



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**TESIS DONADA POR
D. G. B. - UNAM**

**PRODUCCION DE BARNICES Y OPACIFICANTES
CERAMICOS A PARTIR DE ARENA DE ZIRCON.**

TESIS:

Que para obtener el Titulo de
INGENIERO QUIMICO METALURGICO

Presenta:

**GUILLERMO DIEGO RODRIGUEZ
ESQUEDA**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

INDICE

RESUMEN

INTRODUCCION

I.- ANTECEDENTES

II.- GENERALIDADES

II.1 ZIRCONIO

II.1.1 Ocurrencia del zirconio.

II.1.2 Minerales de zirconio.

II.1.3 Propiedades físicas y químicas del zirconio.

II.1.4 Obtención y usos del zirconio.

II.2 ZIRCON

II.2.1 Propiedades del zircón.

II.2.2 Principales fuentes de zircón.

II.2.3 Usos del zircón.

II.3 VIDRIADOS

II.3.1 Formulación y propiedades de los vidriados.

II.3.2 Tipos de vidriados.

II.3.3 Preparación de los vidriados.

II.4 COLORANTES CERAMICOS Y OPACIFICADORES

II.4.1 Los colorantes cerámicos.

II.4.2 Porcelana de zircón y opacificadores.

III. - PRUEBAS EXPERIMENTALES

III.1 SEPARACION MAGNETICA

III.2 SEPARACION GRAVIMETRICA

III.3 SEPARACION ELECTROMAGNETICA

III.4 CONCENTRACION FISICOQUIMICA

III.5 PRODUCCION DE BARNIZ Y OPACIFICANTE. Y OPACIFICANTE DE ZIRCON.

IV. - RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

APENDICE

BIBLIOGRAFIA

RESUMEN.

Existen en el Golfo de México, específicamente en el sureste de la República, arenas negras denominadas detríticas. Estas arenas presentan una composición mineral que hace atractiva su explotación y el beneficio de algunos de sus minerales. El zircón, es nuestro mineral en cuestión y aparece en estas arenas con una baja ley, por lo que se procede a su beneficio por diversos métodos (separación magnética, mesa Wilfley, separación electromagnética y flotación), lográndose una aceptable concentración. El zircón concentrado es utilizado para producir barniz y opacificante cerámico, para lo cual es previamente tratado; éste es, molido y emulsionado (junto con la fríta), y posteriormente es aplicado sobre azulejos mediante una pistola por pulverización, para posteriormente cocer las piezas, observándose una excelente textura y color en el producto terminado.

INTRODUCCION.

En la era actual, bajo un intenso crecimiento científico e industrial, resulta imperioso, para un país como México, el desarrollar tecnologías, que le resulten rentables y aplicables, tomando en consideración las reservas y los alcances técnico-económicos con que se cuenta. Es necesario hacer mención de la constante fuga de divisas ocasionada por la importación de una gran cantidad de materias primas que no son producidas en México.

El presente trabajo lleva como finalidad el proponer un estudio de carácter técnico que muestre la probabilidad de producir barniz y opacificante cerámico, partiendo de una arena de sílice beneficiada de las arenas negras encontradas en el sureste de la República Mexicana, siguiendo el procedimiento que algunos países como Australia, hacen de éstas arenas, y estableciendo algunas variantes a conveniencia de nuestras condiciones.

I.- ANTECEDENTES

Los antecedentes de la cerámica vienen desde la prehistoria. Desde aquellos tiempos ha habido una marcada evolución en ésta rama, principalmente desde el momento en que empiezan a aplicarse vidriados sobre las piezas para favorecer sus propiedades.

Este vidriado ó lustre era conocido por los egipcios y los etruscos, quienes lo empleaban en sus vasos funerarios, conocidos con el nombre de "canopes". Desde aquí empieza a desarrollarse la decoración aplicada, y así podemos encontrar en los edificios de la antigua Egipto y Asiria, que datan de unos 3000 años A. C., hermosos ladrillos de color, utilizados como ornatos arquitectónicos.

El barniz se originó probablemente en Egipto, y el secreto de su fabricación fué conocido más tarde por los griegos, quienes lo imitaron, aunque imperfectamente, sobre todo en sus vasos, cuyas formas puras y elegantes, de un gran estilo y buen gusto, han hecho de la cerámica una de las bellas artes.

La cerámica de los romanos está recubierta de un lustre delgado silicoalcalino, de color bermejo. La alfarería barnizada comprende las piezas recubiertas de barniz vítreo, generalmente a base de plomo, y coloreadas. Estas cubiertas fueron introducidas en Europa por los fenicios.

En el siglo VIII D.C. los árabes, después de invadir España lograron perfeccionar el barniz transparente entonces conocido introduciendo en su composición óxido de estaño, el cual trajo la invención del esmalte estanífero, o barniz blanco opaco.

Muy típicos por el decorado estupendo y afamados por la belleza del vidriado, fueron los objetos y baldosas fabricados en la isla de Mallorca de donde les vino el nombre de "mayólica". Los principales representantes del arte de la mayólica, que estuvo muy en boga hasta el siglo XVII, fueron, el florentino Luca de Robbia que aplicó desde 1436 el vidriado de estaño (blanco sobre fondo azul); Giorgio Andreoli, de Pavia que trabajaba en Gubbio (1519-1537) y consiguió dar al vidriado el lustre rojo rubí con iri

saciones y reflejos metálicos; y por último, Ginori, de Doccia, junto a Florencia, cuya descendencia se halla todavía en actividad en la comarca de origen; además de las poblaciones citadas conviene mencionar en Italia, Peraso, Venecia, Nápoles, Urbino, Castel Durante y Faenza.

En 1420, Un escultor italiano anónimo produjo admirables terracotas y maravillosos bajorelieves recubiertos con barniz de estaño.

Fue durante la dinastía Han (200 A.C a 200 D.C) cuando apareció en China por primera vez la porcelana vidriada; posteriormente (618-907 D.C.) se hicieron notables productos en tres colores, pero todavía sobre pastas cocidas a bajas temperaturas, puesto que la manufactura de porcelana a alto fuego, no fue de uso general sino hasta los años 960-1279 D.C., cuyas porcelanas fueron famosas por su variedad de estilos y coloridos.

En Seto, Nagoya, la cerámica vidriada se presentó a principios del siglo XIII y después se difundió por otras partes de todo Japón, llegando a perfección

narse hasta lograr la porcelana altamente ornamental y decorativa, llamada "kakieman", que es uno de los mejores productos conocidos en esos tiempos.

En Alemania y Francia durante el siglo XVI se fabricó una gran variedad de mayólicas. Bernardo Palissy (1500-1580) fué en Francia el maestro del arte cerámico medieval; sus obras se distinguen por la riqueza del modelado y la belleza y brillo del vidriado.

Agustín Hirshvogel, natural de Nuremberg, aprendió en Urbino el arte de la mayólica en 1503 e introdujo la técnica de ésta industria en su ciudad natal, donde rayó a gran altura; son renombradas sus estufas ricamente decoradas con vidriados verdes o negros cuyos modelos se imitan aún hoy en día. La fabricación de gres cerámico llegó a su apogeo en Aquisgran en el siglo XII, merced a la aplicación de barniz de sal que probablemente ya era conocido en el siglo XI, pero la época de florecimiento del gres cerámico alemán fué entre los años 1440 a 1620.

En Holanda, en tiempos de Enrique IV se produjo una porcelana denominada Delft, la cual presentaba un

vidriado de estaño y dibujos azules que corresponde al tipo mayólico.

En Francia las investigaciones de Réamur y Morin, dieron por resultado, en 1695, el descubrimiento de la porcelana fritada, la cual venía a ser un vidrio opalino; posteriormente aparecieron los barnices coloreados, logrando un alto desarrollo hasta nuestros días.

II. GENERALIDADES.

II.1 ZIRCONIO

II.1.1 Ocurrencia del zirconio.

El zirconio se encuentra ampliamente distribuido en la corteza terrestre, ocupando el onceavo lugar en abundancia relativa de los elementos en rocas ígneas, 185 gramos por tonelada que equivalen al 0.028% del total. Es más abundante que algunos metales como el cobre, el níquel, el plomo y el zinc.

El zirconio es encontrado en rocas cristalinas (especialmente en caliza granular), en esquistos, en gneissas, sienitas, granito y camas de menas de oro. También se encuentra en pegmatitas, areniscas y arenas ferruginosas y en otras rocas en menor proporción.

El zirconio presenta una alta coherencia geológica con el hafnio, que tiene un índice de abundancia de 4.5 gramos por tonelada, más abundante que el antimonio y el bismuto. Los principales países produc

tores de menas y concentrados de zirconio, en orden decreciente son: Australia, Estados Unidos, Africa, Brasil, Sudáfrica, Egipto, Malaya, India y Madagascar.

II.1.2 Minerales de zirconio.

Aunque en realidad existen 14 minerales de zirconio, las únicas menas minerales de importancia económica son:

- a) Zircón, que es un silicato de zirconio con una cantidad variable de hafnio $(ZrHf)O_2 \cdot SiO_2$.
- b) Badeleyita, brazilita, caldasita o zirkita que es un óxido de zirconio cristalizado en el sistema monoclinico y que presenta - sus cristales aislados o más frecuentemente, en masas fibrosas o nodulares, de color amarillo, pardo o negro. Su dureza es de 6.5 y su gravedad específica oscila entre 5.7-6. Aparece en los placeres gemíferos de Sri Lanka, en la URSS y en Brasil.

De menor importancia económica están:

- a) Eudialita, es un silicato de zirconio complejo común en pegmatitas y sienitas alcalinas $(Na, Ca, Fe)Zr(OH, Cl)(Si_3O_9)_2$.
- d) Existe un tipo de zircón alterado o metamictico en el que es reconocido que el bombardeo de partículas alfa causa finalmente

cambios extensivos en la estructura de muchos minerales, sin que esto se obedezca en el caso de sustancias estables con enlaces fuertes (atómicos o estructuras iónicas) o con alta movilidad de electrones. Estos minerales son:

Cirtolita, que contiene uranio, ytrio y otros elementos raros.

Naegita, que contiene óxidos de ytrio, niobio-tantalio, torio y uranio como agregados esferoidales, ésta variedad aparece principalmente en Japón y es de color verde ó gris moreno; su dureza es de 7.5, y su gravedad específica de 4.1.

El malacón y la alvita.

e) La orvilita es un silicato de zirconio hidratado y cuya fórmula es $(8ZrO_2 \cdot 6SiO_2 \cdot 5H_2O)$.

f) La catapleita que es un ciclosilicato que cristaliza en el sistema monoclinico de color variado: blanco, gris, azul, pardo o incoloro; su dureza es de 6 y su gravedad específica de 2.75; se representa por $[Na_2CaFe_4(Fe,Al)(OH,F)_2AlSi_7O_{22}]$.

g) Lavenita que es un sorosilicato que cristaliza en el sistema monoclinico y aparece en cristales alargados o tabulares y en granulos incoloros o de color amarillo, rojizo o pardo oscuro; su dureza es de 6, su gravedad específica de 3.5 y su fórmula es representada por $[(Na,Ca,Mn)_3Zr(F,OH,O)_2Si_2O_7]$. Esta especie ha sido localizada exclusivamente en Noruega, Brasil y en las Islas Azores.

h) Rosenbuschita, es un silicato que cristaliza en el sistema -

trielínico; se presenta en cristales aciculares o agregados fibrosoradiados, con brillo vítreo; su dureza es de 5-6 y su gravedad específica de 3.3; funde a la llama del soplete y se disuelve con HCl, su fórmula es $[(Ca,Na)_6Zr(Ti,Mn,Nb)(F,O)_2Si_2O_7]$; su presencia se encuentra en Noruega.

i) Hiortdalita, es un silicato y zirconato de calcio y sodio.

j) Wohlerita, es un sorosilicato que cristaliza en el sistema monoclinico con cristales tabulares y gruesos y con la superficie agrietada; su color varía de amarillo a incoloro y presenta un brillo resinoso; su dureza es de 5-6 y su gravedad específica es de 3.44; se encuentra en Noruega, Suecia y Estados Unidos; se representa por $[Ca_2NaZr(F,OH,O)_2Si_2O_7]$.

k) Elpidita, es un ciclosilicato que cristaliza en el sistema rómbico; forma fibras de color blanco; su dureza es de 7 y su gravedad específica de 2.54; es un mineral poco frecuente, descubierto en Groenlandia, $[Na_2ZrSi_{16}O_{15} \cdot 3H_2O]$.

l) Lorenzenita es un silicato, zirconato y titanato de sodio.

m) Polimignita, es un complejo de zirconato, titanato y tántalo-columbato de lantánidos, calcio y fierro.

n) Uhligita, es un zirconato y titanato de calcio y fierro.

o) Zirkelita, es un complejo de zirconato, titanato y torato de calcio, fierro y lantánidos.

Todos los minerales de zirconio contienen hafnio el cual para los fines comerciales que el zirconio presenta debe de ser separado por considerarse impureza. El zircón y la badeleyita contienen de 0.5-2% de hafnio y de 1-1.8% de hafnio respectivamente.

II.1.3 PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL ZIRCONIO

Las principales propiedades del zirconio son enlistadas enseguida:

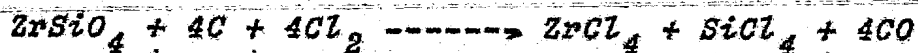
Peso Atómico	91.22
Número Atómico	40
Radio Atómico	1.52 Å
Gravedad Específica	6.52gr/c.c.
Punto de fusión	1857°C
Punto de ebullición	3577°C
Dureza Vickers	105 kg/mm ²
Módulo de elasticidad	11.3 lb/in ²
Isótopos estables	90, 91, 92, 94 y 96
Expansión térmica	$5.89 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
Calor Específico	$C_v / 25-100^\circ\text{C} = 0.0693$
Capacidad calorífica	$C_p / 150-1056^\circ\text{C} = 0.070 + 3.6 \times 10^{-5} T \frac{\text{cal}}{\text{gr}^\circ\text{C}}$
Calor latente de fusión	5.5 Kcal/mol
Resistividad eléctrica	45 ohms-cm

II.1.4 METODOS DE OBTENCION Y USOS DEL ZIRCONIO.

Proceso Kroll.

Este es el proceso que actualmente tiene más impulso comercial para la producción de zirconio metálico. De su lugar de origen en Oregon, Estados Unidos, se ha extraído el proceso condensado con su correspondiente explicación (fig. 1):

- 1.- La arena de zircon se mezcla con carbón, en forma de coque, y es reducido en un molino de bolas.
- 2.- La mezcla de zircon con coque es puesta a reaccionar a 1200°C con cloro, para producir $ZrCl_4$ y $SiCl_4$ de acuerdo a la reacción:



El $ZrCl_4$ y el $SiCl_4$ son separados posteriormente en un clorinador por condensación parcial. El $SiCl_4$ es considerado como un subproducto del proceso.

- 3.- El $ZrCl_4$ contiene aproximadamente 2% de $HfCl_4$ ambos son mezclados con agua; la solución alimentada se ajusta a una concentración específica y es filtrada para remover los sólidos suspendidos (arena fina y carbón). Esta solución es transferida entonces a un sistema de separación.

4.- El sistema está compuesto por una serie de tanques de extracción por solventes, remoción y de columnas de lavado, las cuales separan, vía extracción líquido-líquido, los elementos zirconio y hafnio, lo cual es necesario por sus diferentes propiedades nucleares.

5-6.- Las soluciones que contienen zirconio y hafnio son almacenadas y separadas con cuidado. La solución de zirconio es precipitada con ácido sulfúrico a la forma de $Zr(SO_4)_2$. Este precipitado es filtrado en un filtro rotatorio, para después redisolverse y lavar con agua amoniacal y formar zirconia, filtrando nuevamente y separando los iones sulfato.

La separación de hafnio es efectuada por la adición de amoníaco a una solución de $Hf(SO_4)_2$.

7.- La zirconia, formada es bombeada a un horno rotatorio que opera a temperaturas aproximadas de $1000^\circ C$.

El producto calcinado es ZrO_2 , el cual se colecta en recipientes que se encuentran en la zona de descarga del horno.

8.- El ZrO_2 y cantidades estequiométricas de coque son íntimamente mezclados y puestos a reaccionar con cloro de acuerdo a la siguiente reacción:



9.- El $ZrCl_4$ reacciona con magnesio metálico en una clásica reducción Kroll, de acuerdo a la siguiente reacción:



el $MgCl_2$ es tomado como un subproducto.

10.- El $MgCl_2$ es físicamente removido de los productos obtenidos en la reacción ya completa de reducción Kroll.

11.- La esponja de zirconio obtenida es llevada a un proceso de trituración, con el fin de obtener un mayor grado de pureza en el producto.

12.- Esta se lleva de 4 a 3/4 de pulgada rechazando se lo finos.

13.- Las carreras de zirconio obtenidas individualmente son mezcladas para conocer las especificaciones requeridas en la producción.

14.- Este producto es compactado en una masa de 14" de diámetro por 5" de espesor.

15.- Con estas esponjas y billetes rasgados se forman arcos eléctricos fundidos, mediante una viga electrónica.

16.- Los electrodos son fundidos en lingotes de 23" de diámetro, por el proceso consumible de fusión de

arco. Una segunda fusión asegura una buena homogeneidad.

17.- Los lingotes ya obtenidos son sometidos a un proceso de laminación o de maquinado.

18.- Se efectúa finalmente un trabajo por forja, rolado en caliente, rolado en frío y de extrusión para el producto terminado.

Un proceso de menor importancia comercial, - por resultar costoso (razón por la que su uso es muy limitado), es el proceso Van Arkel, el cual utiliza zirconio impuro, y yodo gaseoso para producir ZrI_4 (250-300°C) en forma gaseosa y posteriormente liberar el yodo gaseoso y depositar el zirconio metálico.

Otro proceso que no ha tenido un impacto considerable para la producción de zirconio metálico es la electrólisis de los compuestos de zirconio, en baños de sales fundidas, siendo la principal causa de su uso limitado, la poca cantidad de metal que se obtiene en el proceso.

II.2.3 USOS DEL ZIRCONIO.

Originalmente, el zirconio encontro una amplia aplicación principalmente en electrónica y cirugía; actualmente su principal uso es de carácter nuclear, debido a que presenta una baja absorción de neutrones, fuerza mecánica, estabilidad bajo esfuerzos severos que originan altos gradientes térmicos, resistencia al daño metálico por radiación, formación limitada de altos productos de actividad por reacción nuclear y adaptabilidad a mantenimiento ligero y reparaciones; estas propiedades son las requeridas en los reactores nucleares, así como su resistencia a la corrosión y a elevadas temperaturas obtenidas en reactores nucleares.

En equipos químicos es aprovechada su excelente resistencia a la corrosión, como válvulas, bombas, agitadores, mezcladores, reactores, cambiadores de calor, etc.

También presenta una vasta aplicación electrónica en tubos de transmisión donde el zirconio puede ser unido a partes calientes, como en los soportes de los

filamentos, en los protectores de cátodos calientes, etc. Se puede amalgamar con mercurio y puede ser usado en tubos rectificadores con arco de mercurio. Se usa en tubos de radio, televisión y requerimientos militares.

En el campo de la cirugía, también se aprovecha su resistencia a la corrosión, la cual es comparable con la del acero inoxidable y la plata. Se usa en la fabricación de clavos, tornillos y placas para el cráneo. En este campo es muy aprovechado por su baja o nula toxicidad.

También es usado en condensadores, de carácter electrolítico donde es aprovechada su baja filtración para los electrolitos.

Presenta una alta susceptibilidad a alearse y proporcionar diversas propiedades, las cuales ya fueron mencionadas. En este campo se utiliza en cuchillería, en lámparas flash, en la construcción de jets a propulsión, válvulas de procesos de combustión, etc.

II.2 ZIRCON

II.2.1 Propiedades del zircón.

El zircón es un cristal tetragonal que contiene cuatro moléculas de $ZrSiO_4$ por unidad de celda; su densidad es de 4.7 y su peso molecular de 187.29. Las propiedades mineralógicas que presenta son:

Crucero	Imperfecto
Fractura	Concoidea
Dureza	7.5
Lustre	Adamantino
Color	Incoloro, amarillo pálido, grisáceo, verde amarillento, amarillo moreno o moreno rojizo.
Rayadura	Incolora.
Birrefringencia	Alta

Algunas veces se presenta transparente o subtranslúcido y opaco, presenta un carácter uniaxial positivo, aunque algunas veces anormalmente es biaxial; presenta colores de interferencia muy altos.

Ocurre en la naturaleza en muchos colores y alteraciones. Es inerte químicamente a temperatura ambiente. No es afectado por reactivos acuosos bajo todas las condiciones observadas, pero se descompone al calentarla al rojo por la acción de álcalis, con la formación de silicatos y zirconatos. El zircón se disocia en zirconia y sílice cuando es calentado arriba de 1500°C y algunas veces es encontrado así descompuesto en la naturaleza. El zircón resiste el ataque químico debido a la acción de varios metales fundidos como es el caso del aluminio. Las sustancias puras del zircón son incoloras, aunque se presenta en una gran gama de colores los cuales no son solo causados por las impurezas químicas sino también por esfuerzos causados en el cristal por el bombardeo de elementos radiactivos con los cuales el zircón ha sido asociado. Dicho color puede desaparecer algunas veces por completo por calentamiento del espécimen y el color puede ser restaurado por sujeción a la emanación de radiaciones. De éste bombardeo resultan algunos efectos ópticos, como las aureolas. La acción de la luz del sol, frecuentemente cambiará también el color natural de los zircons. El zircón tiene una fluorescencia característica en la luz ultravioleta la cual puede ser usada para identificar

al mineral. El zircón puede ser considerado como in fusible; las variedades incoloras son menos suscepti**bles** de ser afectadas, mientras que las variedades de color oscuro se pueden hacer blancas; algunos tipos de zircón resplandecen y aumentan su densidad - por calcinación; la sal de fósforo no lo ataca perceptiblemente. En polvo, se descompone cuando se funde con sosa en alambre de platino, y si el producto se disuelve en ácido clorhídrico diluido, da el color naranja característico de zirconia cuando se prueba con papel cúrcuma. No lo atacan los ácidos excepto en polvo fino, con ácido sulfúrico concentrado.

II.2.2 Principales fuentes de zircón.

Los depósitos más ricos de zircón ocurren - como arenas zirconíferas en Australia. Estos depósitos no han sido completamente explorados, aunque grandes reservas se encuentran en las dunas recientes - que están atrás de las playas. Algunas pruebas de excavación indican que el contenido promedio de los minerales pesados es probablemente más del 3% (30% ZrO_2 , 25% TiO_2 y 45% $FeO.TiO_2$); las enormes cantidades de arena prometen, grandes reservas de zircón, ilmenita y rutilo.

En Estados Unidos, las considerables cantidades de zircón se encuentran en arenas negras titaníferas; éstas reservas son mucho más grandes que las necesidades que el propio país requiere. El zircón es abundante en la monazita dorada, y con un desarrollo gradual de la monazita en la región, puede ser producible en un tonelaje significativo. La arena gruesa de California contiene zircón en abundancia, y puede eventualmente si se desea, ser recuperado comercialmente.

En Ceylan, se estima que se tienen alrededor de ocho millones de toneladas de mineral pesado, distribuido en el este y en el oeste del país, con un contenido de 25% de zircón.

En la India, los principales depósitos de mineral pesado, de las arenas negras, tienen un contenido de 7% de zircón y los concentrados de zircón tienen alrededor de 67% de zirconia; en éste lugar el zircón se recupera como un subproducto del titanio.

En un período de veinte años se producen aproximadamente 29 000 toneladas de concentrados de zircón.

Finalmente, en África (Senegal y Uganda princi

palmente) se recuperan menos de 100 toneladas por año de zircón, de las arenas de ilmenita-zircón.

II.2.3 Usos del zircón.

Las necesidades industriales de ciertos materiales y accesorios han hecho que se extienda la utilización de ciertas materias primas como es el caso del zircón. A continuación se da un resumen de las principales aplicaciones que encuentra el zircón:

Abrasivos.

Los abrasivos son hechos por calentamiento de óxidos metálicos o materias primas minerales, tal es el caso del zircón y de la zirconia. Comercialmente se presentan dos tipos de abrasivos a base de ZrO_2 , uno para trabajos duros como en el piso de las máquinas en fundiciones y acondicionamiento de billets y piezas metálicas sobre muelas mecánicas en molinos de acero, que constan de una mezcla de 25% ZrO_2 y 75% Al_2O_3 . El otro tipo es una mezcla de 40% ZrO_2 y 60% Al_2O_3 , utilizada para trabajos más ligeros. Los abrasivos que contienen el óxido de zirconio se caracterizan por ser extremadamente fuertes y duros además de presentar un excelente filo para su acción

abrasiva. La mezcla $ZrO_2-Al_2O_3$, produce un abrasivo de alta calidad devastadora que resulta más eficaz que la de la alúmina cristalina.

Gemas.

El zircón es muy utilizado como gema cuando se trata de sus variedades transparentes. Generalmente, el tipo de zircón más comercializado es el que se presenta incoloro y transparente, aunque también sus variedades alteradas son utilizadas para tal efecto. Un ejemplo de esto es el jacinto, el cual es una variedad anaranjada-rojiza que tira a moreno. El jargón, que es el nombre del zirconio incoloro o ahumado que se produce en Ceylan; esta variedad es muy pretendida como joya de fantasía, ya que parece diamante, pero su lustre, hace que comparativamente no tenga valor alguno; de esta variedad se estableció el nombre de zircón al mismo. Las estartitas son colores azules, artificiales que presentan las variedades del zircón, mediante un tratamiento térmico especial en el que el zircón es expuesto a humos liberados de una solución de nitrato de cobalto y ferrocianuro de potasio. Otra variedad menos común es la hagatalita, la cual contiene tierras raras; y la oyama

lita, que es una variedad que contiene fósforo en cantidades considerables.

Refractarios.

El zircón y la zirconia son refractarios de carácter ácido, que presentan la siguiente composición química en su forma más común:

Zircón: 34.6% SiO_2 , 64.7% ZrO_2 , 0.2% Al_2O_3 , 0.2% TiO_2
0.1% Fe_2O_3 , 0.1% CaO

Zirconia: La composición es exclusiva de ZrO_2 con pequeñas cantidades de CaO y MgO que sirven como estabilizadores.

El refractario de zircón tiene una gravedad específica de 4.7 y una dureza de 7.5 en la escala de Mohs; presenta una baja conductividad térmica y alta resistencia eléctrica arriba de la temperatura de disociación.

El refractario de zirconia tiene una gravedad específica de 5.5-6.1 y una dureza de 6.5; su conductividad térmica también es baja, y su resistencia e

l ctrica es alta arriba de 800°C. Estos refractarios son utilizados en los hornos para la fabricaci3n de acero, hierro y otros metales. Algunas variedades de estos refractarios son los utilizados para revestir los tanques para la fabricaci3n de vidrio, los cuales son a base de: $ZrSiO_4$ 85%, Cr_2O_3 8% y TiO_2 5%; o bien de $Al_2O_3-ZrO_2-SiO_2$. Otra variedad es el de la mezcla pirofilita-zirc3n, muy resistente a la corrosi3n a elevadas temperaturas que previene la adhesi3n del metal fundido y la penetraci3n de la escoria en las fundiciones.

Cementos.

Los cementos son compuestos que impregnan ZrO_2 en un líquido que contenga un compuesto de zirconio y un polvo refractario a una temperatura capaz de convertir el compuesto de zirconio en zirconia. El compuesto de zirconio empleado puede ser: cloruro de zirconil, hidroxicloruro de zirconio, acetato de zirconio, citrato de zirconio u oxalato de zirconio.

El polvo refractario utilizado puede ser el 3xido de un metal refractario, zirc3n, titanato de bario, o estroncio. Este material es muy utilizado en recubrimientos donde la temperatura de operaci3n es muy

alta, así como la corrosión.

Determinación de edad de rocas.

Existe un método para la determinación de edad de rocas mediante la utilización de zircón concentrado de alta pureza (99.5%), conocido como método plomo-alfa que se describe condensadamente enseguida: Una muestra pegmatítica de alto contenido de zircón es molida a un tamaño menor de 0.200 mm, posteriormente la muestra molida es concentrada por mesa Wilfley, de donde la fracción pesada es sometida a una separación magnética; la parte no magnética se pasa a un embudo de separación con bromoformo, donde la parte pesada es lavada con acetona y secada, para ~~posteriormente relimpiarla por separación magnética;~~ finalmente se da un tratamiento químico al producto final para eliminar todas las impurezas que puedan ~~esta.~~ presentes. Una vez concentrado el zircón es molido nuevamente durante media hora y colocado en un portamuestras de 1 cm^2 dentro de una cámara contadora; se aplica un voltaje de 1250 voltios y se cuentan las radiaciones alfa emitidas durante 24 horas. El resultado de la medición menos el ruido de fondo es el número de alfas por cm^2 por hora.

Posteriormente se somete a una nueva molienda; se pesan 2 porciones de 15 mg de la muestra y cada una se mezcla con 37.5 mg de Na_2CO_3 exento de plomo, se colocan las mezclas en electrodos especiales de grafito y se llevan a un espectrógrafo. Junto con las muestras que se desea analizar, se quema en el espectrógrafo una varilla de fierro electrolítico y varias muestras patrones con contenidos de plomo conocidos que cubran una serie completa de concentraciones. Los espectros producidos tanto por las muestras problema como por los patrones y por el fierro se reciben separadamente en una placa fotográfica, y cuando todas las muestras han sido sometidas a la acción del arco, se revela la placa y en ella se identifican y marcan las líneas espectrales. Posteriormente se construye una curva de calibración preliminar en función de las líneas espectrales producidas por la varilla de fierro y después una curva analítica en función de las líneas de plomo contenido en los patrones; finalmente se realiza una determinación cuantitativa en función de las líneas espectrales y la curva analítica. Para calcular la edad se utiliza la fórmula:

$$t = \frac{c \text{ Pb}}{\text{alfa}}$$

donde:

t = edad en millones de años.

c = constante que depende de la relación

$$\text{Th/U} = 2485$$

Pb = plomo en partes por millón

α = actividad en alfas por miligramo por hora.

Arenas de fundición.

Las arenas de fundición deben de reunir ciertas características como un alto punto de fusión que le dé cierta inercia química durante el vaciado de metales en los moldes, una granulometría controlada que permite obtener ciertas características de conformado en las piezas fundidas, baja expansión térmica - para evitar agrietamientos, y propiedades no humectables; como podemos observar todas estas características son cumplidas por la arena de zircón, lo cual la hace ampliamente utilizable en este campo. Además de las propiedades mencionadas la arena de zircón es utilizada como arena de fundición por su alto punto de ablandamiento, su buena conductividad térmica, su excelente resistencia a la abrasión y al ataque de metales fundidos.

Además de los usos ya mencionados la arena de zircón es utilizada también en la producción de recubrimientos de partes industriales sujetas a un medio altamente corrosivo, en partes de barcos y de cohetes espaciales; como catalizador actúa de manera ambigua, es decir que puede ganar o perder oxígeno en los procesos de oxidación; también es muy utilizado como pulidor para vidrios. El uso que para nuestro caso interesa es como barniz cerámico y opacificante el cual será visto con mayor detalle.

II.3 VIDRIADOS.

II.3.1 Formulación y propiedades de los vidriados.

Los vidriados son capas finas fundidas sobre las superficies de pastas cerámicas y metálicas. Se aplican sobre las pastas para hacerlas impermeables, de mayor resistencia mecánica, más inertes químicamente y agradables al tacto y a la vista.

Para formar un vidriado es necesario formar una mezcla que pueda fundir en un vidrio viscoso y homogéneo, para esto la carga del vidriado debe producir la cantidad correcta que interactúe con la pasta y que los coeficientes de expansión térmica entre pasta y vidriado sean mutuamente compatibles.

Para presentar las fórmulas moleculares de los vidriados es necesario enumerar los óxidos en columnas, conteniendo la primera a los elementos mono y divalentes, la segunda a los trivalentes y la tercera a los tetravalentes. La suma de la primera columna se considera como unidad (ver tabla 1).

En la tabla II se da un ejemplo de los cálculos requeridos para presentar la composición de un vidriado típico de loza exento de plomo, por diferentes procedimientos.

Las propiedades deseadas en los vidriados son:

- 1.- La fusibilidad debe ser tal que se forme el máximo de vidrio fundido a la temperatura de maduración deseada.
- 2.- La viscosidad debe de ser moderada a la temperatura máxima de cocción.
- 3.- La tensión superficial debe de ser baja.
- 4.- La volatilización de los componentes debe de ser mínima durante la cocción.
- 5.- La reacción con la pasta debe de ser moderada.
- 6.- No debe de producirse desvitrificación.
- 7.- No debe producirse en la pasta absorción de constituyentes del vidriado ni de las eutécticas durante la cocción.
- 8.- Homogeneidad, suavidad y dureza.
- 9.- Estabilidad química.
- 10.- Color, por razones estéticas.
- 11.- Bajo factor de potencia.

Las materias primas que componen a un vidrio - sin la inclusión del óxido metálico, se conoce como frita. Dichas materias primas son generalmente: bórax, carbonato de calcio y sílice. La razón primaria del fritado es que si han de utilizarse materias primas que sean solubles en agua, éstas han de combinarse primero con otras materias de tal modo que se obtenga un producto insoluble. La frita debe de ser molida a una condición adecuada para la adición del vidriado.

La adición al molino más usual para mantener el vidriado en suspensión es una porción de la arcilla contenida en la carga, que oscila entre el 4 y el - 12% de la frita.

Un constituyente común en los vidriados es el plomo, que tiene una naturaleza tóxica, pero que sin embargo proporciona brillo, dureza y suavidad en el vidriado, debido principalmente a la elevada viscosidad de aluminosilicatos de plomo.

II.3.2 Tipos de vidriados.

Los vidriados se pueden clasificar en

cuatro tipos:

- 1.- Vidriados no homogéneos.
- 2.- Vidriados mate.
- 3.- Vidriados cristalinos.
- 4.- Vidriados salinos.

Los vidriados homogéneos que tienen solamente una fase vítrea son transparentes. Por adición de materias que produzcan una segunda fase en el vidrio pueden obtenerse vidriados opacos, mates o cristalinos.

Los vidriados mate difieren de los vidriados transparentes en que tienen una masa de minúsculos cristales en una matriz vítrea. Se forman cuando se enfría un vidriado completamente fundido y una parte de él se separa por cristalización. Los cristales deben ser tan diminutos y estar dispuestos de forma tan regular que la superficie del vidriado sea lisa y aterciopelada al tacto.

Los vidriados cristalinos poseen cristales simétricos de dimensiones apreciables dispuestos en una matriz vítrea que puede tener un color diferente, y mediante una cuidadosa elaboración puede dárseles un buen aspecto.

Estos cristales grandes se forman con un enfriamiento muy lento de un compuesto que contenga facilidad para cristalizar.

El vidriado salino se forma en el horno por la acción de vapores, producidos a partir de sal, agua y otras sustancias sobre la pasta cocida y caliente.

Los iones sodio existentes en los vapores de vidriado reaccionan primariamente con la sílice en la superficie de la pasta..

El vidriado salino se efectúa en hornos periódicos calentados por gas, carbono o aceite. Cuando se ha mantenido la temperatura de maduración durante un período de tiempo suficiente para hacer el material denso se inyectan sobre los fuegos las mezclas de salado y combustible, y la compuerta se cierra durante un breve espacio de tiempo, volviendo a abrirse a continuación.

Cuando se han barrido los vapores y se ha alcanzado nuevamente la temperatura se efectúa la siguiente aplicación de sal. Las sales se vaporizan y reaccionan entre sí, con el agua y la superficie de la

pasta produciendo un vidriado gris (ferroso). A continuación se enfría el horno lentamente en una atmósfera oxidante, con lo cual el fierro ferroso se oxida nuevamente al estado férrico y el vidriado adquere un color pardo. En esencia se vaporiza cloruro sódico, que seguidamente se encuentra con vapor de agua muy caliente que reacciona con él, directa o indirectamente, en presencia de sílice, para dar cloruros de hidrógeno gaseosos y óxido de sodio. Inmediatamente reacciona con la sílice de la pasta el óxido de sodio para formar silicato sódico y posteriormente con otros constituyentes de la pasta.

II.3.3 Preparación de los vidriados.

La composición de la carga de los vidriados se ajusta de tal modo que solo tenga compuestos insolubles en agua, tanto si éstas son las materias primas propiamente, como si se trata de fritas preparadas. En ambos casos se muelen los ingredientes hasta alcanzar el grado de finura necesario para la aplicación de los vidriados, generalmente en un molino de bolas en presencia de agua. A fin de mantener la carga en suspensión se acostumbra adicionar un 5% de caolín crudo. En circunstancias par-

ticulares puede ser sustituido éste por bentonita o por arcilla grasa, o bien puede eliminarse la arcilla en favor de los adhesivos orgánicos.

A continuación debe de llevarse la suspensión a una consistencia adecuada para su aplicación. Es necesario ajustar la relación agua/sólidos y la viscosidad, pudiendo implicar la adición de materia soluble para llegar a obtener un producto útil. La consistencia de la suspensión del vidriado se ve influenciada considerablemente por la presencia de materias solubles en agua. Estas se incluyen en el agua utilizada y frecuentemente es necesario tener un control de pH y la naturaleza y cantidad de las materias solubles en agua. Puede producirse también materia soluble a partir de la carga del vidriado - que, aunque nominalmente es insoluble en agua, por lo general proporciona pequeñas cantidades de álcalis, boro, etc., durante el proceso de molienda húmeda.

Los molinos de bolas o de guijarros son los más ampliamente utilizados en la molienda de los vidriados. En el caso de un vidriado fritado debe molerse primero la frita, feldespató, pedernal y demás -

materiales duros, junto con una pequeña cantidad de material plástico. En ésta etapa debe de añadirse de 70 a 90% de agua requerida para la aplicación.

Por lo que respecta a los vidriados la densidad relativa se determina mediante el peso de un litro. El rendimiento de un vidriado determina el espesor del mismo que se adhiere a las piezas sumergidas en él, mientras que la movilidad controla la velocidad de escurrido del exceso de vidriado de la pieza. El rendimiento depende en gran parte del contenido coloidal de la suspensión y de su grado de floculación.

La aplicación del vidriado viene a ser el punto final cuando la pieza va a ser decorada, puede hacerse por inmersión, por inmersión con máquina, por inmersión de piezas de tamaño grande, aplicación de un vidriado parcial de materiales, a brocha y por pulverización.

De los principales defectos que un vidriado puede presentar es el arrugado, que no es más que la contracción irregular de un vidriado formando grumos gruesos e islas y dejando desprovistas zonas del llenado de vidriado.

II.4 COLORANTES CERAMICOS Y OPACIFICADORES.

II.4.1 Los colorantes cerámicos.

El color es una percepción visual. La luz es aquella parte de la serie de las ondas electromagnéticas que puede ser detectada por el ojo humano. Es un campo de longitud de onda, cada una de las cuales aparece como un color diferente. Si el ojo humano recibe todas las longitudes de onda reunidas como en la luz solar, la sensación se denomina luz blanca; ésta luz al descomponerse produce los diferentes colores de acuerdo a la longitud de onda correspondiente; los principales fenómenos que producen la descomposición de la luz son: absorción, dispersión, reflexión, interferencia y difracción.

El empleo de agentes colorantes para obtener un color deseado depende de las condiciones del medio, pero en la tabla III del apéndice se da un resumen sobre los colores que pueden obtenerse a diferentes medios.

Los tintes pueden ser: tintes de pasta, tintes de vidriado, tintes o colorantes bajo el vidriado,

y los colorantes sobre el vidriado.

Para la preparación de los colorantes se siguen en forma generalizada los siguientes procesos: 1) - mezclado; 2) calcinación; 3) lavado y 4) molienda.

Existen algunos materiales que son auxiliares para la aplicación de los colorantes cerámicos, como los diluyentes y los fundentes bajo el vidriado, los cuales deben de fundir alrededor de las partículas colorantes durante el endurecimiento en el fuego, sin llegar a fundir lo suficiente para formar una mancha vítrea sobre la que no pueda agarrar el vidriado. Los fundentes sobre el vidriado, son colorantes destinados a emplearse en decoración sobre el vidriado; se mezclan con vidrios o fritas de bajo punto de fusión, denominados en éste caso fundentes. Cuando se calientan a 700-850°C en el horno de esmalte éstos se funden incorporándose al vidriado, fijando por lo tanto la decoración.

II.4.2 Porcelana de zircon y opacificadores.

La opacidad del vidriado viene determinada por los índices relativos de refracción de la fase vítrea

y de la fase dispersa, y por el tamaño y forma de las partículas de ésta última.

La opacidad, esto es, el que la luz se difunda en todas direcciones, depende de que la trayectoria de la luz se rompa por difracción ó refracción varias veces, y por lo tanto aumenta a medida que disminuye el tamaño de la partícula y por lo tanto aumenta la superficie.

La opacidad aumenta a medida que se hace mayor la diferencia entre los índices de refracción de la fase vítrea y de la fase dispersa.

En presencia de plomo aumenta el índice de refracción de un vidrio y como consecuencia lógica aumenta también la opacidad de éste tipo de vidriados.

Los óxidos metálicos suelen presentar un índice de refracción que es notoriamente mayor que el que presentan los vidrios de un silicato. En la preparación de los opacificantes la finalidad es producir un material que sea químicamente inerte que ni se descomponga por sí mismo, ni reaccione con las pastas que ha de cubrir.

La diferencia entre los índices de refracción de las fases vítrea y dispersa son mayores para los óxidos que para los fluoruros por lo que los primeros son mejores opacificadores. Es interesante hacer notar que pueden emplearse con éxito, juntos, opacificadores de índice de refracción superior e inferior al de la fase vítrea.

La efectividad de cualquier opacificador particular viene dada por:

1. Su insolubilidad en el vidrio, que depende tanto de la composición del vidrio como del opacificador.
2. Su tamaño y forma de partículas finales.
3. La diferencia entre su índice de refracción y el de la fase vítrea.

En la práctica, el SnO ha demostrado ser el opacificador más útil; los compuestos de zirconio han demostrado ser buenos opacificadores, siendo preferenciales en su uso los silicatos dobles, por ejemplo, silicato de magnesio y zirconio; silicato de zinc y zirconio; silicato de bario y zirconio; silicato de calcio y zirconio; espinela de zirconio, etc., aunque el zircon moderno comercial tiene gran calidad

como opacificador. La tabla N° V nos muestra algunos de sus vidriados en el apéndice..

El óxido de titanio contiene su índice de refracción muy diferente al del vidrio, pero como se disuelve el álcali y por lo tanto en cierta extensión en el vidriado, frecuentemente no es tan efectivo como podría esperarse. No obstante, es útil cuando es utilizado con óxido de estaño, zircón y ZnO.

El óxido de cerio constituye un excelente opacificador si es muy puro y no se expone a temperaturas superiores a 1050°C. El empleo de trióxido de antimonio y de arsénico ha de hacerse con el debido cuidado debido a su carácter tóxico; puede emplearse en la frita o en la adición al molino y es muy buen opacificador. El pentóxido de vanadio produce blancura y opacidad a los esmaltes de borosilicato de plomo que m. duran a 610 y 650°C. El óxido de zinc produce opacidad y es particularmente útil para aumentar el efecto obtenido con cualquier opacificador simple.

Se ha afirmado que la opacidad aumenta con la cantidad de opacificador solo hasta un cierto límite,

después de haberse alcanzado éste solo puede obtenerse una mayor opacidad empleando una combinación de agentes:

En la tabla No. VI del apéndice se dan unos ejemplos de vidriados opacos que utilizan diferentes opacificadores y maduran a distintas temperaturas.

OPACIFICADORES.

Los vidriados normales son transparentes, y ofrecen un medio homogéneo a los rayos de luz los cuales pueden reflejarse en la superficie, o refractarse al entrar y salir de ella. En los vidriados opacos el medio no es homogéneo, existiendo en la matriz vítrea partículas en suspensión cada una de las cuales refleja, refracta y difracta la luz. El índice de refracción de la partícula suspendida debe ser diferente del de la fase vítrea, y son las partículas de forma irregular las más eficaces. Las partículas pueden ser:

1. Una materia prima finamente dividida que no ha reaccionado y que no se ha disuelto.
2. Un compuesto formado en las reacciones que es inmiscible.

3. *Cristalinos formados en el enfriamiento.*
4. *Burbújas de gas minúsculas (esto hace al vidrio mecánicamente débil y es inaplicable).*

La elección del opacificador depende por lo tanto de la naturaleza del vidriado. Los materiales empleados en condiciones apropiadas están comprendidos en la tabla VII del apéndice.

PORCELANA DE ZIRCON,

En las exigencias de la porcelana a emplear en el aislamiento eléctrico, son necesarias pastas absolutamente vítreas para todas aquellas piezas susceptibles de absorber humedad del medio ambiente. Es importante su resistencia mecánica; es necesaria la facilidad de moldeo en formas exactas y complicadas, por el contrario no son importantes ni el color ni la transparencia. La resistencia al choque térmico es alta en el caso de altos contenidos de arcilla; el coeficiente de expansión es elevado para contenidos altos en feldespato y en cuarzo libre. La resistencia a la abrasión es óptima en las pastas ricas en cuarzo. La conductividad eléctrica se disminuye por exclusión completa del sodio. El factor de potencia se eleva también con el contenido de álcalis y con la porosidad que permite la absorción de humedad; la constante dieléctrica se eleva lentamente con el contenido de feldespato.

PASTAS DE ZIRCON.

La totalidad o una parte de la arcilla, peder-

nal o feldespató de una porcelana dura puede ser sus
tituida por zircón. Por ser éste muy denso, se pue
de hacer la sustitución sin alterar las cualidades
de moldeabilidad. El zircón presenta una expansión
térmica muy reducida (menos de una tercera parte que
la del pedernal) y su utilización de pastas confiere
una resistencia al choque térmico muy elevada. Hace
aumentar también la conductividad térmica, su resis
tencia química es muy satisfactoria.

Las pastas de zircón, en especial si están esen
tas de álcalis, poseen una elevada rigidez dieléctri
ca inclusive a temperaturas altas, así como escasas
pérdidas dieléctricas.

El zircón se descompone en ZrO_2 y SiO_2 entre -
los 1600 y 1700°C por ésta razón las pastas que lo
contienen no deben cocerse arriba de 1600°C.

Una composición de las pastas de zircón pudiera
ser en forma general: zircón, no menos de 50%; funden
tes, con frecuencia silicatos dobles de óxido de zir
conio y de óxidos alcalinotérreos, hasta un 30%; ar
cilla, hasta 30%; bentonita, opcional. Las composi

ciones individuales, sin embargo, las encontraremos en la tabla IV del apéndice.

Estas pastas presentan un color blanco o crema después de la cocción.

PORCELANAS DE ZIRCON.

La porcelana de zircon posee un bajo coeficiente de expansión junto con la tendencia a reaccionar con cierto tipo de vidriados. La producción de una serie de vidriados opacos blancos de baja expansión han propiciado la siguiente fórmula general:

KNaO	0.20					
MgO	0.4 a 0.5		B_2O_3	0.2	SiO_2	3-4
CaO	el resto a 1.00		Al_2O_3	0.3-0.4	ZrO_2	0.5-0.7
ZnO						

Otros ejemplos de vidriados de porcelana de zircon son:

Na_2O	0.07	K_2O	0.13			
MgO	0.65	CaO	0.15		Al_2O_3	0.58
					SiO_2	5.4 6 5.9

Na_2O 0.08 K_2O 0.12 H_2O 0.56 CaO 0.26 Al_2O_3 0.58 SiO_2 5.15 *cocción a 1200°C* ZrO_2 0.25 *fritado a 1400°C*

III. PRUEBAS EXPERIMENTALES

III.1 SEPARACION MAGNETICA.

Las especies mineralógicas que las arenas utilizadas presentan son:

Magnetita	$FeO \cdot Fe_2O_3$
Ilmenita	$FeO \cdot TiO_2$
Zircón	$ZrSiO_4$
Cromita	$FeO \cdot Cr_2O_3$
Granate	$FeMgAl(SiO_4)_3$
Cuarzo	SiO_2
Epidota	$Ca(AlOH)(AlFe)_2(SiO_4)_3$
Piroxena	$Ca(AlMgMnFe)(SiO_3)_2$

La importancia comercial de las arenas recae en los cuatro primeros constituyentes, por lo que serán los considerados en la experimentación.

En esta separación se obtiene, después de efectuarle el análisis correspondiente, los siguientes porcentajes de zircón:

Magnéticos 0.89% $ZrSiO_4$ No Magnéticos 1.4% $ZrSiO_4$

La función de la separación magnética es la separación de partículas ferromagnéticas de las no magnéticas y la separación selectiva de los materiales magnéticos débiles que pueden ser obtenidos bajo condiciones adecuadas de alimentación, e intensidad de campo magnético.

De acuerdo a las características del material y a algunos factores, como la potencia de aplicación del campo magnético, se considero para nuestra experimentación el separador magnético de tambor de baja intensidad. En la figura 3 del apéndice se observa el tipo de separador magnético utilizado. Un balance metalúrgico completo del proceso se presenta en la tabla VIII del apéndice.

III.2 SEPARACION GRAVIMETRICA.

La mesa Wilfley es utilizada cuando la mena procesada presenta constituyentes con peso específico notablemente diferente. Al someter a un mineral a concentración por mesa Wilfley se obtienen 3 productos: concentrados, medios y colas, siendo los concentrados los de mayor peso específico y descendiendo éste en los medios y colas. En la figura 4 del apéndice se puede apreciar el tipo de mesa utilizada.

La prueba se realizó con la porción no magnética obtenida de la separación magnética en el paso anterior.

Los resultados obtenidos después de hacer el análisis químico correspondiente fueron:

Concentrados 5.63% $ZrSiO_4$

Medios 0.26% $ZrSiO_4$

Colas 0.09% $ZrSiO_4$

III.3 SEPARACION ELECTROMAGNETICA.

La separación electromagnética es utilizada para la separación de materiales electromagnéticos como:

- Hematita y goethita en la concentración de menas de fierro
- Oxidos de fierro y ferrosilicatos de cuarzo y arcillas usadas para la fabricación de vidrios cerámicos y de vidriados.
- Ilmenita, wolframita y columbita de la ganga durante la concentración.
- Oxidos de fierro y de ferrotitanio de la casiterita, zircón y concentrados de rutilo.

El separador utilizado es completamente controlable ya que sus variables son independientemente ajustables a una flexibilidad máxima de operación. Una ilustración del separador electromagnético utilizado para nuestra separación se muestra en la figura 5 del apéndice.

El objetivo de nuestra experimentación fue separar del concentrado sucio, la ilmenita, el zircón y la cromita. Dicho concentrado sucio proviene de la mesa Wilfley.

En éste paso se obtuvieron concentrados sucios de los tres componentes mineralógicos, zircón, ilmenita y cromita, por lo que fue necesario hacer una relimpia, - concentrando principalmente y en forma más satisfactoria el zircón, debido a su baja susceptibilidad electromagnética. Posteriormente se realizó el análisis químico co rrespondiente para cada celda con los siguientes resulta dos:

Celda No. 1 (Concentrados Limpios)	78.49% $ZrSiO_4$
Celda No. 2 (Concentrados sucios)	63.08%
Celda No. 3	6.16%
Celda No. 4	4.11%
Celda No. 5	3.30%
Celda No. 6	2.26%
Celda No. 7	2.23%
Celda No. 8	1.19%

III.4 CONCENTRACION FISICOQUIMICA.

El método fisicoquímico que consiste en la separación de minerales finamente molidos es la flotación. El objetivo fundamental de éste proceso es el de lograr flotar el mineral deseado, lo cual se logra a través de promotores y de colectores, que son los que imparten a los minerales una superficie hidrofóbica, que se adhiere a la burbuja de aire, la cual lleva consigo al mineral deseado a la superficie, mientras que los minerales no deseados quedan sumergidos en la pulpa.

En nuestra experimentación, para la flotación del zircón se usaron los productos obtenidos en las celdas 1 y 2 que contenían a los concentrados limpios y sucios respectivamente. La figura 6 del apéndice nos muestra el tipo de celda utilizada por nuestra experimentación.

Los resultados del análisis químico efectuado después de la flotación fueron:

Concentrados	87.88% $ZrSiO_4$
Colas	48.80% $ZrSiO_4$

III.5 PRODUCCION DE BARNIZ Y DE OPACIFICANTES DE ZIRCON.

La muestra obtenida con una concentración de 87.88% de $ZrSiO_4$ siguió la secuencia que a continuación se describe:

La arena es molida junto con la frita compuesta por bórax, ácido bórico, blanco de España, pedernal y feldespatos en un molino de bolas, utilizando bolas de porcelana, en húmedo con 10% de caolín, el cual tiene como finalidad mantener en suspensión el material molido. Para lograr un aceptable tamaño de partícula (de 1 a 8 micras), la molienda se efectuó durante 12 horas. Posteriormente, la suspensión es bombeada desde un depósito a una pistola, la cual mantiene un chorro de aire a presión, atomizando las piezas y procurando mantener la pistola siempre perpendicular a la superficie de la pieza (azulejos) y a una distancia constante de ella.

Antes de la atomización las piezas son precalentadas, para que después sean cocidas en un horno con resistencias de carborundum a una temperatura de $1100^{\circ}C$.

Se realizaron 4 pruebas para opacificantes y 3 para barniz de color azul (mezclado con V_2O_5):

Prueba # 1

Se utilizó una arena de zircón muy pura como patrón de comparación para el opacificante obteniéndose un producto con excelente blancura. La composición de ésta arena cae dentro de la especificación comercial y es:

$ZrSiO_4$	98.50%
TiO_2	0.16
Fe_2O_3	0.08
Al_2O_3	0.45

Prueba # 2

Se utilizó una muestra para producir barniz a base de arena de zircón mezclada con óxido de vanadio y el resultado obtenido fue un barniz con coloración azul - pastel muy clara; mientras que para el opacificante, - que utiliza exclusivamente la arena de zircón, se obtuvo una coloración ligeramente crema, muy próxima al blanco; cabe hacer notar que ésta arena es la utilizada comercialmente y su composición es:

$ZrSiO_4$	98.18%	TiO_2	0.11%
Fe_2O_3	0.44%	Al_2O_3	1.27%

Prueba # 3

Se utilizó una arena propuesta para utilizarla como competidora de la arena comercial de la prueba # 2, la cual presenta una ligera variación en la composición:

$ZrSiO_4$	98.5-99.5%
TiO_2	0.1- 0.15
Fe_2O_3	0.01-0.35
Magnéticos	1 ppm

Sin embargo los resultados obtenidos fueron satisfactorios con la diferencia de presentar una coloración un poco más oscura, o sea, un color crema para el opacificante y un color azul pastel un poco más oscuro para el barniz.

Prueba # 4

Se utilizó nuestra arena concentrada, cuya composición muestra más impurezas:

$ZrSiO_4$ 87.88%; TiO_2 5.91%; Cr_2O_3 0.20% y FeO 5.41%

Las coloraciones obtenidas en éstas pruebas fueron, para el barniz un color azul cielo oscurecido y para el opacificante un color beige muy alejado del blanco utilizado como patrón.

IV. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

Los resultados obtenidos en las pruebas experimentales son muy satisfactorios. FERROMEX, es una empresa productora de barnices colorantes y opacificantes y realiza sus pruebas de control de calidad, basándose principalmente en dos características:

1.- Color.

Utilizando un color patrón que sirva como medio de comparación para las pruebas realizadas, se puede deducir la calidad del material empleado, ya que de acuerdo a la coloración obtenida, se puede apreciar lo alejado que nuestro material se encuentre de la especificación.

Para nuestro caso, los colores patrón fueron: blanco para el opacificante y azul pastel claro para el barniz. Los resultados obtenidos en nuestras muestras presentaron una coloración oscurecida, probablemente, provocada por la cromita aún remanente y por el hierro presente en la ilmenita y en la cromita.

2.- Textura.

En este renglón se lleva implícito el coeficiente de expansión térmica, el cual debe presentarse lo más próximo posible entre la pasta y el vidriado, pues de lo contrario, la textura se vería afectada presentándose defectos como cuarteo, descascarillado y fisuración.

Los resultados que se obtuvieron con nuestra muestra fueron muy satisfactorios, ya que presentaron la misma textura presente en los patrones, lo cual aprueba un factor más para su utilización.

La arena utilizada en Australia (que guarda las mismas características de nuestra arena), es procesada bajo el siguiente procedimiento:

- a) Separación Magnética
- b) Mesa Wilfley
- c) Separación Electromagnética
- d) Separación electrostática
- e) Flotación
- f) Separación Electromagnética

La única diferencia con nuestro procedimiento es la ausencia de una separación electrostática y una relimpia electromagnética posterior a la flotación.

La probabilidad de encontrar una mayor concentración utilizando la separación electrostática es evidente, ya que el principal problema para lograr concentrar el zircon es su gran similitud de características con la ilmenita y con la cromita, observándose claramente tanto en la separación magnética como en la gravimétrica.

En la separación electrostática de la arena australiana el voltaje aplicado se hace más selectivo ya que los voltajes utilizados son:

Rutilo	2.67 volts
Zircon	3.96
Ilmenita	2.51
Cromita	2.01

La causa por la que no se llevó a cabo una separación electrostática en nuestro material fue por indisponibilidad de equipo.

El principio del separador electrostático se basa en que si uno o varios materiales de una mezcla granular pueden recibir una carga superficial al entrar en un campo electrostático, o exactamente antes de entrar en él, sus granos serán atraídos o repelidos al electrodo activo correspondiente, según el signo de la carga. Haciendo que esos granos caigan en ductos inclinados distintos de los que reciben los no afectados, tiene lugar una separación.

Las partículas también son cargadas por rozamiento, a éste tipo de carga se le conoce como potencial de contacto. Los tipos de separador electrostático mas conocidos son los del rotor, que consisten en un rotor alimentador que es en sí mismo un electrodo, llamado electrodo separador, puesto de ordinario a tierra. Este rotor descarga la alimentación como una cortina, frente a uno o más electrodos cargados.

El campo electrostático se establece entre los dos electrodos. El separador del tipo de máquina presenta dos electrodos activos del tipo de peine y uno de tipo de vidrio. Otros separadores son el de tipo de tobogán, el de tipo de mesa. Para controlar las condiciones de humedad las máquinas funcionan en una atmósfera de aire acondicionado.

Los balances metalúrgicos que se indican en el apéndice, aparecen como los mejores resultados de una serie de ensayos hecha, lográndose cumplir los objetivos, y alcanzando un concentrado aceptable de zircón (87.88%).

De lo anterior se recomienda desarrollar una concentración más detallada, como la seguida en Australia, haciendo una separación electrostática, lo cual nos dará mejores resultados para poder utilizar nuestra arena en la elaboración de barnices y opacificantes (además de otros usos dependiendo de su pureza), lo cual traería como consecuencia un consumo completamente nacional y nos evitaría la alta fuga de divisas ocasionada por ésta causa.

Podemos concluir que nuestra arena de zircón concentrada es aplicada satisfactoriamente en la producción de barniz y opacificante cerámico, por lo que es recomendable su uso en este campo.

APENDICE

DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA PRODUCCION DE ZIRCONIO

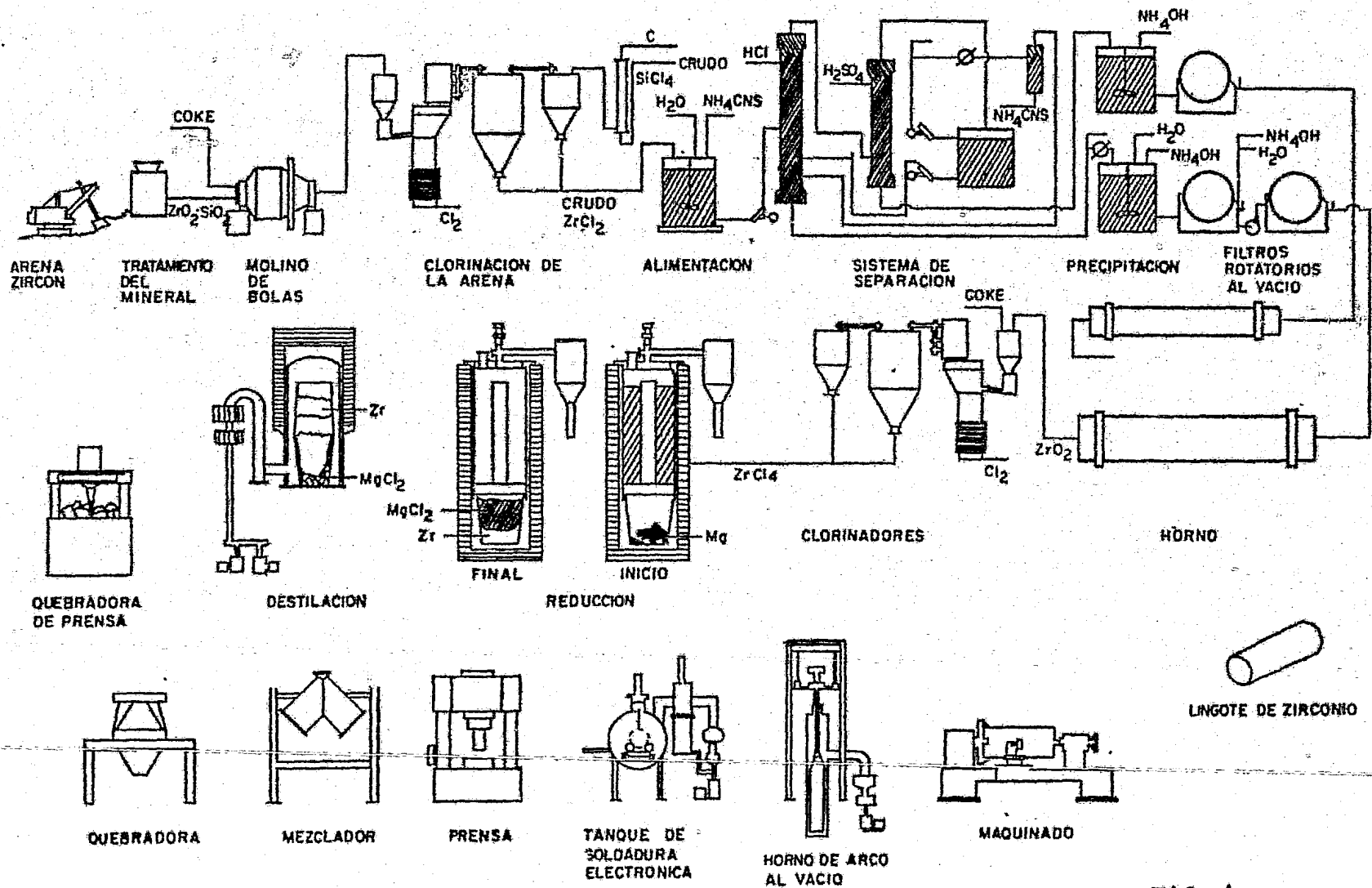


FIG. 1

TABLA no. I
 CLASIFICACION DE OXIDOS PARA LA FORMULACION DE
 VIDRIADOS

Mono y Divalentes sumados = 1	Trivalentes	Tetraivalentes	Pentavalentes
IA Li_2O Na_2O K_2O Rb_2O Cs_2O			
IIA BeO MgO CaO SrO BaO	III B_2O_3 Al_2O_3 VIA Cr_2O_3	IV SiO_2 GeO_2	V P_2O_5 VA V_2O_5
VIII FeO CoO NiO	VIII Fe_2O_3 VB As_2O_3 Sb_2O_3 Bi_2O_3	IIIA CeO_2 IVA TiO_2 ZrO_2	VB Sb_2O_5 As_2O_5
IIB ZnO CdO		IVB SnO_2	
IIIB Tl_2O			
IVB PbO			

* El F_2 no cae en ninguno de estos óxidos sin embargo también es considerado

TABLA II

EJEMPLO DE CALCULO DE COMPOSICION PORCENTUAL Y FORMULA MOLECULAR A PARTIR DE LAS COMPOSICIONES DE LA CARGA DE UN TIPICO VIDRIADO DE LOZA EXENTO DE PLOMO.

1. Composición de la frita				
1. De la frita	Blanco de España	12%		
	Bórax	19		
	Acido Bórico	4		
	Feldespato	57		
	Pedernal	8		
		<u>100</u>		
2. Vidriado	Frita	88%		
	caolín	12		
		<u>100</u>		

2. Datos requeridos				
Materia prima	Fórmula supuesta	P.M.	Oxidos que entran en el vidriado	P.M.
Blanco de España	$CaCO_3$	100.09	CaO	56.08
Bórax	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	381.43	Na_2O	61.99
			B_2O_3	69.64
Acido Bórico	H_3BO_3	61.84	B_2O_3	69.64
Feldespato	$K_2OAl_2O_3$	556.49	K_2O	94.19
	$6SiO_2$		Al_2O_3	101.94
			SiO_2	60.08
Pedernal	SiO_2	60.08	SiO_2	60.08
Caolín	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	258.09	Al_2O_3	101.94
	$2H_2O$		SiO_2	60.08

3. Frita

(1) Materia prima	(2) Naturaleza y cantidad del óxido aportado a la frita	(3) Composición Porcentual	Relación de moléculas derivada de la columna (2)	Relación de moléculas re-agrupadas (5)	Relación dividida entre (6)	Fórmula molecular (7)
Blanco de España	CaO $12 \times \frac{56.08}{100.09} = 6.724$	CaO 8.0	0.12	Na ₂ O 0.05	0.19	
	Na ₂ O $19 \times \frac{61.99}{381.43} = 3.088$	Na ₂ O 3.7	0.05	K ₂ O 0.10	0.37	
	B ₂ O ₃ $19 \times \frac{69.94 \times 2}{381.43} = 6.937$	B ₂ O ₃ 10.9	0.10	CaO 0.12	0.44	Na ₂ O 0.19
	B ₂ O ₃ $4 \times \frac{69.64}{61.84 \times 2} = 2.252$		0.03	B ₂ O ₃ 0.13	0.48	K ₂ O 0.37
	Acido bórico			Al ₂ O ₃ .10	0.37	CaO 0.44
	Feldespato			SiO ₂ 0.74	2.74	B ₂ O ₃ 0.48
	K ₂ O $57 \times \frac{94.19}{556.49} = 9.645$	K ₂ O 11.5	0.10			Al ₂ O ₃ .37
	Al ₂ O ₃ $57 \times \frac{101.94}{556.49} = 10.439$	Al ₂ O ₃ 12.4	0.10			SiO ₂ 2.74
	SiO ₂ $57 \times \frac{60.06}{556.49} = 36.901$	SiO ₂ 53.5	0.61			
Pedernal	SiO ₂ = 8		0.13			
	Total 83.986	100.0				
	se redondea a 84					

la suma de B₂O₃ = 9.189
 la suma de SiO₂ = 44.901

la suma de alcalinos es 0.27

4. Vidriado

Materia prima (1)	Naturaleza y cantidad de óxidos aportados al vidriado (2)	Composición Porcentual (3)	Relación de moléculas (4)	por 0.27 (5)
Caolín	Al_2O_3 $11.45 \times \frac{101.94}{258.09} = 4.516$			
Frita	SiO_2 $11.45 \times \frac{60.06 \times 2}{258.09} = 5.321$			
	Na_2O 3.088 K_2O 9.645 CaO 6.724 B_2O_3 9.189 Al_2O_3 10.439 SiO_2 44.901 <hr/> 93.823 se redondea a 94	Na_2O 3.3 K_2O 10.3 CaO 7.2 B_2O_3 9.8 Al_2O_3 15.9 SiO_2 53.4 <hr/> 99.9	$0.05-$ 0.10 0.27 $0.12-$ 0.13 0.15 0.84	0.19 0.37 0.44 0.48 0.56 3.11
Fórmula molecular del vidriado Na_2O 0.19- K_2O 0.37 B_2O_3 0.48- CaO 0.44- Al_2O_3 0.56- SiO_2 3.11				

TABLA III
AGENTES COLORANTES

Color	Condiciones oxidantes	Condiciones reductoras
Blanco	Magnesia, magnesita, alúmina, borato cálcico, TiO_2 , ZnO , As , ZrO_2 , Sb_2O_3 , Ag^0 y compuestos de cerio.	
Gris	Sales solubles de platino, iridio, rodio, paladio, rutenio y osmio, sesquióxido de iridio, gris de antimonio.	Carbono y compuestos orgánicos, compuestos de níquel, SnO_2 , sales de vanadio, compuestos de molibdeno, Sb^0 y óxidos de antimonio y de estaño, mezclas de los óxidos de hierro, cromo, cobalto, níquel, uranio, manganeso y cobre.
Negro	MnO_2 , sesquióxido de iridio, mezcla de los óxidos de hierro, cromo, cobalto, manganeso, níquel, uranio y cobre, mezclas de cromita, MnO_2 y óxido de cobalto.	Óxido de uranio, sesquióxido de iridio, óxidos de níquel, compuestos de bismuto, sales de plomo, carbono, carburos, sulfuros.
Amarillo	Óxido de titanio, rutilo, óxido de magnesio, pirolusita, óxido cálcico, estannato de vanadio, cromatos, cromato de plomo, cromato de bario, cromato de zinc, óxido de hierro, óxido de níquel	Estannato de vanadio, compuestos de praseodimio.

sales de molibdeno, sales de plata, --
 amarillo de Nápoles (óxidos de antimo-
 nio-plomo), litargidio, sales de pra-
 seodimio, amarillo de uranio, sulfuro
 de cadmio, sulfuro de oro, sales de --
 bismuto, oro metálico.

Anaranjada Rutilo, titanato de hierro, cromato bá-
 sico de plomo, óxidos y titanatos de -
 manganeso, óxido y cromato de hierro, --
 eromita, volframato de magnesio, amari-
 llo de uranio, uranato de plomo, urana-
 to de bismuto, titanato de uranio, sul-
 furo y seleniuro de cadmio.

Rojo Cromato básico de plomo, amarillo de -
 uranio y protóxido de uranio en vidria
 dos de plomo, uranato de plomo, urana-
 to de bismuto, óxido de manganeso, ro-
 sa de manganeso, óxido y sales de hie-
 rro, rojo de cadmio-selenio, púrpura -
 de Cassius, sales de neodimio.

Rosa Combinaciones cromo-estaño

Violeta Pirolusita, púrpura de Cassius, óxido
 de níquel.

Azul oscuro Compuestos de cobalto y de neodimio.

Azul hielo Óxidos de níquel-zinc, óxidos y com-
 puestos de cobre.

Rojo de cobre (cobre coloidal).

Rutilo, cobre coloidal metálico.

Rutilo, compuestos vanádicos.

Rutilo.

Verde mar	Oxidos de níquel-zinc, óxido y compuestos de cobre en vidriados de plomo, antimoniato de cobalto.	Titanato de cobalto, óxido orgánica.
Verde hoja	Oxidos de níquel-zinc, óxidos y compuestos de níquel-zinc, antimoniato y otros compuestos de cobre, sales de praseodimio, compuestos de cobre-vanadio.	Titanato de cobalto, sales de praseodimio.
Oro	Oro metálico.	
Plata	Plata, platino y paladio metálicos.	

TEBLA IV
Porcelanas de zircon

Descripción	Cono de cocción n.º	Caolin	Arcilla grasa	Zircon	Compuestos de zirconio	Pel- das- pato	Talco	Hidrato de aluminio	Magnesia	Propiedades
	8-10		18.52	59.25	Silicato de zirconio y calcio 7.41 Silicato de zirconio y magnesio 7.41 Silicato de zirconio - de bario 7.41					Constante - dieléctrica 9.8 Factor de - potencia 0.05-0.06% Factor de pérdidas 0.5-0.8% Resistividad
	10-12		11.1	68.7	Silicato de zirconio y calcio 22.2					
	10-12		8.9	68.5	Silicato de zirconio y calcio 22.6					
	10-12		11.2	59.2	Silicato de zirconio y calcio 29.6					
	10-12		25	35	Silicato de zirconio y calcio 20. Silicato de zirconio y magnesio 10. Silicato de zirconio - de bario 10.					
Resistencia al choque térmico, vitrea	12		30	300 mallas 55		13	2			Absorción - 1.40%, re- sistencia a la flexión ₂ 9600 lb/p. ₂ (582 kg/cm ²) Después del choque térmico, resistencia a la flexión 3460 lb/pulg ² (149.1 kg/cm ²)

<p>Resistencia - al choque térmico, porosa.</p>	<p>11</p>	<p>20</p>	<p>30</p>	<p>300 mallas 30</p>	<p>16</p>	<p>5</p>	<p>Absorción - 14.80%, re- sistencia a la flexión 3400 lb/pulg² (238 kg/cm²) Después del choque térmico, resistencia a la flexión 3130 lb/pulg² (149.1 kg/cm²)</p>
<p>Porcelanas irrompibles</p>			<p>Bentonita 4</p>	<p>Oxido de zirconio 55-90</p>			<p>41-8</p>
				<p>Oxido de zirconio 55-90</p>	<p>45-10</p>		
				<p>Oxido de zirconio 55-90</p>			<p>45-10</p>
			<p>Bentonita 4</p>	<p>Oxido de zirconio 55-90</p>	<p>41-6</p>		

TABLA V

VIDRIADOS OPACIFICADORES DE ZIRCON

(Por ser muy importante en la opacificación con zirconio la formulación correcta del vidriado base, las fórmulas moleculares dadas omiten el zirconio introducido, con inclusión de la sílice contenida en el mismo)

Tipo de vidriado	Baldosa sin plomo	Baldosa con plomo	Material sanitario de gres molido	Material sanitario de porcelana vítrea molido	Material sanitario crudo	Arcilla refractaria sanitaria batida
Temperatura de maduración °C	1025	1025	1080	1170	1225	1185
Composición de carga de las fritas:						
Faldespato potásico	21.1	46.9	40.8	19.8		29.8
Padernal	35.8	14.6	28.2	47.7		20.3
Blanco de España	8.7	15.1	13.0	12.8		15.8
Carbonato de bario	-	3.1				
Oxido de zinc	-	-	7.8	8.7		
Acido bórico	14.2	13.0	7.9			18.1
Carbonato cálcico	-	-	2.5	7.6		
Bórax anhidro	11.5	4.7		3.6		6.9
Caolín	7.7	2.8				11.1

Carga al molino:

Frita (mencionada arriba)	80.7	71.4	84.8	83.4		11.8
Frita de bisilica de plomo						
Caolin	7.8	3.6	8.1	8.8	8.8	9.8
Zircon molido	12.0	10.7	8.1	8.8	10.5	10.8
Feldespato potásico					26.7	31.8
Pedernal					26.7	25.8
Blanco de España					11.3	11.3
Talco					5.3	
Oxido de zinc					3.4	6.8
Carbonato de bario					7.2	

Fórmula molecular:

$Na_2O + K_2O$	0.5	0.31	0.3	0.35	0.175	0.2
MgO					0.15	
CaO	0.5	0.48	0.4	0.35	0.4	0.5
BaO	-	0.05			0.126	
ZnO	-		0.3	0.3	0.15	0.3
PbO		0.16				
B_2O_3	1.2	0.48	0.2	0.1		0.1
Al_2O_3	0.5	0.36	0.3	0.175	0.3	0.325
SiO_2	5.0	2.92	3.0	3.0	3.0	3.25

TABLA VI - Vidriados opacos

Conc	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaO	BaO	ZnO	PbO	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	ZrO ₂	SnO ₂
Opacificador		SnO ₂												
08	0.035	0.157	0.101	0.106	-	0.098	0.505	-	0.241		1.90	-	-	0.10
06		0.186	0.168	-	-	0.109	0.559	-	0.268		2.122	-	-	0.192
02	0.070	0.064	0.090	0.176	-	0.087	0.522		0.223		2.250			0.088
2	0.035	0.147		0.248	0.248	0.285		0.252	0.210		2.87			0.14
6		0.30		0.50	0.10	0.10			0.35		3.20			0.15
7		0.288	0.074	0.403	0.091	0.148			0.446		2.331			0.104
8		0.41		0.38		0.20			0.44		2.98			0.11
9		0.35		0.35	0.06	0.23			0.54		4.00			0.10
11	0.05	0.12	0.04	0.42	0.04	0.33			0.32		3.40		0.05	0.05
Opacificador		ZrO ₂												
08	0.196	0.113	0.38	0.057		0.221	0.375	0.337	0.095	0.004	1.430	0.146	0.650	
07	0.150	0.150			0.243	0.457		0.531	0.039		0.925		0.082	
06	0.221	0.063		0.216	0.200	0.100	0.200	0.390	0.212		2.890		0.250	
05	0.221	0.063		0.216	0.10	0.30	0.10	0.39	0.212		2.89		0.25	
04	0.091	0.060			0.224	0.428	0.197		0.041		1.507		0.260	
02	0.123	0.075	0.035	0.422	0.100	0.243		0.193	0.210		2.215		0.138	
01	0.179	0.088		0.292		0.319	0.142	0.262	0.287		2.298		0.328	
8	0.048	0.152	0.150	0.500	0.075	0.075			0.330		3.00		0.280	
9	0.0652	0.1205	0.1533	0.4880		0.1690			0.287		3.090		0.357	
11	0.048	0.152	0.150	0.40	0.10	0.150			0.33		3.00		0.28	
12	0.57	0.143	0.25	0.15	0.10	0.10			0.40		4.00		0.30	
Opacificador		TiO ₂												
6	0.15	0.19		0.19		0.37			0.19		2.73	0.12		
Además existe:		Pentóxido de Fósforo Óxido de cerio Óxido de Zino Óxido de Arsénico Óxido de antimonio y Fluoruros												

TABLA VII. OPACIFICADORES

Compuesto	P.M.	d relativa	P.F. (°C)	Factor de Conversión	Observaciones
Sb_2O_3	291.5	5.2-5.7	656	1 - 1.10	. permanece blanco en vidriados s/Pb a no ser que se oxide
Na_2O Sb_2O_5 $\frac{1}{2} H_2O$	394.5		1427	0.820-0.57	. No venenoso.
As_2O_3	197.8	3.7-3.8	Subl. 193	1	. Buen opacificador a 1000-1100°C. . Venenoso.
CeO_2	272.1	6.74	1950	1	. Bueno si se encuentra puro, a menos de 1050°C
SnO_2	150.7	6.6-6.9	1127	1	. El mejor opacificador a todas las temperaturas.
TiO_2	79.9	4.26	1640	1	. Produce color si se enfría despacio.

ZnO	81.38	5.5	más de 1800	1	Excelente en ciertas condi- ciones.
ZnO. Al ₂ O ₃	183.3			0.444-0.566	
ZrO ₂	123.2	5.5-5.7	2950-3000	1	Muy bueno en un amplio rango de temperatura y - composición
ZrSiO ₄	183.3	4.56	2550	0.673-0.327	degradable a menos de 5 micras.
BaO. ZrO ₂ . SiO ₂	336	4.65		0.411-0.455 0.355-0.361 0.175-0.212	Debería usarse solo en pequeñas cantidades.
CaO. ZrO ₂ . SiO ₂	239.4	4.3	1248	0.2234 0.515 0.251	Sintéticos, se - usan regularmen- te mezclados en- tre ellos y con óxido y silicato de zirconio.
MgO. ZrO ₂ . SiO ₂	223.6	4.35	1790	0.180 0.551 0.267	
1.28 ZnO. Al ₂ O ₃ 1.7 ZrO ₂ 2.2 SiO ₂		4.7	1768	0.195 0.194 0.399 0.353	

TABLA VIII. BALANCES METALURGICOS

VIII.A. SEPARACION MAGNETICA.

Tamaño de muestra = 171.980 Kg.			Leyes %			Contenidos %		
Ley de cabezas			3.88	7.56	1.43			
	Peso Kg.	Peso %	FeO.Cr ₂ O ₃	FeO.TiO ₂	ZrSiO ₄	FeO.Cr ₂ O ₃	FeO.TiO ₂	ZrSiO ₄
Magnéticos	6.020	3.50	0.50	15.20	0.89	0.02	0.61	0.036
No Magnéticos	165.900	96.49	4.65	7.60	1.40	4.48	7.55	1.350
						4.50	7.94	1.386

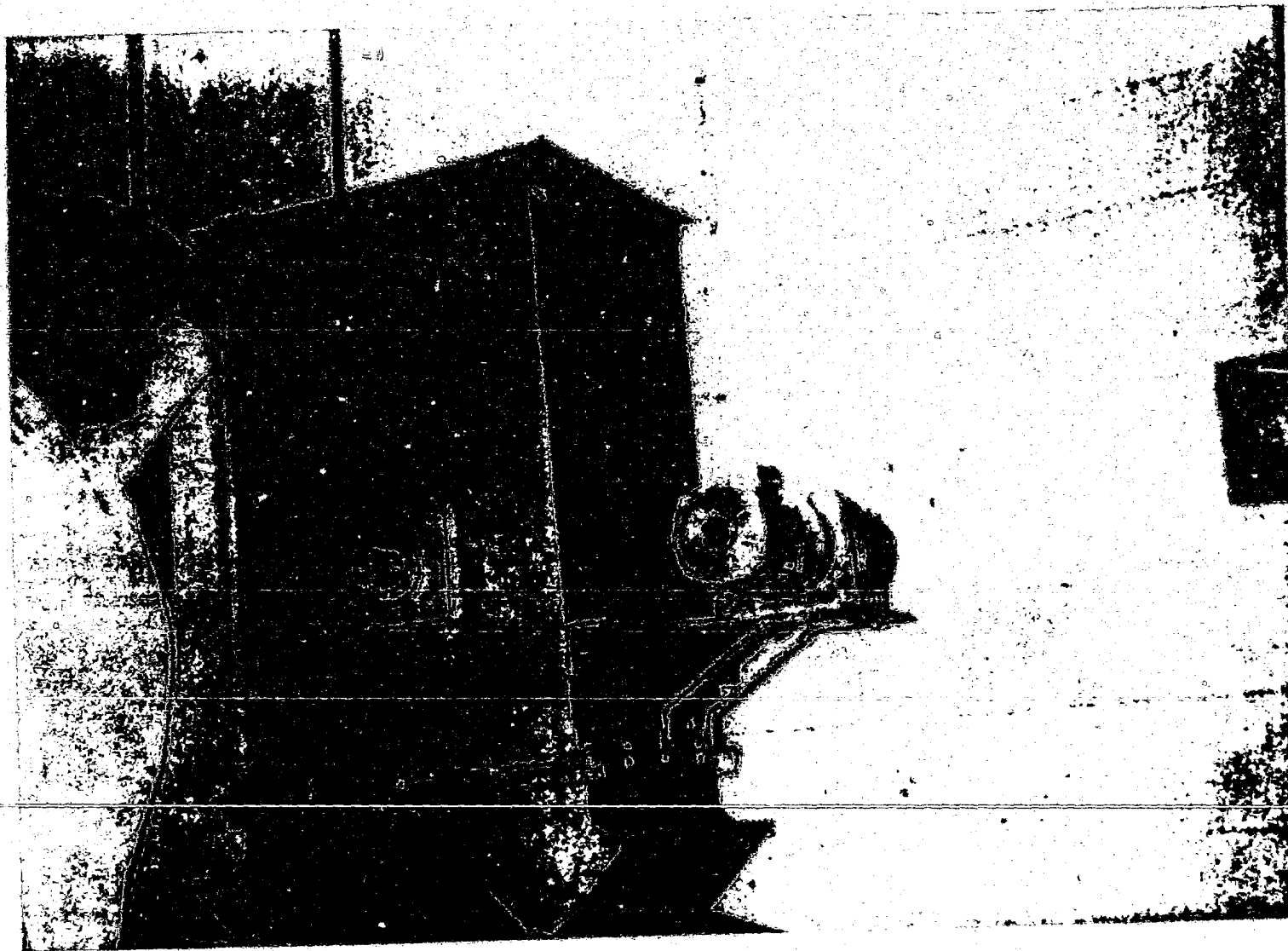


FIG. 3 SEPARADOR MAGNETICO TIPO ERIEZ

VIII.B. MESA WILFLEY

	Peso Kg.	Peso %	Leyes %			Contenidos %		
Ley de Cabezas			4.65	7.60	1.40			
			$FeO.Cr_2O_3$	$FeO.TiO_2$	$ZrSiO_4$	$FeO.Cr_2O_3$	$FeO.TiO_2$	$ZrSiO_4$
Concentrados	32.110	19.35	15.00	24.74	5.63	2.90	4.78	1.09
Medios	10.100	6.04	5.25	10.64	0.26	0.31	0.64	0.01
Colas	123.70	74.61	0.80	1.61	0.09	0.59	1.20	0.06
	<u>165.890</u>					<u>3.80</u>	<u>6.62</u>	<u>1.16</u>

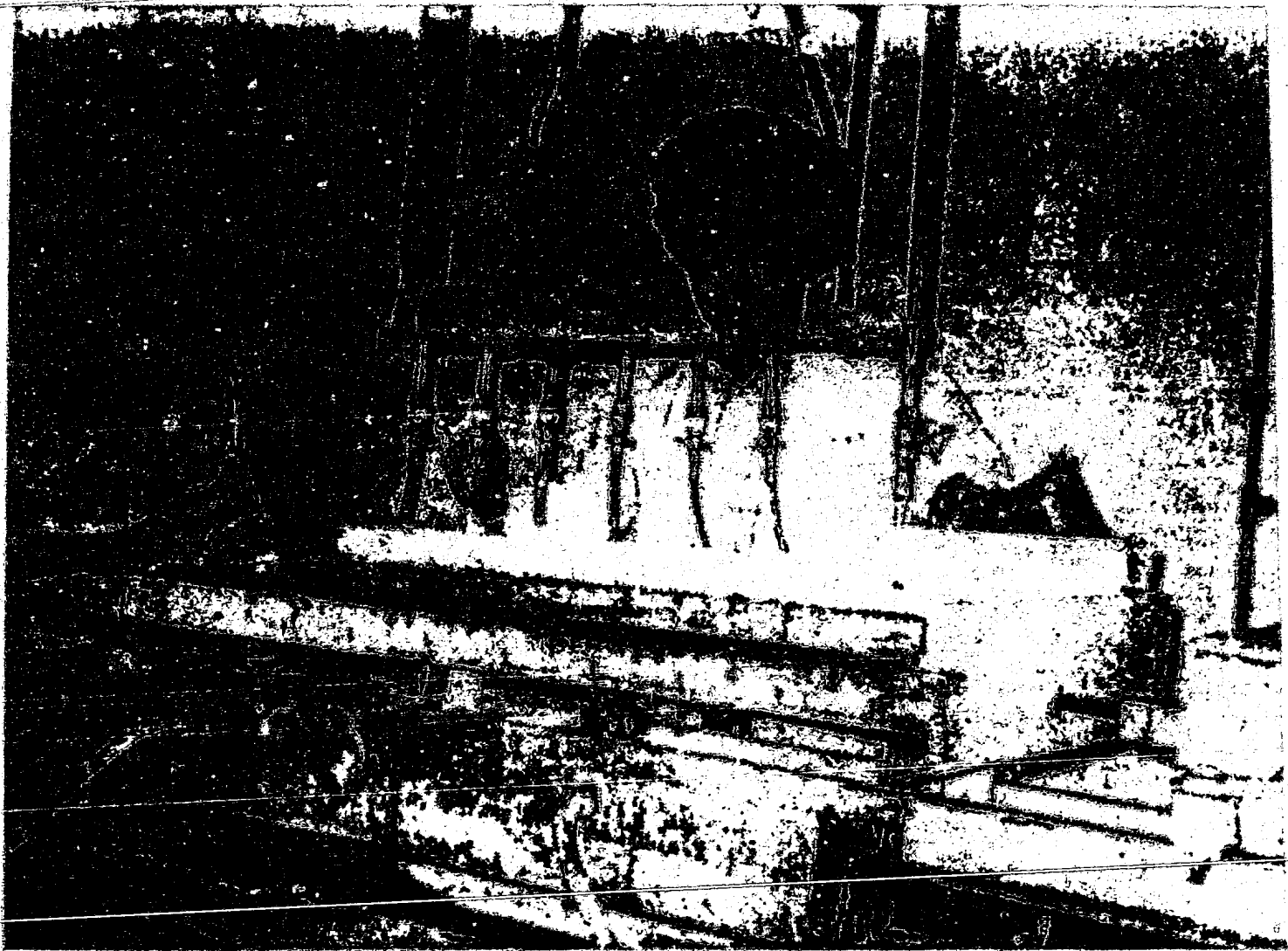


FIG 4. MESA WILFLEY DENVER No. 13

VIII.C. SEPARACION ELECTROMAGNETICA

			Leyes %			Contenidos %		
	Peso Kg.	Peso %	FeO.Cr ₂ O ₃	FeO.TiO ₂	ZrSiO ₄	FeO.Cr ₂ O ₃	FeO.TiO ₂	ZrSiO ₄
Ley de Cabezas			15.00	24.74	5.638			
Concentrados Limpios (celda 1)	0.463	1.501	0.707	14.364	78.483	0.010	0.207	1.132
Concentrados Sucios (celda 2)	0.933	3.026	0.232	18.544	63.086	0.006	0.539	1.833
Medios (celda 3)	1.057	3.428	19.49	17.480	6.168	0.642	0.576	0.203
Celda 4	4.117	13.355	22.92	17.784	4.112	2.940	2.281	0.527
Celda 5	7.745	25.124	15.85	33.44	3.307	3.826	2.072	0.798
Celda 6	10.882	35.301	16.56	15.20	2.264	5.611	5.155	0.767
Celda 7	1.418	4.600	10.50	27.36	2.235	0.463	1.209	0.098
Celda 8	<u>4.211</u> 30.826	13.660	6.76	38.00	1.192	<u>0.887</u> 14.389	<u>4.987</u> 17.026	<u>0.156</u> 5.514

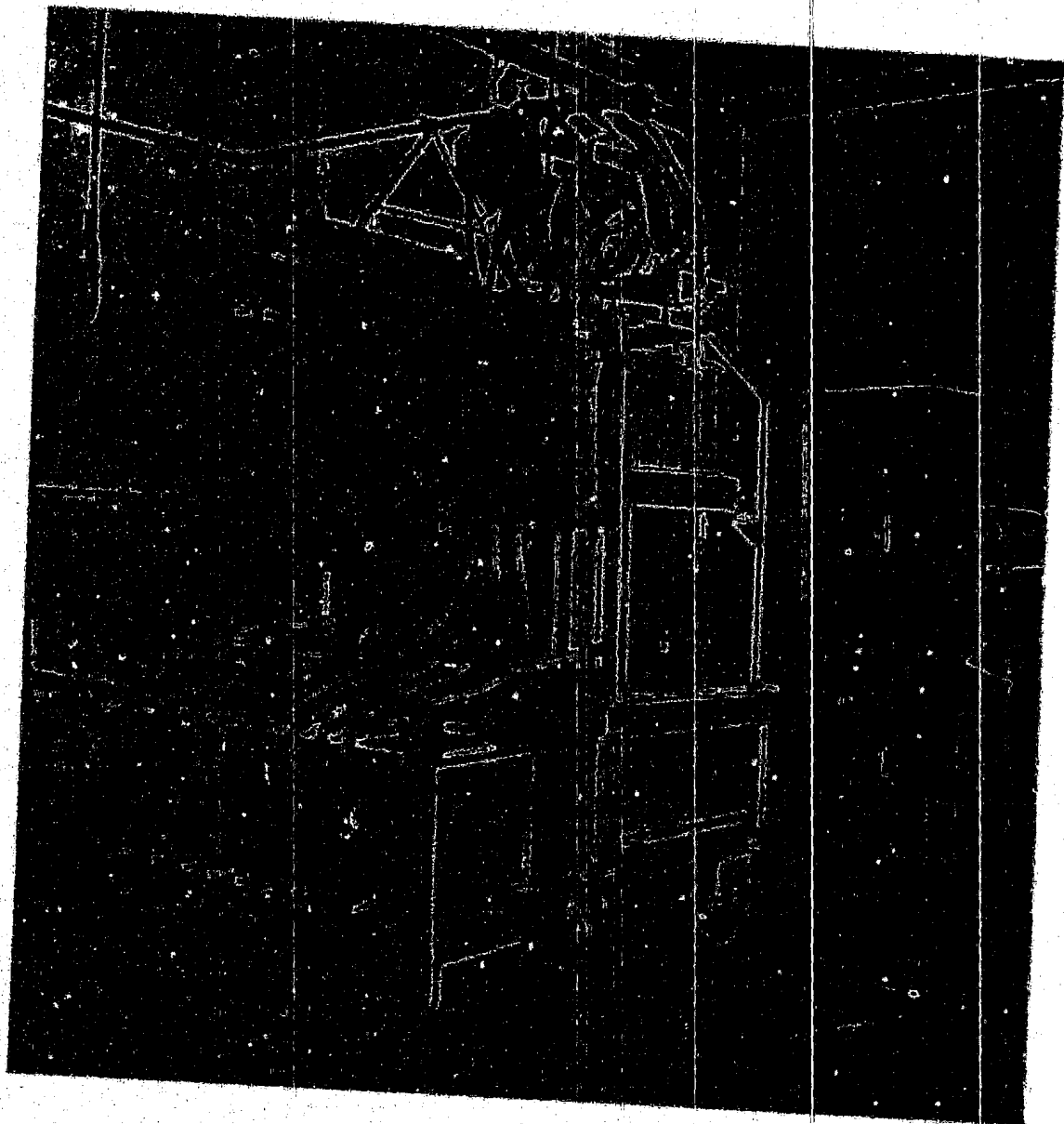


FIG. 5. SEPARADOR ELECTROMAGNETICO BRIZZ.

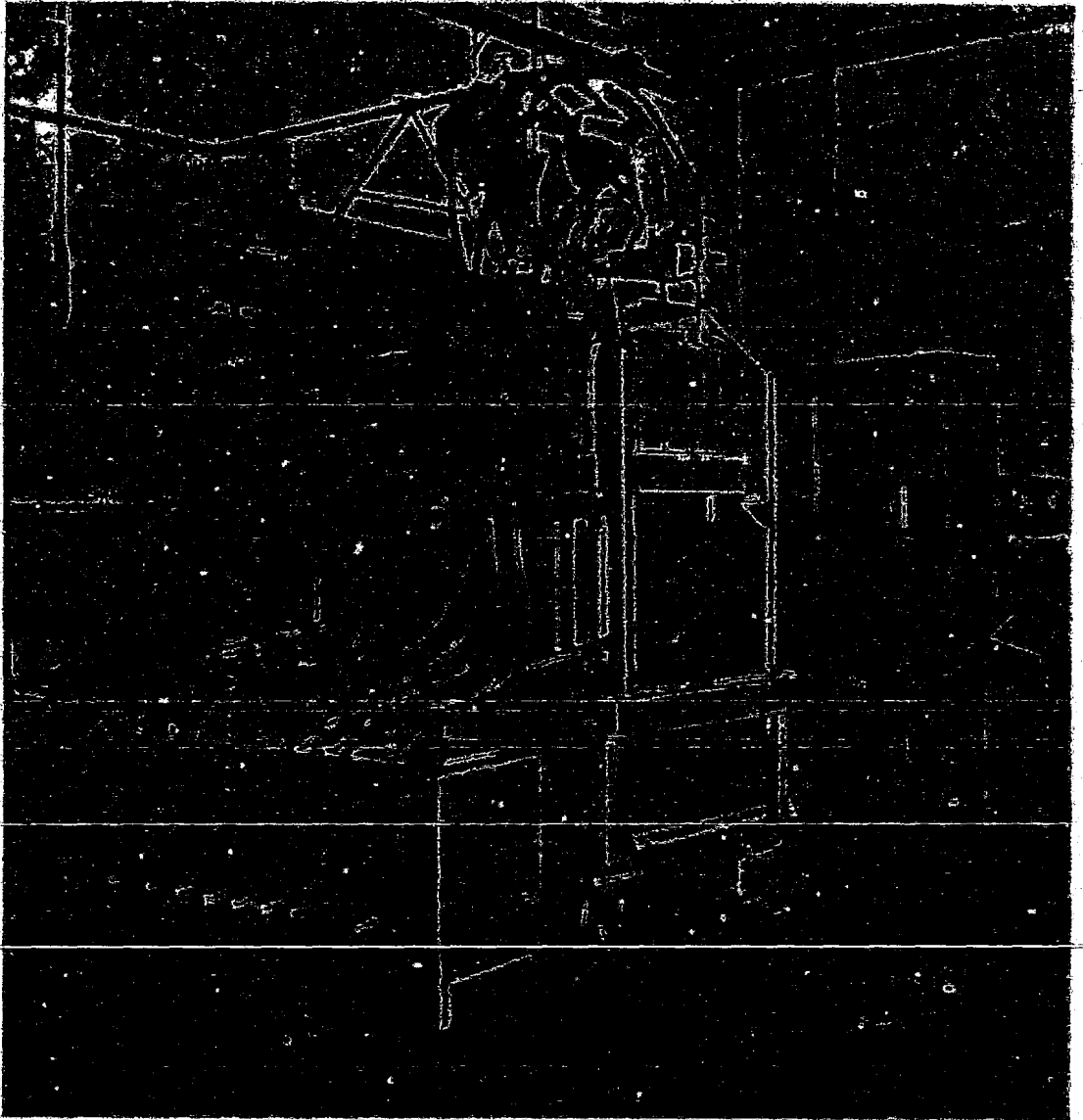
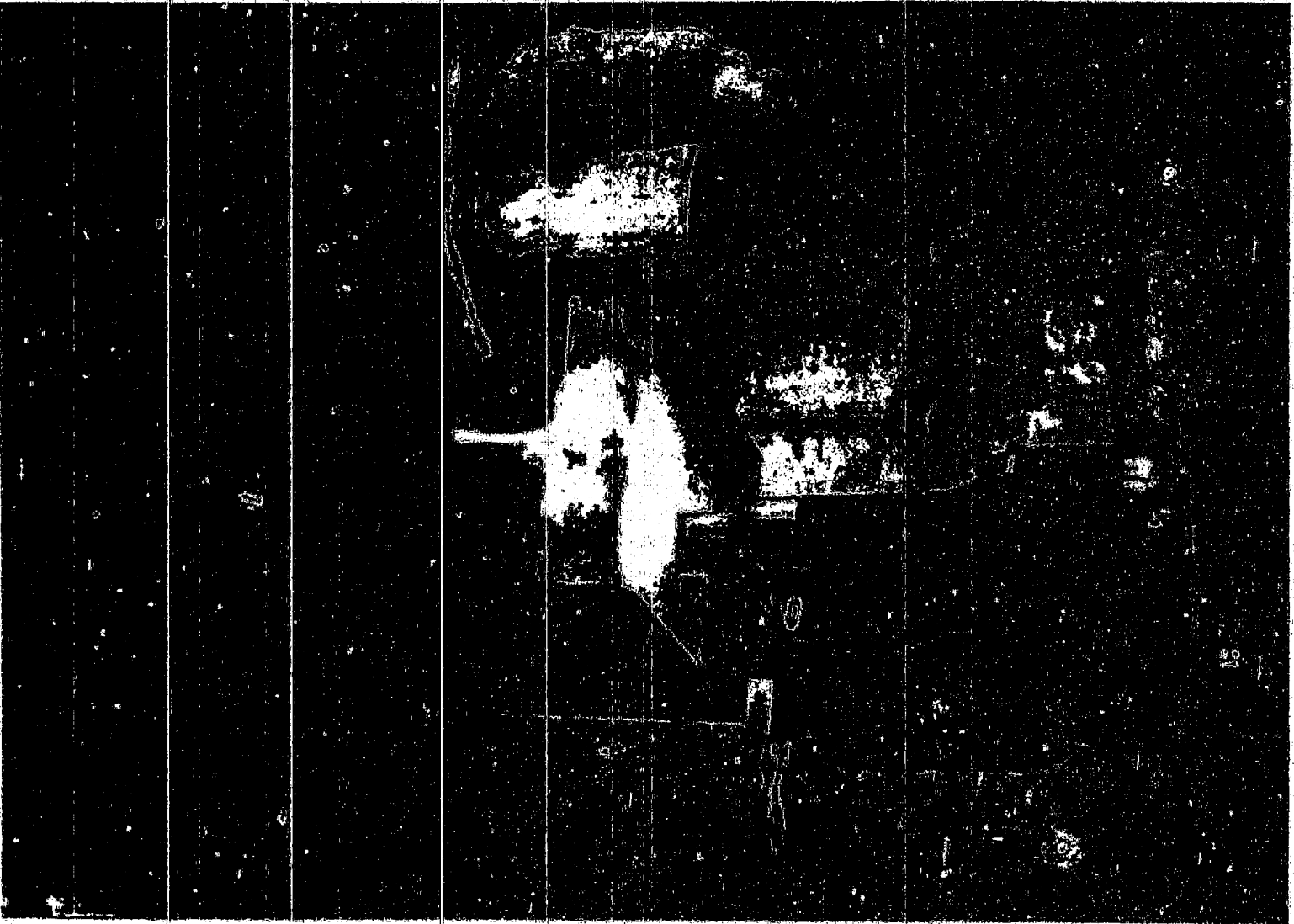


FIG. 3 SEPARADOR ELECTROMAGNETICO BRILH.

VIII.D. FLOTACION.

			Leyes %			Contenidos %		
	Peso Kg.	Peso %	FeO.Cr ₂ O ₃	FeO.TiO ₂	ZrSiO ₄	FeO.CrO ₃	FeO.TiO ₂	ZrSiO ₄
Ley de Cabezas			0.707	14.36	78.36			
Concentrados	161.2	65.82	0.30	4.00	87.88	0.19	2.63	57.76
Golas	83.7	34.17	0.90	24.80	48.80	0.31	8.47	16.67
						<u>0.50</u>	<u>11.10</u>	<u>74.43</u>

FIG. 10. ORBITA DE. MONTAGNACONS. MUSEO. TURIN. 1888.



BIBLIOGRAFIA

- 1.- Ullman Fritz, D.
Enciclopedia de Química Industrial
1932, Vol. VI.
- 2.- Aguilar Rumoroso, I.
Tesis: Breve Estudio sobre Pastas Cerámicas.
1979, UNAM.
- 3.- Kirk-Othmer
Encyclopedia of Chemical Technology
Segunda Edición. 1970, Vol. 22.
- 4.- Miller, G. L.
Zirconium
Segunda Edición. 1957.
- 5.- S. Dana, Edward and Ford E. Elliam.
Tratado de Mineralogía.
1973.
- 6.- Seeley W. Mudd Series
Industrial Mineral and Rocks
The American Institute of Mining
Metallurgical and Petroleum Engineers
1960

- 7.- U.S. Bureau of Mines
Mineral Facts and Problems
1970.
- 8.- Singer and Singer
Enciclopedia de la Química Industrial
Cerámica Industrial. Vols. I, II y III.
1971.
- 9.- A. M. Gaudin
Principles of Mineral Dressing
McGraw Hill Book Company
1939.
- 10.- A. F. Traggart
Handbook of Mineral Dressing
John Wiley and Sons Inc.
1945.
- 11.- Perry, H.J.
Chemical Engineer Handbook
McGraw Hill 1963
- 12.- Ryschkewitch, Eugene
Oxide Ceramics
Physical Chemistry and Technology
1960.

13.- Kingery, W. D.

Introduction to ceramics

1967

14.- Lexis 22

Diccionario enciclopédico

Mineralogía-Geología

1980

15.- Rincón Orta César

Contribuciones del laboratorio de Geocronometría

Instituto de Geología UNAM

Boletín 73 México 1965

16.- Rothenberg, G. B.

Refractory Materials

1976