del lavado ya no muestren reacción de cloruros con nitrato de plata (AgNO₃). A partir de este momento se le dan 5 lavados adicionales y se deja escurrir todo el líquido. El precipitado y filtro se pasan a un crisol de platino tarado, y puesto a calcinar en mufla eléctrica fría, para que la calcinación sea lenta y no levante llama. Se llevan a 900° o 1000°C por 30 minutos y se pesan rápidamente después de fríos. Es necesario verificar la constancia del peso con otra calcinación.

Para determinar el peso de la verdadera sílice, se agregan al crisol 4 gotas de ácido sulfúrico 1:1 (V:V), 5 ml. de agua y 5 ml. de ácido fluorhídrico y se evapora suavemente hasta expulsión de los humos de SO₃, calcinando el crisol con su residuo y pesándolo nuevamente. La diferencia en peso representa la sílice eliminada. El crisol se conserva con el residuo para la

Fusión de los hidróxidos.

RESIDUO.- H_2O_2

La solución resultante de la filtración de la sílice tiene un volumen aproximado de 300 a 250 ml. Se calienta a principio de ebullición y se le agrega gota a gota hidróxido de amonio 1:1 (V:V) hasta viro del rojo de metilo y 4 o 5 gotas en exceso. Se le agregan 5 ml. de agua de bromo y se deja en la parrilla caliente por 5 minutos, filtrando después por papel Whatman No. 51 de 9 u 11 cm., dependiendo de la cantidad de precipitado. Este se lava 5 veces con solución caliente de cloruro de amonio (NH_4Cl) al 2 %. El filtro y su precipitado se regresan al vaso y se disuelven en 20 ml. de ácido nítrico 1:1 (v:V). Se tapa el vaso y se somete a ebullición lenta hasta que todo el papel quede hecho pulpa. Se diluye con 50 ml. de agua caliente y se repite el proceso de precipitación con hidróxido de amonio y agua de bromo. Se filtra de nuevo el precipitado por otro papel filtro igual al usado anteriormente y se pasan todos los grumos con ayuda de gendarme, usando como solución de lavado nitrato de amonio (NH_4NO_3) al 2 % -- muy caliente y con gotas de hidróxido de amonio. El lavado debe ser muy cuidadoso, cuando menos 10 veces desde el borde del filtro. Se deja escurrir y se pone en el mismo crisol de platino que contiene el residuo de la sílice, después de su tratamiento con ácido fluorhídrico. Se pone húmedo en la cufia fría y se calcina -- cuando menos a $900^{\circ}C$ por media hora pesándolo posteriormente. Este peso también hay necesidad de rectificarlo con otra calcinación adicional por 15 minutos. Cuando no se ha terminado con la evaporación de la sílice o se

están usando los crisoles de platino, la calcinación se puede llevar a cabo en crisoles de porcelana tarados y posteriormente pasar el precipitado al crisol de platino o cuarzo en que se llevará a cabo la fusión con piro-sulfato.

El peso obtenido representa el óxido ferrico (Fe_2O_3), alúmina (Al_2O_3), titanía (TiO_2), óxido manganeso-mangánico (Mn_2O_3), pentóxido de fósforo (P_2O_5), sílice (SiO_2) no precipitada, y a veces otros elementos que no se toman en cuenta en este proceso industrial. Al precipitado en el crisol se le agregan 10 g. de piro-sulfato de potasio y se funde a la menor temperatura posible hasta que desaparezcan los grumos del precipitado. Logrado esto se deja solidificar la masa fundida sobre uno de los lados del crisol y se disuelve en 50 o 100 ml. de ácido sulfúrico al 5 % en caliente. La solución se evapora a calor suave hasta la aparición de humos de SO_3 y se prosigue 10 minutos; se enfría y se disuelven las sales forzadas, quedando únicamente sin disolver la pequeña cantidad de sílice no separada. Se filtra por papel Whatman No. 31 de 7 cm. y se calcina, agregando este peso al de la sílice originalmente determinada. El filtrado se lleva en matraz volumétrico a 100 ml. y de él se tomarán las siguientes alícuotas:

- a) Si la cantidad de fierro es muy pequeña, se tomará una alícuota de 10 o 20 ml. para determinarle colorimétricamente con sulfocianuro. Si la cantidad de fierro es de consideración se tomarán 50 ml. para titularlo por el método de Zimmermann-Reinhardt (9).
- b) Una alícuota de 10 ml. para determinar manganeso con metaperyodato de potasio (9).

- c) Una alícuota de 10 ml. para determinar titanio colorimétricamente con peróxido de hidrógeno (9).
- d) Una alícuota de 10 ml. para determinar fósforo por medio del color azul de los ácidos heteropolares reducidos (9).

La diferencia entre la suza de los pesos de las determinaciones anteriores y el peso logrado para el residuo se informa como alúmina.

OXIDO DE CALCIO.- CaO

Los líquidos resultantes del filtrado de las dos precipitaciones anteriores tiene un volumen de 350 a 400 ml. Se evaporan hasta 200 ml. aproximadamente. Al llegar a este punto se le agregan unas gotas de hidróxido de amonio y se examina si la precipitación de fierro y alúmina fue completa. Si no lo fue, se filtra el pequeño precipitado y se sujeta al mismo procedimiento con los hidróxidos. Al líquido se le agregan 2 ml. de ácido clorhídrico y 1 g. de ácido oxálico y se calienta a ebullición y disolución completa del oxálico. Se alcaliniza con hidróxido de amonio gota a gota hasta virar del papel tornasol, se retira del calor y se deja aumentar en baño maría por 2 horas. Se filtra con papel Whatman No. 52 de 9 cm., recogiendo perfectamente todo el precipitado, y lavándolo 10 veces con agua caliente, en pequeñas porciones cada vez. El precipitado se titula permanganométricamente con la técnica dada por Hillbrand (9).

MAGNESIA.- MgO

La determinación de magnesia hasta la fe

cha se ha venido haciendo con 8-hidroxiquinolina y titulando el precipitado obtenido según (9). Pruebas recientes permiten suponer que se puede titular la magnesia - con exactitud y menor tiempo usando versocato de sodio.

TRIOXIDO DE AZUFRE. - SO_3

El líquido obtenido después de la separación del magnesio se acidula con ácido clorhídrico y se calienta hasta ebullición, agregando solución de cloruro de bario ($BaCl_2$) al 10 % gota a gota. Con cantidades apreciables de trióxido de azufre no ha habido dificultad en su determinación, pero con cantidades muy pequeñas es preferible determinarlo en muestra separada, según Groves (8). Sin embargo esto rara vez tiene importancia en análisis industrial. Es preciso usar un testigo con los mismos reactivos, para asegurarse que no contengan sulfatos. El precipitado se filtra con papel muy cerrado, se lava perfectamente con ácido clorhídrico en caliente al 2 % y se calcina a $600^\circ C$ informándolo como SO_3 .

Con lo anterior termina el análisis de - la porción principal.

ALCALIS. - Na_2O y K_2O

La porción pesada en las cápsulas de platino se trata con 2 ml. de ácido sulfúrico y 10 ml. de ácido fluorhídrico. Si hay reacción violenta se diluye con agua destilada. Se ponen las cápsulas sobre una parrilla a calor suave y se evapora todo lo posible. Cuando el residuo está prácticamente seco, se repite el tratamiento con ácido fluorhídrico y se vuelve a evaporar, aumentando el calor al final para la eliminación de to-

dos los humos de SO_2 ; inclusive se puede dejar toda la noche. El residuo seco se trata con 5 ml. de ácido clorhídrico y 50 ml. de agua caliente, pasándolo a un vaso de 100 ml. y se hace hervir suavemente todo el tiempo necesario para que se disuelva. Si el ataque se hizo correctamente deberá disolverse totalmente, excepto quizás, una pequeña cantidad de sulfato de bario (BaSO_4). Al líquido se le agrega después hidróxido de amonio gota a gota hasta vire del rojo de metilo y 5 ml. de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) al 3%. Se deja calentar 10 minutos y se filtra por papel Whatman No. 31 de 9 cm. recibiendo en vaso de 250 ml. Se lava el precipitado 5 veces con agua amoniacal caliente, se disuelve en ácido clorhídrico y se filtra y lava. Conviene dejar este precipitado de reserva por si hay necesidad de repetir alguna de las determinaciones del precipitado R_2O_3 . El líquido filtrado se evapora suavemente para evitar pérdidas y las sales amoniacales se eliminan en la forma usual. El residuo se disuelve en 20 ml. de agua caliente y se trata con 1 g. de oxalato de amonio para precipitar calcio y con suficiente hidroxiquinolina para precipitar magnesio. Se alcaliniza ligeramente y se filtra por papel Whatman No. 2 de 9 cm., se lava 5 veces con agua amoniacal, caliente, recibiendo el filtrado en vaso de 100 ml. el cual se pone nuevamente a evaporar para eliminar las sales de amonio. Con los tratamientos anteriores se logran aislar adecuadamente los sulfatos alcalinos; sin embargo, conviene asegurarse de su pureza, disolviéndolos en 20 ml. de agua caliente agregando unas pocas gotas de solución de carbonato de amonio. Si hay algún precipitado, se filtra y se recibe el filtrado en un vaso de 50 ml. tarado previamente. Se evapora a sequedad, se calcina y se pesa. Se repite la pesada -

después de haberlo tarado con unos trocitos de carbonato de amonio sólido y calcinado y este último peso se toma como el correcto de los dos sulfatos (Na_2SO_4 y K_2SO_4).

MONOXIDO DE POTASIO.- K_2O

La determinación de potasio se hará precipitándolo como cobaltinitrito de potasio y titulando permanganométricamente este precipitado (12).

MONOXIDO DE SODIO.- Na_2O

Ya determinado el peso de potasio, la diferencia entre éste como sulfato y el peso del residuo en el vaso, corresponderá al sulfato de sodio.

HUMEDAD.

Se determina por pérdida calentando a $105 - 110^\circ\text{C}$ durante 4 horas.

AGUA DE COMBINACION.

En la misma muestra anterior se continúa el calentamiento a $900 - 1000^\circ\text{C}$ hasta peso constante quedando así eliminada el agua de combinación.

FIERRO FERROSO.- FeO

Se sigue la técnica de Groves (8).

CAPITULO VI

RESULTADOS DEL ANALISIS A LOS QUE SE SOMETIERON LAS ---
MUESTRAS.

a) Propiedades físicas.

1) Permeabilidad.

La prueba de permeabilidad se aplicó a dos muestras; ésta prueba se llevó a cabo en la Metalúrgica Alsena por el Ing. Raul Guerrero C., y obtuvo los siguientes resultados:

Muestra	Permeabilidad	% Aglomerante
5	120	3
7	170	5

2) Cono pirométrico.

Los conos pirométricos se hizo en la Cía Mexicana de Refractarios A.P. Green, y el Ing. Victor M Gómez informó los siguientes resultados:

Muestra	Cono
1	32 1/2
2	33 1/2
3	34
4	33 1/2
6	34
7	33
8	32 1/2
9	31
10	32
11	32 1/2

3) Granulometría.

La prueba de granulometría se llevó a cabo en una serie de tamices U.S. Standard.

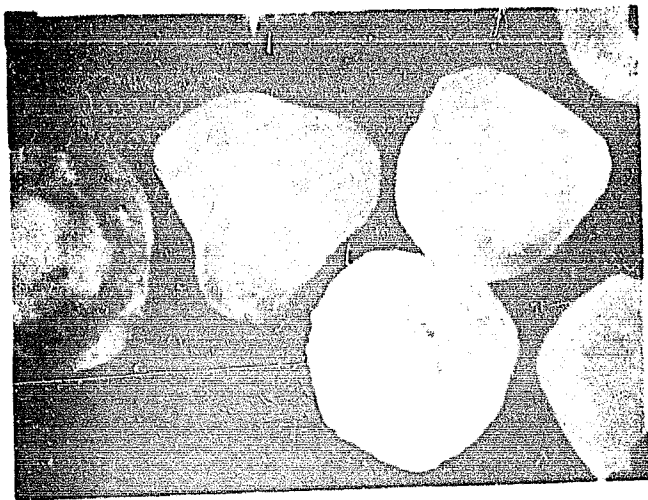
	1	2	3	4	5	6
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
12	0.4	0.0	3.6	0.0	0.0	1.2
20	12.3	0.0	16.5	0.4	0.0	4.2
30	12.3	0.0	11.3	0.5	0.3	6.8
40	29.6	0.2	20.2	4.4	0.5	15.7
50	15.6	0.2	22.5	25.0	0.2	30.6
70	6.8	17.0	17.4	44.5	7.5	25.9
100	1.2	43.9	6.6	23.2	47.0	11.2
140	1.5	30.5	1.4	0.7	37.2	3.5
200	0.3	5.8	0.5	0.5	5.6	1.0
270	0.0	2.4	0.0	0.6	1.3	0.4
-270	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.3

	7	10	11		13	14
6	2.4	0.0	0.0	6	0.0	0.0
12	1.4	0.3	1.1	10	0.0	0.0
20	2.6	9.3	5.1	20	4.3	0.0
30	5.5	28.1	15.9	30	12.7	0.0
40	14.7	36.0	29.3	40	21.1	0.1
50	31.0	18.1	31.2	50	26.1	0.0
70	26.7	6.3	13.3	70	19.0	0.2
100	11.3	1.2	3.2	100	11.4	0.2
140	2.7	0.1	0.5	150	4.2	12.5
200	0.3	0.0	0.3	200	1.0	43.7
270	0.3	0.0	0.1	270	0.2	26.4
-270	0.1	0.1	0.0	-270	0.0	16.9

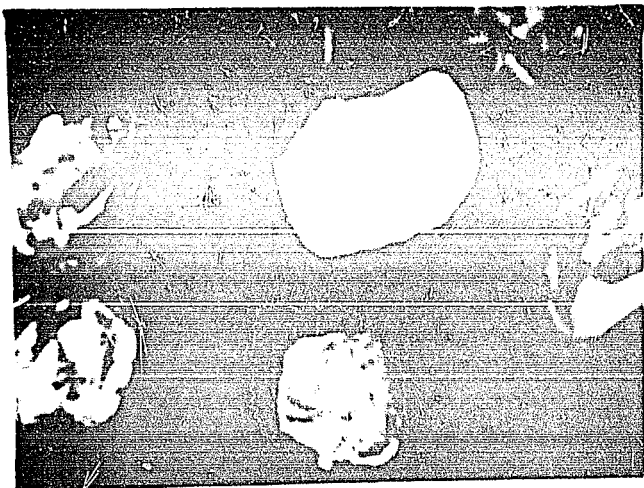
a) Morfología de las arenas.

El prof. Eduardo Schmitter nos da la siguiente morfología de las muestras usadas en la presente tesis comparandolas con una muestra de Ottawa. La clasificación dice en primer termino la forma predominante.

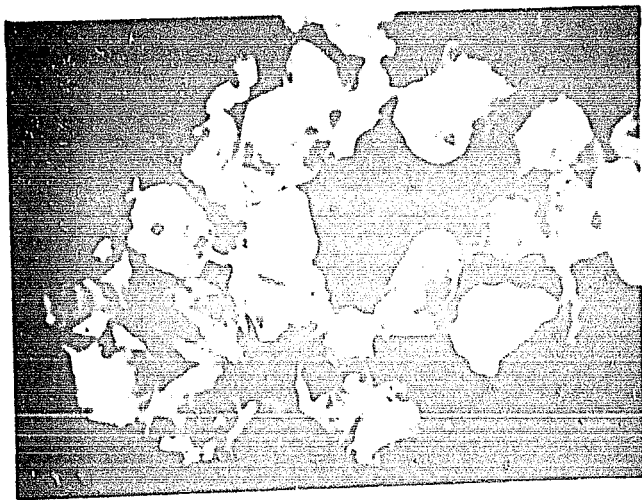
Arena de Ottawa. - Redondeada, subangular.



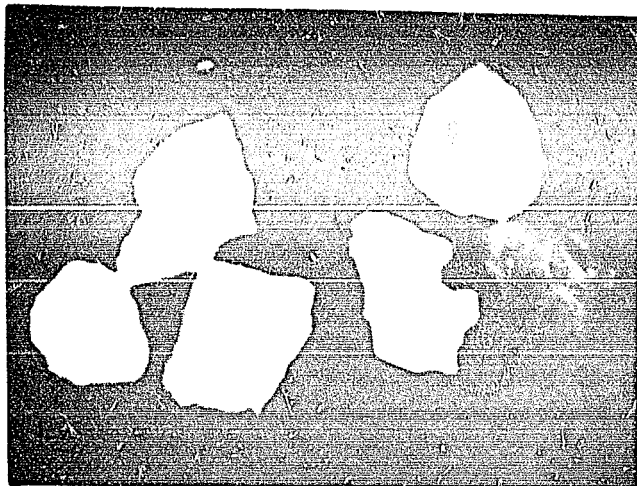
Muestra # 1.- Subangular, redondeada.



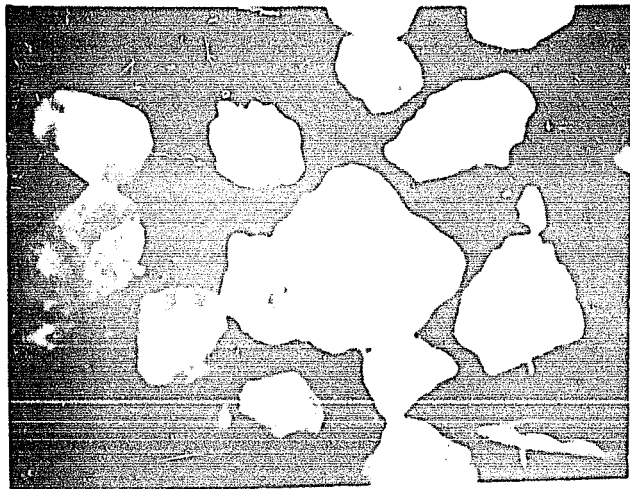
Muestra # 2.- Angular, subangular.



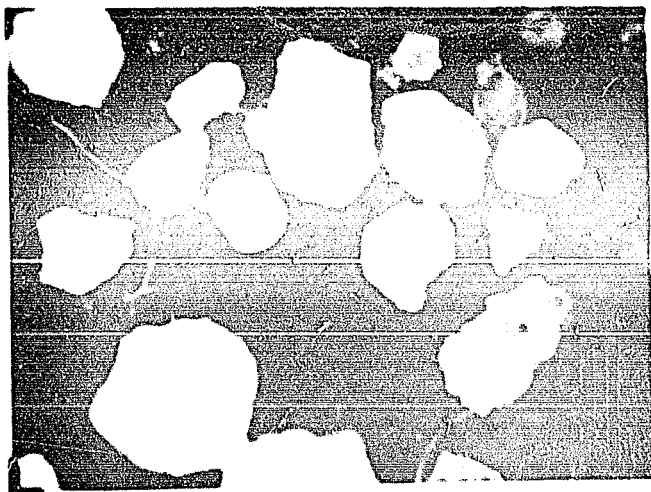
Muestra # 3.- Subangular, redondeada.



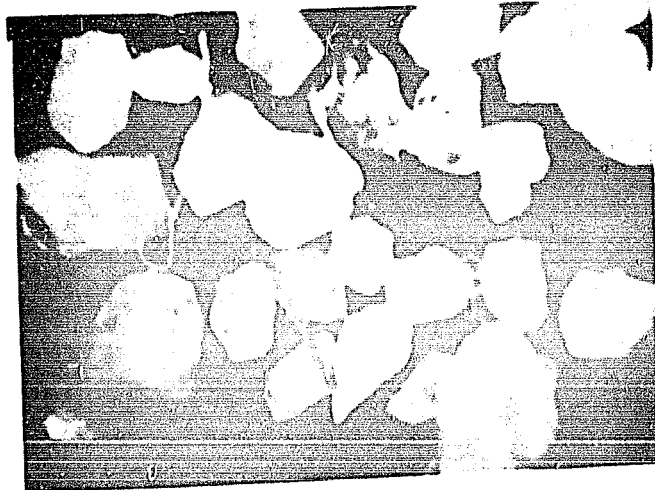
Muestra # 4.- Subangular, redondeada.



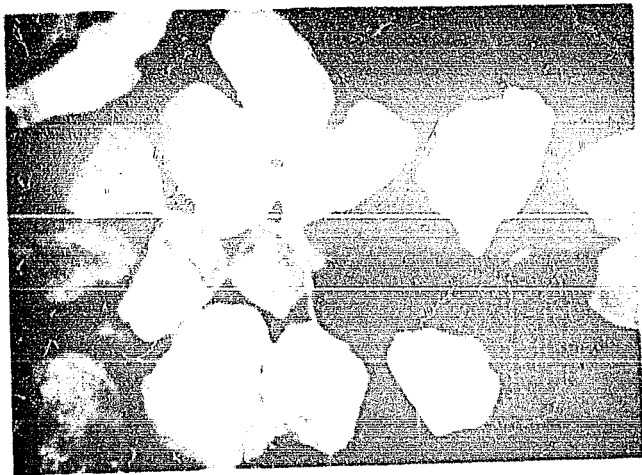
Muestra # 5.- Subangular redondeada.



Muestra # 6.- Subangular, redondeada.



Muestra # 7.- Subangular, redondeada.



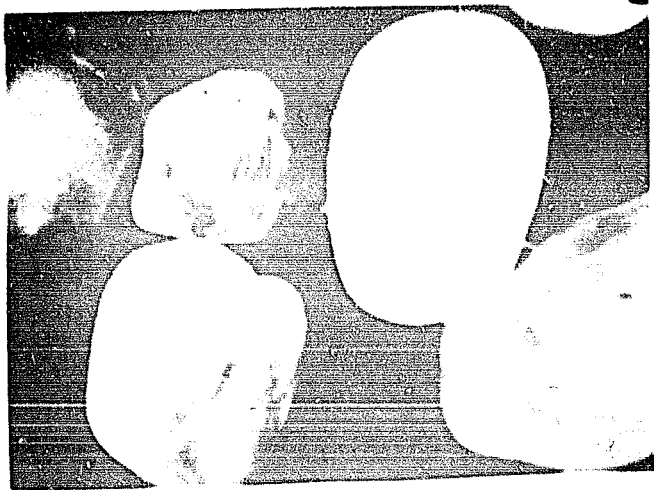
Muestra # 9.- Redondeada, subangular.



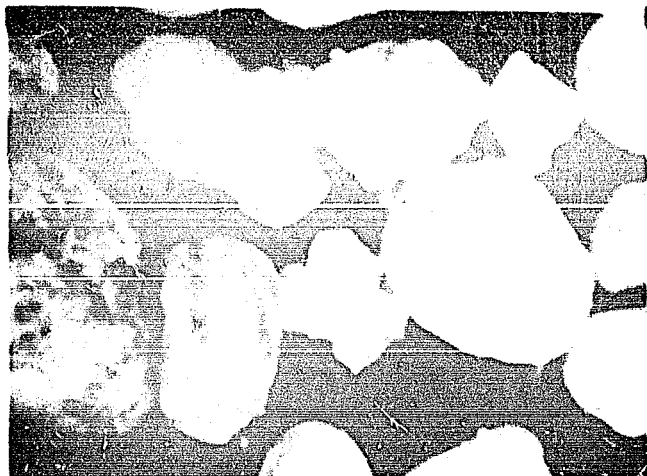
Muestra # 9.- Redondeada, subangular.



Muestra # 10.- Redondeada.



Muestra # 11.- Redondeada, subangular.



5) Clasificación de las arenas.

Muestra # 1.

Impureza total -----	± 2 %.
Constituyente principal -----	Cuarzo.
Constituyente secundario -----	Albita.
	Limonita.
	Hematita.

Muestra # 2.

Impureza total -----	- del 1 %.
Constituyente principal -----	Cuarzo.
Constituyente secundario.-----	Sanidino.
	Albita.
	Limonita.

Muestra # 3.

Impureza total ----- \pm 1 %.
Constituyente principal ----- Cuarzo.
Constituyente secundario ----- Hematita.

Muestra # 4.

Impureza total ----- - del 1 %.
Constituyente principal ----- Cuarzo.
Constituyente secundario ----- inclusion fierro

Muestra # 5.

Impureza total ----- \pm 2 %.
Constituyente principal ----- Cuarzo.
Constituyente secundario ----- Hematita.
Limonita.
Alterado fierro.

Muestra # 6.

Impureza total ----- \pm 2 %.
Constituyente principal ----- Cuarzo.
Constituyente secundario ----- Hematita.
Limonita.
Arcilla.
Zircón.

Muestra # 7.

Impureza total ----- \pm 3 %.
Constituyente principal ----- Cuarzo.
Constituyente secundario ----- Hematita.
Alterando fierro

Muestra # 10.

Impureza total ----- \pm 15 %.
Constituyente principal ----- Cuarzo.
Constituyente secundario ----- Sanidino.
Hematita.
Limonita.
Arcilla - 1 %.

Muestra # 11.

Impureza total ----- \pm 30 %.
Constituyente Principal ----- Cuarzo.
Constituyente secundario ----- Sanidino.
Hematita.
Limonita.
Albita.
Arcilla.

6) Análisis por fluorescencia de rayos X.

Las muestras a las cuales se les hizo este análisis fueron las número 8 y 10, y el Quím. Renán Pérez Priego informó los siguientes resultados:

Fecha	15/VI/64	Núm	1
Difracción		Fluorescencia	X
Muestra	A	No. Progresivo	204
Localidad	CORRALITOS. CHIH.		
Anticátodo	Mo	Filamento	#
		Detec	Geiger
Kv	45	Ma	20
		Sens	2
		T.c.	4
Vel. Gon	2°/min	Vel. Panel	25.2cm/h
		Mult	0.6
Vacio	NO	estado	sólido
		Crist.	NaCl
Minerales det			
elementos det	Zn., Tm., Mo.		
Observaciones	Mo. como impureza del anticátodo, Zn. y Tm. en partes por millón (huellas).		

Fecha	16. VI/54	Núm	2				
Difracción		Fluorescencia	x				
Muestra	10	No. Progresivo	203				
Localidad	ESTADO DE MICHOACAN.						
Anticátodo	Mo.	Filamento	W. Petec Geiger.				
Kv	45	Ma	20	Sens	2	T.c.	4
Vel. Gon	2°/min	Vel. Parel	76.2cm/h	Mult	0.6		
Vacio	NO	Estado	SOLIDO	Crist	NaCl		
Minerales det.							
Elementos det	Mo., Zn.						
Observaciones	Mo. como impureza del anticátodo, Zn. en partes por millón (muéllas).						

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

100

90

80

70

60

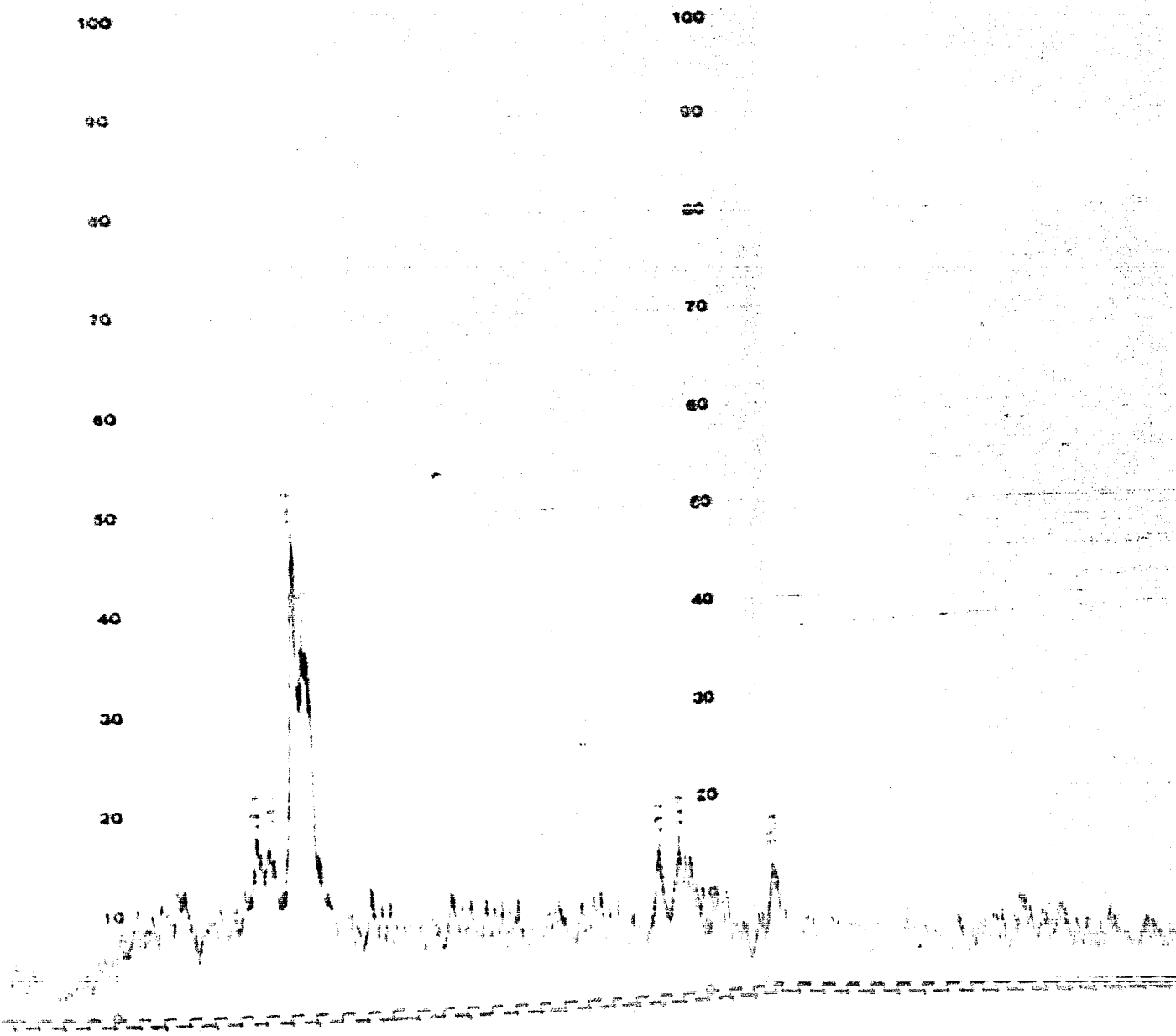
50

40

30

20

10



100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

100

90

80

70

60

50

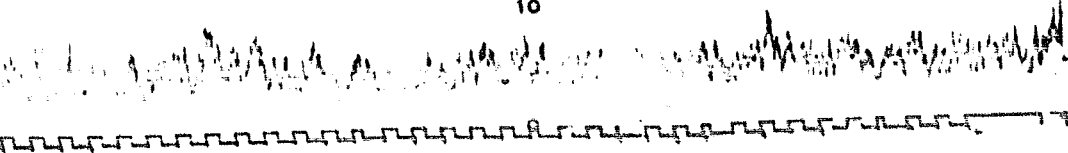
40

30

20

10

6



100

90

80

70

60

50

40

30

20

100

90

80

70

60

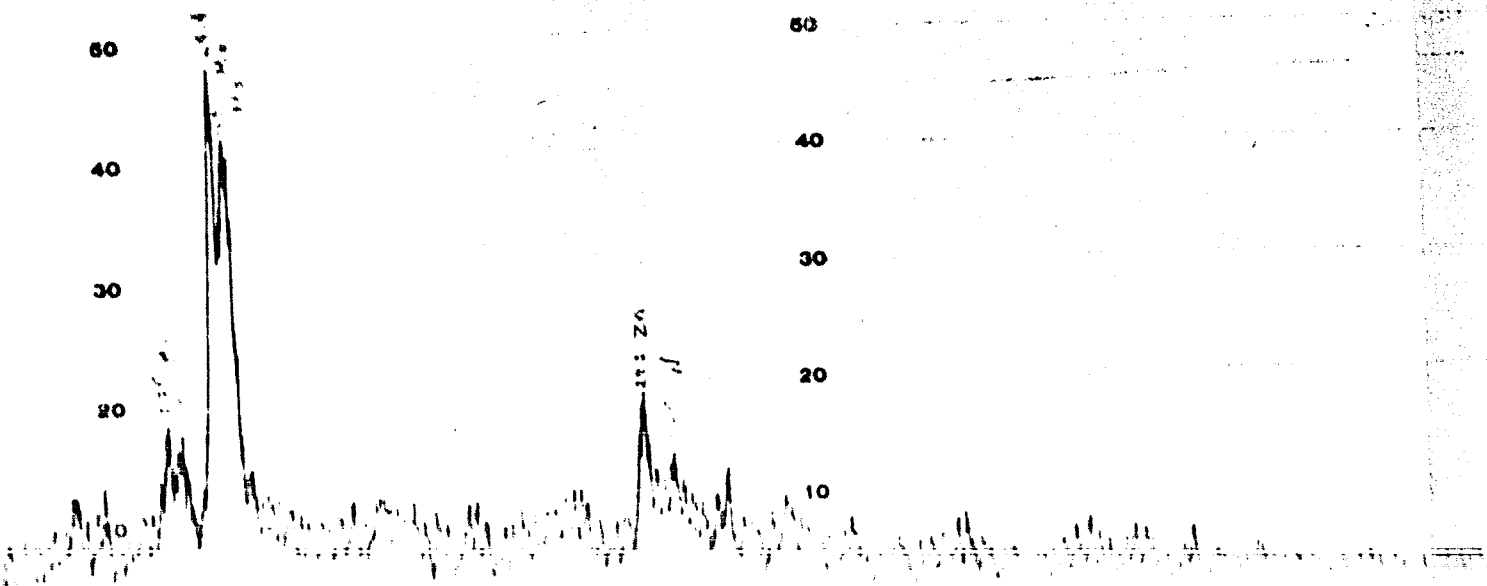
50

40

30

20

10



100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

100

90

80

70

60

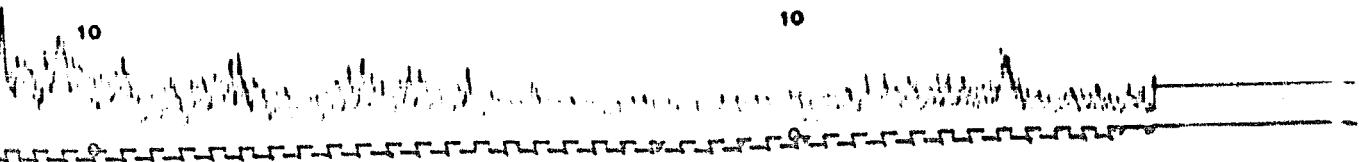
50

40

30

20

10



b) Análisis químico.

Muestra	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	98.70	92.17	98.82	99.80	99.11	98.96
TiO ₂	0.04	0.07	0.05	0.07	0.06	0.37
Al ₂ O ₃	1.08	4.72	1.01	0.81	1.34	0.71
Fe ₂ O ₃	0.00	0.14	0.00	0.00	0.03	0.07
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.49	1.94	0.17	0.04	0.19	0.48
K ₂ O	0.59	2.62	0.00	0.00	0.24	0.00
P ₂ O ₅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H ₂ O ⁺	0.03	0.03	0.23	0.07	0.27	0.20
H ₂ O ⁻	0.00	0.00	0.04	0.02	0.03	0.01
Suma	100.93	101.69	100.32	100.81	100.27	100.80

Muestra	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	97.41	96.57	92.90	95.68	96.17	99.77
TiO ₂	0.30	0.05	0.14	0.02	0.08	0.03
Al ₂ O ₃	1.04	1.95	2.90	3.17	2.57	0.16
Fe ₂ O ₃	0.73	0.00	0.12	0.00	0.05	0.01
MnO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	0.00	0.24	0.36	0.00	0.00	0.01
Na ₂ O	0.22	0.47	1.43	0.31	0.47	0.04
K ₂ O	0.00	1.05	1.87	1.60	0.65	0.16
P ₂ O ₅	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
H ₂ O ⁺	0.33	0.16	0.27	0.00	0.05	0.00
H ₂ O ⁻	0.01	0.02	0.02	0.00	0.40	0.00
Suma	100.04	100.52	100.02	100.78	100.24	100.18

Muestra	13	14
SiO ₂	97.55	94.60
TiO ₂	0.35	1.10
Al ₂ O ₃	1.49	2.36
Fe ₂ O ₃	0.35	0.00
MnO	0.00	0.02
MgO	0.05	0.18
CaO	0.00	0.00
Na ₂ O	0.18	0.27
K ₂ O	0.03	0.10
P ₂ O ₅	0.00	0.00
H ₂ O ⁺	0.12	0.68
H ₂ O ⁻	0.00	0.00
Suma	100.12	100.19

C A P I T U L O VII

CONCLUSION.

Por los resultados experimentales obtenidos en la serie de pruebas señaladas en esta tesis, es fácil ver que es posible pensar en otra ruta de abastecimiento nacional sin tener que recurrir a la importación. Sería un paso más en la independencia y el desarrollo de nuestra creciente industria nacional.

Ya se deja entender que es requisito indispensable para el empleo de arenas nacionales, una vigilancia rigurosa de las propiedades físicas y químicas de los diferentes yacimientos de arena, con el fin de estar en posibilidad de garantizar totalmente su calidad.

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

- 1.- Campbell H. L.
Taking the Mystery out of Foundry Sand Control.
Claud S. Gordon Co.; Chicago 16, Illinois.
1952.
- 2.- Davis C. E. S.
A Rapid Method of Analysing Cements and Rock Products.
Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia.
1961.
- 3.- Diaz Araiza G.
Uso de la arena silicea en la fabricación de corazones y mezclas de arena de moldeo.
II Congreso Nacional y Exposición de la Industria de la Fundición. México, D.F.
1963.
- 4.- Ford W. E.
Dana's Textbook of Mineralogy.
John Wiley and Sons. New York.
1958.
- 5.- García Lozano R.
Informe preliminar acerca de los yacimientos de arena cuarzosa de Tarandacuao y lugares cercanos, Edo. de Guanajuato.
Anales del Instituto de Geología, tomo IX.
1951.
- 6.- Gentry C. H. R. and Sherrington L. G.
Analyst, 75, 17.
1950.
- 7.- Geological Survey Bulletin 1113.
Second Report on a Cooperative Investigation of the Composition of Two Silicate Rocks.
United State Government Printing Office, Whashington.
1960.
- 8.- Groves A. W.
Silicate Analysis.
G. Allen & Unwin Ltd. London.
1951.
- 9.- Hillebrand, Luell, Bright, Hoffman.
Applied Inorganic Analysis.
Wiley. New York.
1953.

- 10.- Johnstone.
Mineral of Chemical and Allied Industries.
Wiley. New York.
1954.
- 11.- Kinnunen J. and Wennestrand B.
Chemist Analyst. 46, 4, 92.
December 1957.
- 12.- Lassieur A.
Analyse des Silicates.
Bunod. Paris.
1951.
- 13.- E. H. 2.
Normas de calidad para arenas de silice utilizadas
en la fabricaci3n de vidrio.
Vidriera M3xico, S.A.; M3xico, D.F.
1961.
- 14.- Riley J. P.
The Rapid Analysis of Silicate Rocks and Minerals.
Analytical Chemica Acta, 19.
1958.
- 15.- Sandell E. B.
Colorimetric Metal Analysis.
Interscience. London.
1959.
- 16.- Schilt A., Frederick G., and Heimbuch A.
Spectrophotometric Determination of Iron in Strong
Alkali Media.
Analytical Chemistry; 28, 809
1956.
- 17.- Seeley W. Mudd Series.
Industrial Minerals and Rocks.
A.I.M.E.
1960.
- 18.- Valencia de Leon C.
Control de las arenas de moldeo en la fundici3n.
II Congreso Nacional y Exposici3n de la Industria -
de la Fundici3n. M3xico, D.F.
1963.
- 19.- Yoe J. and Armstrong A.
Analytical Chemistry; 19, 100.
1947.