

MINISTERIO DE INDUSTRIA  
DIRECCION GENERAL DE MINAS  
E INDUSTRIAS DE LA CONSTRUCCION

PLAN NACIONAL DE LA MINERIA  
PLAN NACIONAL DE ABASTECIMIENTO DE MATERIAS PRIMAS  
NO ENERGETICAS

---

ESTUDIO TECNOLOGICO SOBRE CAOLINES  
Y ARCILLAS.

T O M O - I

---

Madrid, Diciembre de 1.977

10617

## INDICE GENERAL

<u>TOMO I.-</u>	<u>.Pág.</u>
0.- <u>INTRODUCCION</u> .....	1
1.- <u>ARCILLAS</u> .....	9
2.- <u>CAMPOS DE APLICACION DE LAS ARCILLAS</u> .....	11
3.- <u>CARACTERIZACION DE LAS ARCILLAS</u> .....	14
4.- <u>CLASIFICACION DE LAS ARCILLAS</u> .....	20
4.1. <u>CLASIFICACION GEOLOGICA</u> .....	20
4.2. <u>CLASIFICACION SEGUN USOS Y PROPIEDADES</u> .....	23
4.3. <u>DESCRIPCION MINERALOGICA DE LAS MATERIAS PRIMAS</u> <u>ARCILLOSAS</u> .....	31
5.- <u>GRANDES GRUPOS DE ARCILLAS ATENDIENDO A SUS CARACTERIS-</u> <u>TICAS INTRINSECAS</u> .....	35
5.1. <u>CAOLIN</u> .....	36
5.2. <u>BALL CLAYS O ARCILLAS PLASTICAS PARA CERAMICA</u> <u>BLANCA</u> .....	38
5.3. <u>ARCILLAS REFRACTARIAS</u> .....	38
5.4. <u>ARCILLAS PARA PRODUCTOS CERAMICOS ESTRUCTURALES</u> <u>(ARCILLAS PARA LADRILLOS)</u> .....	41
5.5. <u>ARCILLAS ESPECIALES</u> .....	42
5.6. <u>COMPARACION ENTRE LAS CARACTERISTICAS INTRINSE-</u> <u>CAS DE LOS GRANDES GRUPOS DE ARCILLAS</u> .....	48
5.6.1. <u>Composición mineralógica</u> .....	48
5.6.2. <u>Composición química</u> .....	51
5.6.3. <u>Granulometría</u> .....	60
5.6.4. <u>Color de la arcilla cocida</u> .....	62
5.6.5. <u>Plasticidad</u> .....	67
5.6.6. <u>Capacidad de cambio de cationes</u> .....	73
5.6.7. <u>Refractariedad y vitrificación</u> .....	77
5.6.8. <u>Resistencia mecánica</u> .....	82
6.- <u>PRINCIPALES USOS DE LAS ARCILLAS. TIPOS, PROPIEDADES</u> <u>Y ESPECIFICACIONES MAS IMPORTANTES DE LAS ARCILLAS -</u> <u>UTILIZADAS</u> .....	89

6.1.	PRODUCTOS CERAMICOS .....	89
6.1.1.	Elementos estructurales (ladrillería) .....	90
6.1.2.	Aridos o agregados ligeros .....	96
6.1.3.	Gres .....	108
6.1.4.	Azulejos (Baldosas para paredes) .....	114
6.1.5.	Loza .....	118
6.1.6.	Porcelana .....	120
6.1.7.	Pastas especiales .....	123
6.1.8.	Refractarios .....	125
6.1.9.	Abrasivos .....	134
6.1.10	Cementos .....	134
6.1.11	Puzolanas .....	138
6.2.	CAUCHO, PLASTICOS Y TINTAS PLASTICAS .....	141
6.3.	PAPEL .....	148
6.4.	LODOS DE SONDEOS .....	151
6.5.	AGLOMERANTES DE ARENAS DE MOLDEO PARA FUNDICION..	156
6.6.	PELLETIZACION DE MINERALES DE HIERRO .....	165
6.7.	METALURGIA DE ALUMINIO .....	167
6.8.	REFINO Y DECOLORACION DE ACEITES Y GRASAS .....	167
6.9.	CATALIZADORES EN LA INDUSTRIA DEL PETROLEO .....	171
6.10	OTROS USOS .....	173
7.-	<u>PREVISION DE POSIBLES USOS INDUSTRIALES DE UNA ARCILLA</u>	176
7.1.	ORIENTACION SOBRE EL USO DE UNA ARCILLA SEGUN SU ANALISIS QUIMICO .....	185
7.2.	METODO DE PREVISION DE LOS USOS INDUSTRIALES DE LAS ARCILLAS DESARROLLADO POR EL INSTITUTO DE PES QUISAS TECNOLOGICAS DE SAO PAULO (BRASIL) .....	193
7.3.	PROGRAMA DE ENSAYOS PARA ARCILLAS Y MATERIAS PRI MAS CERAMICAS DESARROLLADO POR EL BUREAU OF MINES DE ESTADOS UNIDOS .....	210
7.3.1.	Fase 1. Ensayos cerámicos preliminares ..	211
7.3.2.	Fase 2. Ensayos cerámicos ampliados .....	214

7.3.3. Fase 3. Ensayos varios .....	224
7.4. CRITERIOS UTILIZADOS PARA EVALUAR LA POSIBLE UTILIZACION DE ARCILLAS EN ALGUNOS USOS CERAMICOS..	226
8.- <u>BIBLIOGRAFIA</u> .....	230

TOMO II.-

1.- <u>MAPA DE FORMACIONES ARCILLOSAS</u> .....	1
1.1. AMBIENTES DE FORMACION Y SEDIMENTACION DE LOS MINERALES ARCILLOSOS .....	2
1.1.1. Suelos .....	2
1.1.2. Ambientes continentales .....	6
1.1.3. Ambientes transicionales: bahías, lagoons estuarios .....	7
1.1.4. Mares profundos .....	8
1.2. DIAGENESIS .....	8
1.3. MAPA DE FORMACIONES ARCILLOSAS EN ESPAÑA .....	10
1.4. MAPA DE FAVORABILIDAD .....	13
2.- <u>RECOPIACION Y ANALISIS DE DATOS SOBRE INDICIOS</u> .....	15
3.- <u>RESUMEN Y EVALUACION DE LAS ZONAS</u> .....	19
<u>ANEXO: FICHAS DE LAS ZONAS</u> .....	43

## I N D I C E

### TOMO III.- MAPAS.

- 1-15: Mapa de localización de zonas de estudio.
- 2-15: Leyenda general.
- 3-15: Mapa Litológico de las Principales Formaciones Arcillosas.  
Zona 1.
- 4-15: Mapa Litológico de las Principales Formaciones Arcillosas.  
Zona 2.
- 5-15: Mapa Litológico de las Principales Formaciones Arcillosas.  
Zona 3.
- 6-15: Mapa Litológico de las Principales Formaciones Arcillosas.  
Zona 4.
- 7-15: Mapa de Situación de Yacimientos y Explotaciones de Arci-  
llas. Zona 1. (Según el MNRI).
- 8-15: Mapa de Situación de Yacimientos y Explotaciones de Arci-  
llas. Zona 2.
- 9-15: Mapa de Situación de Yacimientos y Explotaciones de Arci-  
llas. Zona 3.
- 10-15: Mapa de Situación de Yacimientos y Explotaciones de Arci-  
llas. Zona 4.
- 11-15: Caracterización de las Arcillas según sus usos. Zona 1.
- 12-15: Caracterización de las Arcillas según sus usos. Zona 2.
- 13-15: Caracterización de las Arcillas según sus usos. Zona 3.
- 14-15: Caracterización de las Arcillas según sus usos. Zona 4.
- 15-15: Mapa de Favorabilidad.

INDICE DE CUADROS

.Pág.

nº 1.- Industrias químicas de proceso .....	13
nº 2.- Caracterización tecnológica de las arcillas .....	17
nº 3.- Clasificación de Ries .....	21
nº 4.- Clasificación de Norton .....	24
nº 5.- Clasificación del U.S. Bureau of Mines .....	25
nº 6.- Clasificación de Souza Santos y Souza Santos .....	26
nº 7.- Clasificación de Ferreira (1972) .....	28
nº 8.- Minerales del grupo de las arcillas .....	32
nº 9.- Nomenclatura de las arcillas especiales .....	44
nº 10.- Composición química de varias arcillas especiales.	59
nº 11.- Distribución granulométrica de Ball Clays inglesas	60
nº 12.- Intervalos de variación de la distribución granulo métrica de arcillas refractarias inglesas .....	61
nº 13.- Color de las arcillas cocidas .....	66
nº 14.- Variación del agua de trabajo .....	71
nº 15.- Serie de Hofmeister .....	75
nº 16.- Valores de capacidad de cambio de cationes en va- rias arcillas .....	75
nº 17.- Valores de capacidad de cambio de cationes en va- rios minerales arcillosos .....	76
nº 18.- Valores de capacidad de cambio de aniones en va- rios minerales arcillosos .....	76
nº 19.- Temperaturas finales de los conos pirométricos ...	79
nº 20.- Clasificación de las arcillas refractarias según C.P.E.....	81
nº 21.- Resistencia a la flexión (Norton, 1973) .....	87
nº 22.- Resistencias mecánicas (Bleiniger, 1925) .....	88
nº 23.- Valores límites recomendados en ladrillería (Ameri can Ceramic Society) .....	94
nº 24.- Clase de agregados ligeros .....	98
nº 25.- Usos del Gres .....	112

nº 26.- Valores límites de las características físicas en el gres sanitario .....	113
nº 27.- Características de las arcillas plásticas para - azulejos después de tamizadas a 80 mallas .....	115
nº 28.- Características de los caolines para azulejos después de tamizados a 80 mallas .....	116
nº 29.- Arcillas y caolines para azulejos (Hirst, 1966)..	117
nº 30.- Pastas refractarias de aluminosilicatos .....	132
nº 31.- Especificaciones para las harinas de cemento y arcillas para cemento .....	136
nº 32.- Especificaciones químicas para puzolanas (ASTM, C-402-63) .....	141
nº 33.- Característica de caolines para caucho (ABNT (1954), EB-IS) .....	143
nº 34.- Características de los caolines para caucho (Huber Kaolin Co).....	144
nº 35.- Características de los caolines para papel.....	149
nº 36.- Especificaciones de los caolines para papel (Huber Kaolin Co) .....	150
nº 37.- Especificaciones de bentonitas para lodos de perforación (A.P.I.) .....	155
nº 38.- Especificaciones de bentonitas para lodos de perforación (O.C.M.A.) .....	155
nº 39.- Ensayos de arcillas como aglomerantes de arenas de moldeo (I.P.T.B. Lo Ré) .....	160
nº 40.- Especificaciones de bentonitas como aglomerantes de arenas de moldeo (MIL 1958) .....	161
nº 41.- Características de las bentonitas como ligantes de arenas de moldeo .....	162
nº 42.- Características de las arcillas para arenas de moldeo .....	164
nº 43.- Características de los Pellet de hierro Broosch..	166
nº 44.- Características de los catalizadores para cracking de petróleo .....	173

nº 45.- Intervalo de variación de los componentes "químicos" de las arcillas en función de su utilización típica.	187
nº 46.- Orientación de los campos de utilización más importantes de las arcillas en función de su análisis químico .....	189
nº 47.- Arcillas patrón del Estado de Sao Paulo .....	194
nº 48.- Colores de las probetas-patrones después del secado y la cocción a tres temperaturas .....	196
nº 49.- Relación de productos para los que se realizan ensayos específicos con los distintos grupos o subgrupos de arcillas .....	209
nº 50.- Criterios usados para evaluar arcillas para productos estructurales .....	227
nº 51.- Criterios para evaluar arcillas cerámicas .....	228
nº 52.- Criterios para evaluar arcillas para agregados ligeros. ....	229



INDICE DE FIGURAS

.Pág.

0-1.- Fases de ejecución del Programa Nacional de Investigación de Arcillas .....	3
nº 1.- Diagrama de Casagrande .....	70
nº 2.- Características plásticas de diferentes tipos de arcillas según Casagrande .....	72
nº 3.- Límites aproximados de composición de arcillas para la fabricación de agregados ligeros .....	103
nº 4.- Variación del módulo de ruptura de las arcillas-patrones brasileñas después del secado a 110°C. ....	204
nº 5.- Variación de las características cerámicas de las arcillas-patrones brasileñas después de la cocción a 950°C. ....	205
nº 6.- Variación de las características cerámicas de las arcillas-patrones brasileñas después de la cocción a 1.250°C .....	206
nº 7.- Variación de las características cerámicas de las arcillas-patrones brasileñas después de la cocción a 1.450°C .....	207
nº 8.- Ensayos cerámicos preliminares .....	212
nº 9.- Evaluación cerámica Preliminar .....	215
nº 10.- Ensayos cerámicos ampliados. Ensayo de extrusión .....	217
nº 11.- Evaluación de arcillas: Ensayos de extrusión ..	218
nº 12.- Ensayos cerámicos ampliados. Ensayo de prensado en seco .....	220
nº 13.- Evaluación de arcillas: Ensayo de prensado en seco .....	221
nº 14.- Evaluación de arcillas: Ensayo en horno rotatorio .....	223

## 0.- INTRODUCCION.

En Septiembre de 1.977 el Instituto Geológico y Minero de España encomendó a COMPAÑIA GENERAL DE SONDEOS S.A. la ejecución del proyecto denominado "Estudio tecnológico sobre caolines y arcillas" cuya óptica está encuadrada dentro del marco del Plan Nacional de Abastecimiento de Materias Primas No - Energéticas, aprobado por el Gobierno en el año 1.975.

Dentro del mencionado Plan se presta una especial atención al sector de las rocas industriales, dentro del cual hay que destacar a los caolines y arcillas, incluyendo -- las especiales (bentonitas, sepiolitas y atapulgitas), tanto -- por el volumen de dinero que representan sus transacciones comerciales como por la repercusión que tienen en el sector industrial, en el que no existe ningún proceso que no utilice -- estas materias primas - ya sea en estado más o menos natural - ya sea como un producto transformado - en mayor o menor cantidad, además de los objetos y artículos de uso cotidiano en los que intervienen como materia prima.

La utilización de las arcillas, en su sentido -- más amplio, por el Hombre se remonta prácticamente a los albores de su existencia, si bien ha sido en el presente siglo -- cuando se han desarrollado y diversificado sus ya múltiples -- usos, como consecuencia del gran impulso que han experimentado tanto las ciencias como las técnicas.

Las exigencias de la industria, que cada vez -- tiene que producir más y mejor, unidas a los problemas de abas-- tecimiento de materias primas y energéticas de los últimos ---

años, obligan a considerar de sumo interés el abastecimiento - nacional de arcillas, al cual - como a la mayor parte de las - rocas industriales - se le ha prestado tradicionalmente escasa atención. Todo ello hace que hoy día debe considerarse el -- abastecimiento nacional de las arcillas, en su sentido más amplio, a nivel gubernamental, en unos casos por tratarse de materiales escasos y de alto valor comercial y en otros por la - repercusión que tienen en las diversas actividades humanas y - en la planificación de su desarrollo.

Por otro lado, las arcillas son una materia prima muy compleja, tanto por su composición y propiedades químicas y físicas, como por sus usos, en los cuales es posible utilizar una gama muy variada de calidades para obtener productos de muy diversa calidad.

Teniendo en cuenta la incidencia en la economía del país, la complejidad de los usos y la escasa atención científica y técnica que tradicionalmente se ha prestado a las arcillas, es obligado que cualquier actuación gubernamental que se inicie sobre este conjunto de materias primas tenga un marcado carácter infraestructural, para pasar posteriormente a -- realizaciones más concretas. Estas últimas han de tener como - punto de partida un mapa a nivel nacional en el que se indiquen los indicios conocidos y las formaciones arcillosas de interés, con la particularidad de que se deben caracterizar las arcillas según sus posibles usos industriales. Disponiendo del mencionado mapa y teniendo en cuenta los diversos factores económicos y técnicos es posible, por un lado, disponer de una estimación de los recursos nacionales de estas materias primas y, por -- otro, programar las diversas actuaciones a realizar en lo que a

Figura 0-1FASES DE EJECUCION DEL PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACION DE ARCILLAS

	FASE PREVIA	FASE DE PROSPECCION REGIONAL	FASE DE EVALUACION
Ambito de aplicación	Nacional	Zonas de gran extensión	Áreas de reducido tamaño
Carácter de los trabajos	Infraestructurales	Aplicaciones técnicas de prospección	Aplicación de técnicas de evaluación
Objetivo fundamental	Mapa nacional de arcillas	Determinación de áreas de interés	Evaluación de yacimientos

prospección regional se refiere para pasar después a la Fase de Evaluación de recursos de las áreas recomendadas como de interés en la mencionada "Fase de Prospección regional". Todos los trabajos y estudios de carácter infraestructural encaminados a la confección de un Mapa Nacional de Arcillas se pueden englobar en una Fase Previa cuya finalización es el punto de partida de las fases posteriores, esquemáticamente representado en la figura 0-1.

El objetivo final perseguido en un Programa Nacional de Investigación de Arcillas, realizado en las tres fases mencionadas, persigue disponer de una evaluación de recursos y reservas nacionales de arcillas convenientemente localizados, cuantificados y caracterizados según sus posibles usos industriales.

La realización de la Fase Previa implica la ejecución de diversos trabajos directamente derivadas de la problemática general de las arcillas y dirigidos a completar la infraestructura necesaria. De una forma resumida, se pueden considerar los siguientes grupos de trabajos :

- a) Desarrollo de una metodología de caracterización de las arcillas según sus posibles usos industriales, encaminada a facilitar la labor del prospector y su coordinación con el sector industrial, además de permitir que toda la información sobre indicios, ya existente o que se obtenga en el futuro, se pueda interpretar de una forma homogénea que no implique excesivos costes y con una resolución útil y adecuada a la hora de prever las posibilidades del país en lo que a estas

materias primas se refiere.

- b) Recopilación y caracterización de los indicios de arcillas existentes en el país, completando su información cuando ésta sea insuficiente y tomando las muestras -- oportunas en las formaciones favorables cuando éstas - no estén suficientemente muestreadas.
- c) Elaboración de diversos estudios y trabajos que permitan prever la evolución de las necesidades de los diferentes tipos de arcillas en el país y sus preferentes zonas de localización.

Dada la magnitud de la Fase Previa, que además de incluir trabajos de diversa índole supone la ejecución de una campaña de toma de muestras a nivel nacional, en el momento de su concepción se consideró oportuno abordarla en varios proyectos, de tal forma que se pudieran ir incorporando las enseñanzas y resultados adquiridos en la ejecución de los precedentes. Con la ejecución del presente Proyecto se ha iniciado dicha Fase Previa persiguiéndose los siguientes objetivos :

- Desarrollar un método de caracterización de las arcillas que permita prever sus posibles usos industriales y que a la vez que sea sencilla de aplicar con costes reducidos, también se pueda ampliar y mejorar su grado de precisión si las necesidades lo aconsejan.
- Recopilar y analizar, con visión nacional, la información existente sobre indicios de arcillas y representada por las estaciones de esta materia prima en el Mapa

Nacional de Rocas Industriales a escala 1:200.000.

- Caracterizar, de acuerdo al método propuesto, todos los indicios que sea posible para llegar a conocer las zonas en que es necesario completar la información, ya sea porque ésta sea escasa ya sea porque no esté uniformemente repartida en las formaciones favorables.

Para llevar a cabo la realización práctica del proyecto se subdividirá el trabajo en dos bloques. El primero comprende los aspectos técnicos y comerciales de las arcillas para terminar exponiendo tres sistemas de caracterización, -- desde el punto de vista industrial, de las arcillas. El segundo incluye la recopilación, análisis y caracterización de los indicios de arcillas, lo que permite deducir las zonas necesitadas de completar o mejorar la información existente.

La exposición de los aspectos técnicos y comerciales de las arcillas se inicia planteando el problema que supone definir este grupo de materias primas y reseñando brevemente sus múltiples y variados campos de aplicación, consecuencia de una serie de propiedades y características que concurren en ellas. La descripción o caracterización de una arcilla está -- controlada por los siguientes factores : Composición mineralógica tanto de los minerales arcillosos como de los no arcillosos; Granulometría de los diferentes componentes; Contenido en electrolitos y materia orgánica y características texturales.

En la literatura especializada se encuentran numerosas clasificaciones de estas materias primas, que siguen muy diversos criterios según el fin con que han sido confecio

nadas. En este estudio se ha optado por considerar cinco grandes grupos de materias primas arcillosas adaptados a la terminología usualmente utilizada por los productores y consumidores : caolín, Ball clays o arcillas plásticas para cerámica blanca, arcillas refractarias, arcillas para productos cerámicos estructurales y arcillas especiales. Este último grupo está constituido por las arcillas esmectíticas y hormíticas que tienen unos campos de aplicación muy superpuestos. La definición de estos cinco grandes grupos de materias primas arcillosas se completa analizando varias de sus principales características y propiedades (composición mineralógica y química, granulometría, color de la arcilla cocida, plasticidad, resistencia mecánica, capacidad de cambio de iones y refractariedad y vitrificación.

En otro capítulo se realiza un repaso de los principales usos de las arcillas en el que se indican los tipos de arcillas más frecuentemente utilizadas en cada uno de ellos y se indican las características y especificaciones de cada uso que se han creído de mayor interés, obtenidas a partir de numerosas fuentes, que comprenden, tanto normas de diversos centros y organismos como normas de uso frecuente por parte de los fabricantes. Es necesario señalar que, existiendo una gran cantidad de datos y especificaciones sobre los productos acabados, no ocurre lo mismo con respecto a las arcillas utilizadas en su fabricación; cuestión ésta muy importante para la prospección y explotación de arcillas, pues siempre sería interesante conocer los valores mínimos necesarios para el empleo de una arcilla en uso industrial determinado, con el fin de definir mejor su mercado, ya que el valor de una arcilla no es sólo función de su calidad intrínseca, -



sino también de la versatilidad de sus aplicaciones.

En el último capítulo se aborda el tema de desarrollar una metodología que permita prever, de una forma fácil y económica, los posibles usos de una arcilla, con el doble objeto de facilitar los trabajos de prospección de grandes superficies y la labor de uniformar y homogeneizar a nivel nacional la información de los indicios de estas materias primas, lo -- cual es de sumo interés a la hora de programar las acciones gubernamentales en este sector. Para ello se desarrolla un sistema basado en la composición química de las arcillas y se analizan otros dos sistemas, uno el elaborado en Estados Unidos y el otro en Brasil.

El segundo bloque de trabajo se puede subdividir, a su vez, en dos partes. La primera consiste en la confección de un mapa del país a escala 1 : 500.000, en el que se diferencian las distintas litologías favorables desde el punto de vista de las arcillas y se definen una serie de zonas de características homogéneas. En la segunda parte se recopila y analiza la información suministrada por los Mapas de Rocas Industriales a escala 1 : 200.000 y se agrupa según las zonas definidas en primer lugar; además se aplica, cuando es posible, la metodología propuesta para prever los posibles usos industriales de las arcillas basada en su análisis químico. Todo ello permite obtener una visión global de las necesidades infraestructurales de cada zona al coordinar la información suministrada por los Mapas de Rocas Industriales con las características de las formaciones arcillosas existentes en cada una de ellas.

## 1.- ARCILLAS.

El término arcilla se adopta para definir tres conceptos completamente distintos y que hacen referencia a la mineralogía, petrografía y tamaño de partícula.

Las arcillas, como término mineralógico, constituyen un conjunto de minerales del grupo de los silicatos hidratados, principalmente de aluminio, magnesio y hierro que pueden contener iones de elementos alcalinos y alcalinotérreos.

Desde el punto de vista petrográfico, las arcillas son una roca de aspecto terroso, de grano muy fino y compuestas esencialmente por minerales del grupo de las arcillas.

Como término granulométrico, las arcillas constituyen la fracción de tamaños que incluye las partículas más finas sin hacer referencia a su mineralogía.

En la definición del término arcilla, según cada uno de los conceptos mencionados, existen sensibles diferencias entre los diversos autores y/o entre las adoptadas por los diferentes organismos, comités, grupos de trabajo, etc.

Desde el punto de vista mineralógico no hay un acuerdo general para la nomenclatura y composición de los minerales arcillosos, debido a que se presentan en partículas sumamente pequeñas no permiten estudiar los cristales individualizados con todas las dificultades que ello entraña a la hora de clasificar.

Considerando la arcilla como una roca, hay diferen-

cias respecto a los porcentajes de composición mineralógica, - granulometrías , etc. Algunas definiciones incluyen conceptos - como el de que son sustancias plásticas cuando se humedecen, co sa que no ocurre siempre.

Tampoco existe acuerdo sobre el tamaño de las partículas en la fracción arcillosa. Para citar unos ejemplos cabe mencionar que la International Society of Soil Science, el US - Department of Agriculture, el Massachusetts Institute of Technology y la British Standards Institution adoptan como límite de la fracción arcillosa las 2 micras, mientras que el US Bureau - of Soils y la US Public Road Administration adoptan como límite las 5 micras. Es habitual, entre los geólogos, utilizar como lí mite de la fracción arcillosa las 4 micras de la utilizadísima escala de Wentworth. También es interesante decir que la separa ción de los tamaños inferiores a 2 micras permite separar -en muchos casos cualitativa y cuantitativamente- los minerales arcillosos de los que no lo son en una roca.

En este trabajo no se entrará a discutir estas diferencias de opinión, ya que si bien no existe una definición - del término arcilla que satisfaga a todos, este término es gene ralmente entendido por todos aquellos que lo utilizan. Aquí se considerarán las arcillas como una roca o mineral industrial y como tal constituyen un complejo grupo de materias primas mine rales con sensibles diferencias mineralógicas, en su forma de - presentarse, tecnología y usos. Por lo tanto se estudiarán como arcillas todas las sustancias minerales naturales que por - su contenido en minerales del grupo de las arcillas sean objeto de aprovechamiento industrial.

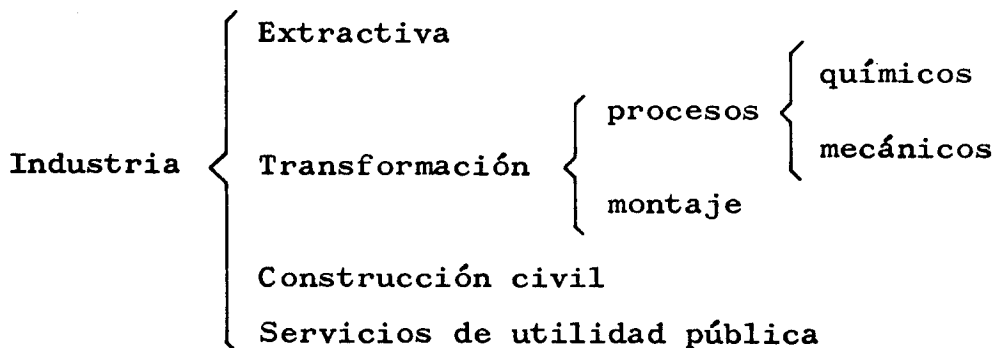
## 2.- CAMPOS DE APLICACION DE LAS ARCILLAS.

Antes de seguir hacia adelante parece oportuno e interesante tener una visión de conjunto de los usos de las arcillas o de los productos que de ellas se pueden obtener, para tener una idea clara de la versatilidad de esta materia prima, ya que en ello se basa fundamentalmente la complejidad de su estudio. Para realizar este análisis se tendrá en cuenta la clasificación adoptada por las Naciones Unidas de las actividades económicas humanas, que son:

- Agropecuarias
- Industriales
- Comercio
- Servicios

Las arcillas al formar parte de los suelos son el sustento de las actividades agropecuarias. Como roca o mineral industrial o como producto obtenido a partir de ellas son objeto de comercio.

El sector industrial es el que presenta más complejidad por lo que se deben considerar los distintos subsectores:



Es evidente que las arcillas son una de las materias primas producidas por el subsector extractivo. En los de construcción civil y servicios de utilidad pública se emplean productos fabricados con arcilla (cementos, ladrillos, aislantes térmicos y eléctricos, etc) y en ocasiones se utiliza la arcilla directamente (impermeabilización de embalses y canales de riego, etc).

Dentro del subsector de transformación es donde las arcillas adquieren realmente importancia. En las de montaje se utilizan productos fabricados con arcilla mientras que en las de procesos se usan como materia prima utilizando sus numerosas propiedades y calidades diferentes. En la siguiente tabla están recogidas las actividades englobadas bajo el epígrafe "Industrias químicas de proceso" y que utilizan arcillas (Cuadro nº 1).

Cuadro nº 1.- INDUSTRIAS QUIMICAS DE PROCESO.

INDUSTRIAS QUIMICAS DE PROCESO -----	UTILIZACION DE AR- CILLAS. -----
Aguas industriales y domésticas	Si
Combustibles	Si
Carboquímica y carbones industriales	No
Gases industriales	No
Cerámica	Si
Cloroálcalis y derivados	No
Electrolisis	No
Electrotermia	Si
Fertilizantes nitrogenados	Si
Fertilizantes fosfatados	Si
Fertilizantes potásicos	Si
Acido sulfúrico	No
Nuclear	Si
Explosivos, tóxicos y propelentes	Si
Fotografía	No
Tintes, barnices, lacas y revestimientos de superficies.	Si
Cueros y derivados, gelatinas y adhesivos	Si
Insecticidas, fungicidas y pesticidas	Si
Aromas y Esencias	Si
Aceites, ceras y grasas	Si
Jabones y detergentes	Si
Azúcares y almidones	Si
Fermentos	Si
Maderas	No
Celulosa y papel	Si
Polímeros y elastómeros	Si
Fibras naturales y sintéticas	Si
Refino de petróleo	Si
Petroquímica	Si
Alimentos	Si
Farmacía	Si
Metalurgia extractiva	Si

Tras un simple repaso de esta lista se puede deducir el enorme campo de aplicaciones que tienen las arcillas, aun que sea solamente desde un punto de vista cualitativo, y con -- ello la importancia que tienen en el desarrollo industrial.

### 3.- CARACTERIZACION DE LAS ARCILLAS.

La infinidad de usos industriales de estas materias primas son una consecuencia de una serie de factores que concurren en ellas:

- Uno de los factores más importantes es el estar constituidas fundamentalmente por minerales arcillosos que comprenden varios grupos con varias especies mineralógicas. Al poder entrar estas especies mineralógicas a formar parte de la arcilla en muy variadas proporciones confieren a la materia prima una amplia faja de variabilidad de sus propiedades.

Las distintas especies mineralógicas tienen diferente composición química debido a su estructura cristalina, a sustituciones isomórficas o a cambios de cationes. Sus propiedades fisicoquímicas varían en una amplia gama de valores, tienen un tamaño de partícula muy pequeño además de tener unas relaciones dimensionales muy variables.

- Son materias fácilmente disgregables lo cual incide en los costes de trituración y molienda. Son también fácilmente dispersables en agua lo que repercute ampliamente en sus propiedades geológicas.
- Las arcillas han sido y son una materia prima fácilmente asequible al hombre por las características de sus depósitos, los cuales, además, por

motivos genéticos, son bastante extensos y homogéneos lo que favorece enormemente su aplicación industrial.

La amplia faja de variabilidad de las propiedades de las arcillas hace que sea realmente difícil describir una determinada arcilla. Según GRIM los factores que controlan sus propiedades son los siguientes:

- a) Composición mineralógica, cuantitativa y cualitativa de los minerales arcillosos y distribución granulométrica.
- b) Composición mineralógica, cuantitativa y cualitativa de los minerales no arcillosos y distribución granulométrica.
- c) Contenido en electrolitos, cualitativo y cuantitativo, ya en forma de sales solubles ya sea en forma de cationes de cambio.
- d) Naturaleza y cantidad de compuestos orgánicos.
- e) Características texturales de la arcilla, tales como la forma de los granos de cuarzo, grado de orientación o paralelismo de las partículas de minerales de arcilla, silicificación, etc.

La interacción de todos estos factores en una arcilla determina sus propiedades y hace que las de las arcillas en general tengan unos márgenes de variación muy amplios lo que las convierte en unas sustancias con usos muy versátiles en la in--



dustria. La gran variedad de utilizaciones posibles de las arcillas en general y en particular, hace que para caracterizar, - desde el punto de vista tecnológico, una arcilla sea necesario medir un gran número de parámetros. Este aspecto ha sido estudiado recientemente con detalle por SOUZA SANTOS (1975) el cual para caracterizar tecnológicamente una arcilla, determina experimentalmente las siguientes propiedades (Cuadro nº 2).

Cuadro nº 2.- CARACTERIZACION TECNOLOGICA DE LAS ARCILLAS.

1.- TEXTURA: En sentido macroscópico. Es consecuencia de la distribución granulométrica de la forma de las partí-culas constituyentes, de la orientación de las par-tículas unas respecto a otras, y de las fuerzas que unen a las partículas entre si.

## 2.- COMPOSICION MINERALOGICA:

2.1. Color.- Utilizando una escala de colores como la de -  
Munsell.

2.2. Composición química. Determinación de P.F.,  $\text{SiO}_2$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3$   
 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ;  $\text{FeO}$ ;  $\text{CaO}$ ;  $\text{MgO}$ ;  $\text{K}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}_2\text{O}$ .

2.3. Identificación de los componentes cristalinos y no cris-talinos.

2.3.1. Identificación cualitativa y cuantitativa de los  
componentes cristalinos no arcillosos.

2.3.2. Identificación cualitativa y cuantitativa de los  
minerales arcillosos.

## 3.- IONES DE CAMBIO:

3.1. Capacidad total de cambio de cationes.

3.2. Iones de cambio, naturaleza ( $\text{Na}^+$ ;  $\text{K}^+$ ;  $\text{H}_3\text{O}^+$ ;  $\text{Ca}^{++}$ ;  $\text{Mg}^{++}$ ;  
 $\text{Al}^{+++}$ ;  $\text{Fe}^{+++}$ ) y porcentaje.

3.3. Capacidad de cambio de cationes de los minerales arci-llosos.

3.4. Capacidad de cambio de cationes de la materia orgánica.

3.5. Sales solubles, naturaleza y porcentaje.

3.6. Aniones adsorbidos, naturaleza y porcentaje.

3.7. Complejos arcilla-materia orgánica y compuestos inter-calados.

#### 4.- PROPIEDADES MICROMETRICAS:

- 4.1. Granulometría en tamiz (hasta 325 mallas-abertura de 44 micras).
- 4.2. Distribución granulométrica hasta 2 micras o menos.
- 4.3. Superficie específica.
- 4.4. Forma de las partículas aisladas.
- 4.5. Forma de los aglomerados en estado natural.
- 4.6. Porosidad aparente y real.
- 4.7. Porosidad aparente y total.

#### 5.- SISTEMA ARCILLA-AGUA:

- 5.1. Plasticidad.
- 5.2. Dispersión coloidal.
- 5.3. Floculación y defloculación de las dispersiones coloidales.
- 5.4. Propiedades reológicas.

#### 6.- PROPIEDADES FISICOMECHANICAS EN FUNCION DE LA TEMPERATURA - (PROPIEDADES CERAMICAS):

- 6.1. Métodos de conformación: manual, prensado, extrusión y colado.
- 6.2. Contracción de secado (110°C) y de cocido a 950°C, 1250°C y 1450°C.
- 6.3. Tensión de ruptura después de secado a 110°C y después de cocido a 950°C, 1250°C y 1450°C.
- 6.4. Densidad específica aparente, absorción de agua y porosidad aparente en cocido a 950°C, 1250°C y 1450°C.
- 6.5. Densidad específica real y porosidad total después de secado a 110°C y después de cocido a 950°C, 1250°C y 1450°C.
- 6.6. Refractariedad o cono pirométrico equivalente.

**7.- PROPIEDADES TECNOLOGICAS ESPECIFICAS MEDIBLES EN LABORATORIO.**

- 7.1. Como carga y cubriente
- 7.2. Como ligante
- 7.3. Como agente decolorante
- 7.4. Como agente catalítico
- 7.5. Como pigmento
- 7.6. Como abrasivo
- 7.7. Como agente de suspensión.

Realmente, con esta medida tan exhaustiva de parámetros es indudable que cualquier arcilla queda perfectamente - caracterizada desde el punto de vista tecnológico, siempre y - cuando se especifique claramente el estado de la muestra, ya que puede haber estado sometida a algún tipo de tratamiento. La muestra de arcilla se puede caracterizar en los siguientes estados:

- a) En bruto, húmeda o seca.
- b) Después de disgregación, cominución o molido - con o sin separación granulométrica por tamizado en seco.
- c) Después de separación en medio líquido a través de tamices, floculación y secado.
- d) Después de separación fluidodinámica en ciclones o hidrociclones con floculación y secado si es - necesario.

#### 4.- CLASIFICACION DE LAS ARCILLAS

La complejidad propia de las arcillas hace que -- prácticamente no existan dos arcillas iguales lo que dificulta enormemente la tarea de desarrollar una clasificación, recurriéndose, incluso, a clasificar las arcillas por su lugar de procedencia; así se habla, por ejemplo, de los caolines de Cornwall, de ball-clay de Devon o de Dorset, bentonitas de Wyoming y de Mississippi, etc.

Actualmente existen varias clasificaciones de arcillas que corresponden a criterios geológicos, propiedades, usos, etc, las cuales se resumirán brevemente en los párrafos siguientes así como un sistema de descripción de los materiales arcillosos a partir de su mineralogía, de uso en Alemania.

##### 4.1. CLASIFICACION GEOLOGICA.

Una de las clasificaciones más difundidas es la confeccionada por RIES (cuadro nº 3) basada en las características genéticas de los yacimientos de arcilla.

Cuadro nº 3.- CLASIFICACION DE RIES.

A) Arcillas residuales. Formadas in situ por alteración de la roca debida a diversos agentes, bien de la superficie o de origen profundo.

I. Las formadas por envejecimiento en la superficie, implicando los procesos disolución, desintegración o descomposición de silicatos.

a) Caolines, de color blanco y generalmente blancos tras la calcinación.

<u>Roca original</u>	<u>Forma</u>
Granito, pegmatita, riolita, caliza, pizarra, cuarcita feldespática, gneiss, esquisto, etc.	Capas; masas tabulares muy inclinadas; bolsas o lentes.

b) Arcillas ferruginosas, derivadas de diferentes clases de rocas.

II. Arcillas residuales blancas formadas por la acción de -- aguas ascendentes, posiblemente de origen ígneo:

a) formadas por aguas carbonatadas ascendentes;

b) formadas por soluciones de sulfatos;

III. Arcillas residuales formadas por la acción de soluciones de sulfatos que se filtran en dirección descendente.

IV. Arcillas residuales blancas formadas por remplazamiento, debidas a la acción de aguas, a las que se supone de origen meteórico (indianita).

B) Arcillas coluviales, que representan depósitos formados por lavado de las anteriores y de carácter refractario o no refractario.

.../...

C) Arcillas transportadas:

I. Depositadas en agua.

- a) Arcillas o pizarras marinas, en depósitos que frecuentemente tienen gran extensión;
- arcillas grasas, arcillas de calcinación blanca;
- arcillas refractarias o pizarras, de calcinación beige;
- arcillas o pizarras impuras { calcáreas  
no calcáreas
- b) Arcillas lacustres (depositadas en lagos o pantanos);
- arcillas refractarias o pizarras;
- arcillas o pizarras impuras, de calcinación roja;
- arcillas calcáreas, usualmente de carácter de superficie.
- c) Arcillas de zonas de inundación, usualmente impuras y arenosas.
- d) Arcillas estuarinas (depositadas en estuarios), casi siempre impuras y finamente laminadas.
- e) Arcillas de delta.

II. Arcillas glaciales, halladas en las morrenas, y frecuentemente pedregosas. Pueden ser de calcinación roja o beige.

III. Depósitos formados por el viento (algunos loess).

IV. Depósitos químicos (algunas arcillas de pedernal).

#### 4.2. CLASIFICACIONES SEGUN USOS Y PROPIEDADES.

Este tipo de clasificaciones es bastante utilizado y varian desde considerar cada aspecto por separado a considerarlos más o menos conjuntamente. Entre estas clasificaciones - cabe destacar las siguientes:

- Clasificación de Norton (Cuadro nº 4). Esta clasificación de las arcillas se refiere únicamente a las propiedades cerámicas e incluye los campos de aplicación en un sentido amplio.
- Clasificación del U.S Bureau of Mines (Cuadro nº 5). Esta clasificación se utiliza en Estados Unidos con fines estadísticos. Comprende seis grupos de arcillas de los cuales dos se utilizan con fines cerámicos mientras que los cuatro restantes se emplean en usos tanto cerámicos como no cerámicos.
- Clasificaciones de Souza Santos y Souza Santos (Cuadro nº 6) y Ferreira (Cuadro nº 7). Estas clasifican las arcillas estrictamente por sus usos y pueden criticarse por el hecho de que una misma arcilla puede clasificarse en varios grupos y una arcilla que no tenga utilización no cabe en la clasificación. Sin embargo permite tabular las especificaciones mínimas de cada uso basadas en ensayos de laboratorio.



Cuadro nº 4.- CLASIFICACION DE NORTON.

- A) Arcillas blancas de calcinación (empleadas en objetos blancos).
1. Caolines:
    - a) residuales
    - b) sedimentarios
  2. Arcillas grasas.
- B) Arcillas refractarias (con punto de fusión superior a 1600°C pero no necesariamente de calcinación blanca).
1. Caolines (sedimentarios)
  2. Arcillas refractarias
    - a) de pedernal
    - b) plásticas
  3. Arcillas de alto contenido en alúmina:
    - a) gibbsita
    - b) diásporo
- C) Arcillas de productos arcillosos pesados (de baja plasticidad pero conteniendo fundentes).
1. Arcillas y pizarras para ladrillos de pavimentación
  2. Arcillas y pizarras para tubos de desagües
  3. Arcillas y pizarras para ladrillos y tejas huecas
- D) Arcillas para gres (plásticas, con fundentes).
- E) Arcillas para ladrillos (plásticos, con óxido de hierro).
1. Arcillas de terracota
  2. Ladrillos de fachada y comunes
- F) Arcillas fácilmente fusibles (con más óxido de hierro).

Cuadro nº 5.- CLASIFICACION DEL U.S BUREAU OF MINES

<u>TIPO DE ARCILLA</u>	<u>PRINCIPALES USOS</u>
Caolín	- Carga y recubrimiento, refractarios, cerámica, caucho, pinturas, etc.
Ball Clay	- Cerámica, refractarios.
Fire Clay	- Refractarios, cerámica.
Bentonita	- Lodos de sondeo, arcillas para arenas de fundición (tipo hinchable); adsorbentes (no hinchable), fabricación de pellets.
Fuller's earth	- Adsorbentes y usos varios
Arcillas varias (Incluyendo pizarra).	- Cerámica, cemento, áridos ligeros.

Cuadro nº 6.- CLASIFICACION DE SOUZA SANTOS Y SOUZA SANTOS.

I ARCILLAS CERAMICAS	{ Ia Arcillas para construcción o cerámica roja. Ib Arcillas para cerámica blanca Ic Arcillas para materiales refractarios silicoaluminosos o aluminosos.
II ARCILLAS PARA CARGA DE CAUCHO.	{ IIa Arcillas duras o activas IIb Arcillas blandas o inertes IIc Arcillas para latex
III ARCILLAS PARA FABRICACION DE PAPEL	{ IIIa Arcillas para carga de papel y cartón IIIb Arcillas para satinado de papel (coating clays).
IV ARCILLAS PARA DILUYENTES DE INSECTICIDAS.	{ IVa Arcillas para diluyentes primarios o activos. IVb Arcillas para diluyentes secundarios o posactivos.
V ARCILLAS PARA CARGAS DE PINTURAS, PLASTICOS, LINOLEO Y TEJIDOS.	
VI ARCILLAS PARA FINALIDADES ESPECIALES	{ VIa Arcillas como agente ligante (grafito minas de lapiz, minerales en polvo) VIb Arcillas para suspensión de esmaltes y fritas. VIc Arcillas refractarias para hornos de vidrio.
VII ARCILLAS PARA LA INDUSTRIA DEL CEMENTO Y HORMIGON	{ VIIa Arcillas para fabricación de cemento Portland común. VIIb Arcillas para fabricación de cementos refractarios. VIIc Arcillas para fabricación de cemento puzolánico. VIId Arcillas para fabricación de áridos ligeros.
VIII ARCILLAS PARA DECOLORACION DE ACEITES MINERALES, ANIMALES Y VEGETALES	{ VIIIa Arcillas decolorantes naturales o fuller's earth. VIIIb Arcillas decolorantes activados por tratamiento ácido. VIIIc Arcillas decolorantes o filtrantes activadas por tratamiento térmico.

IX ARCILLAS PARA CATALI-  
ZADORES DE LA INDUS-  
TRIA DEL PETROLEO.

- IXa Arcillas para soporte de catalizadores.
- IXb Arcillas naturales o activadas que actuan como catalizador.

X ARCILLAS PARA LODOS DE  
PERFORACION.

- Xa Arcillas formadoras de gel en ambiente salino.
- Xb Arcillas como agentes tixotropicos

XI ARCILLAS PARA AGLOMERANTES DE ARENAS DE FUNDICION.

Cuadro nº 7.- CLASIFICACION DE FERREIRA (1972).

GRUPO	SUBGRUPO	USO INDUSTRIAL
Arcillas cerámicas	SG-1 Arcillas para <u>ce</u> rámica roja.  SG-2 Arcillas para <u>ce</u> rámica blanca.  SG-3 Arcillas para <u>ma</u> teriales refrac- tarios.	U-1 Arcillas para ladri- llos huecos y maci- zos. U-2 Arcillas para tejas U-3 Arcillas para tubos U-4 Arcillas para baldo- sas. U-5 Arcillas para ári-- dos ligeros. U-6 Arcillas para vidria dos y esmaltes. U-7 Arcillas para gres sanitario. U-8 Arcillas refracta-- rias ligantes y pa- ra fabricación de - chamotas
Arcillas co- mo carga en productos <u>in</u> dustriales.	SG-4 Arcillas como <u>car</u> ga activa.          SG-5 Arcillas como <u>car</u> ga inerte.	U-9 Arcillas como carga activa para caucho. U-10 Arcillas como car- ga activa para plás- ticos. U-11 Arcillas para recu- brimiento de papel. U-12 Arcillas como carga activa para adhesi- vos.y colas. U-13 Arcillas como dilu- yentes de insectici- das U-14 Arcillas como car- ga inerte para cau- cho. U-15 Arcillas como car- ga inerte para pa- pel. U-16 Arcillas como car- ga inerte para re- cubrimiento de se- millas. U-17 Arcillas como car- ga inerte para hu- les y linoleo.

Cuadro nº 7.- CLASIFICACION DE FERREIRA (1972) - (Continuación)

GRUPO	SUBGRUPO	USO INDUSTRIAL
Arcillas como agente de emulsi <u>o</u> n, estabi <u>l</u> izaci <u>o</u> n y sus <u>p</u> ensi <u>o</u> n.	<p>SG-6 Arcillas como - agente de emulsi<u>o</u>n, estabi<u>l</u>izaci<u>o</u>n y sus<u>p</u>ensi<u>o</u>n para produc<u>t</u>os de utiliza<u>ci</u>o<u>n</u> directa por el hombre.</p> <p>SG-7 Arcillas como - agente de emulsi<u>o</u>n, estabi<u>l</u>izaci<u>o</u>n y sus<u>p</u>ensi<u>o</u>n para produc<u>t</u>os industriales</p> <p>SG-8 Arcillas como agen<u>t</u>e de sus<u>p</u>ensi<u>o</u>n.</p>	<p>U-18 Arcillas para usos medicinales y farmac<u>e</u>uticos.</p> <p>U-19 Arcillas para cosm<u>e</u>ticos y produc<u>t</u>os de tocador.</p> <p>U-20 Arcillas para produc<u>t</u>os alimentaci<u>o</u>nes.</p> <p>U-21 Arcillas como agen<u>t</u>e de emulsi<u>o</u>n y sus<u>p</u>ensi<u>o</u>n para - productos indus<u>t</u>riales en general</p> <p>U-22 Arcillas utiliza<u>d</u>as en la indus<u>t</u>ria del cuero.</p> <p>U-23 Arcillas para jabones y detergen<u>t</u>es.</p> <p>U-24 Arcillas para limpiadores y puli<u>m</u>ientos.</p> <p>U-25 Fluidos para perforaci<u>o</u>n de pozos</p>
Arcillas decoloran <u>t</u> es.	No es adecuada su divisi <u>o</u> n en subgrupos.	<p>U-26 Arcillas decoloran<u>t</u>es para aceites minerales ani<u>m</u>ales y vegetales.</p> <p>U-27 Arcillas decoloran<u>t</u>es para aguas, vi<u>n</u>os, licores y produc<u>t</u>os similares.</p> <p>U-28 Arcillas decoloran<u>t</u>es para papeles y productos textiles</p> <p>U-29 Arcillas para eliminaci<u>o</u>n de resi<u>d</u>uos radioactivos y limpieza en gene<u>r</u>al.</p>

Cuadro nº 7.- CLASIFICACION DE FERREIRA (1972) - (Continuación)

GRUPO	SUBGRUPO	USO INDUSTRIAL
Arcillas como ligantes.	No es adecuada su división en subgrupos.	U-30 Arcillas ligantes - para fabricación de minas de lapiz. U-31 Arcillas ligantes - de arenas de moldeo para fundición. U-32 Arcillas ligantes - para peletización - de minerales.
Arcillas para ingeniería civil.	No es adecuada su división en subgrupos.	U-33 Arcillas para puzolanas. U-34 Arcillas para impermeabilización. U-35 Arcillas plastificantes.
Arcillas para productos químicos.	No es adecuada su división en subgrupos.	U-36 Arcillas para fabricación de catalizadores silicoaluminosos. U-37 Arcillas para fabricación de pinturas. U-38 Arcillas para fabricación de cementos. U-39 Arcillas para fabricación de pigmentos U-40 Arcillas para fabricación de alúmina y aluminio. U-41 Arcillas para fabricación de zeolitas. U-42 Arcillas para fabricación de grasas lubricantes. U-43 Arcillas para fabricación de alsifilms U-44 Arcillas para fabricación de fertilizantes y abonos.

#### 4.3. DESCRIPCION MINERALOGICA DE LAS MATERIAS PRIMAS ARCILLOSAS.

Las arcillas están compuestas esencialmente por: minerales arcillosos, minerales no arcillosos, fragmentos de roca y materia orgánica; y ya que los que particularizan a esta materia prima son los minerales del grupo de arcillas, en cuadro nº 8 se relacionan los más importantes.

La descripción mineralógica de una arcilla es un -- fundamento científico a partir del cual se pueden vislumbrar sus propiedades y empleos. ERNST, FORKEL y GEHLEN desarrollaron un sistema de nomenclatura de los materiales arcillosos basado en su descripción mineralógica, el cual se emplea en Alemania para la confección de las hojas de materias primas por la D.K.G. Este sistema permite tener una orientación sobre las propiedades de una arcilla independientemente de su procedencia regional o de su utilización.

El procedimiento de nomenclatura desarrollado inicialmente por los citados autores incluía, además, información sobre las propiedades y granulometría del material, lo que hacía engorrosa su aplicación. Posteriormente desarrollaron un sistema abreviado que contiene menos información -pero que en muchos casos es suficiente- facilitando la comunicación verbal sobre la naturaleza de las arcillas.

Según estos autores los materiales arcillosos se describen mediante una fórmula en la que se indican los grupos de minerales que se presentan en las arcillas cerámicas por medio de letras mayúsculas:



Cuadro nº 8.- MINERALES DEL GRUPO DE LAS ARCILLAS

## FAMILIA DE LOS MINERALES ARCILLOSOS 1:1 (difórmicos)

Clase general	Familia	Población de la capa octaédrica	Nombre del Grupo	Minerales Arcillosos del Grupo	Fórmula de la mitad de la celda
Silicatos en capas o laminares	1:1 o Difórmicos (distancia interplanar basal de 7Å)	Dioctaédrica	Caolinita	Nacrita	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$
			o Candita	Diquita	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$
				Caolinita	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$
				Haloisita: $2H_2O$	$Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot 2H_2O$
				Haloisita: $4H_2O$	$Al_2Si_2O_7(OH)_4(?)$
		Trioctaédrica	Septecoloritas	Antigorita serpen-	$Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$
				Crisotila tinas	$Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$
				Amesita	$(Mg, Fe^{2+})_4Al_4Si_2O_{10}(OH)_8$
				Cronstedtica	$Fe_4^{3+}Fe_2^{2+}Si_2O_{10}(OH)_8$
				Bertierina	$(Fe^{2+}, Fe^{3+}, Mg, Al)_6(Si_3Al)_{10}(OH)_8$

Desacreditado

## FAMILIA DE LOS MINERALES ARCILLOSOS 2:1 (trifórmicos)

Clase general	Familia	Población de la capa octaédrica	Nombre del Grupo	Minerales Arcillosos del Grupo	Fórmula de la mitad de la celda		
Silicatos en capas o laminares	2:1 o trifórmicos (distancia interplanar basal de 10Å en la forma anhidra)	Dioctaédrica		Beidelita	$0,33M^+ Al_2(Si_{3,67}Al_{0,33})_{10}(OH)_2$		
				Nontronita	$0,33M^+ Fe_2(Si_{3,67}Al_{0,33})_{10}(OH)_2$		
				Volconscoita	$0,33M^+ (Fe, Cr, Al)_2(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2$		
				Trioctaédrica	Montmorilonita o esmetita	Montmorilonita	$0,33M^+ (Al_{1,67}Mg_{0,33})Si_4O_{10}(OH)_2$
						Saponita	$0,33M^+ Mg_3(Si_{3,67}Al_{0,33})_{10}(OH)_2$
						Sauconita	$0,33M^+ (Mg, Zn)_3(Si_{3,67}Al_{0,33})_{10}(OH)_2$
				Dioctaédrica		Hectorita	$0,33M^+ (Mg, Li)_3(Si_{3,67}Al_{0,33})_{10}(OH)_2$
						Vermiculita dioctaédrica	$0,67M^+ (Al, Fe, etc)_2(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2$
				Trioctaédrica		Vermiculita	$0,67M^+ (Al, Fe, etc)_3(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2$
						Dioctaédrica	Micas hidratadas o hidromicas
	2:1 o trifórmicos (distancia interplanar de 10Å)	Glauconita	$(K, H_3O)(Al, Fe)_2(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2$				
		Paragonita	$NaAl_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$				
		Celadonita	$K(Fe, Al)(Mg, Fe)Si_4O_{10}(OH)_2$				
		Flogopita	$KMg_3(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$				
			Biotita-lediquita	$(K, H_3O)Mg_3(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2$			
		Trioctaédrica	Paligorsquita	Lepidomelana	$K(Fe^{2+}, Fe^{3+})_3(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2$		
				Pirofilita	$Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$		
				Talco	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$		
	Talco-pirofilita 10A 12A	Trioctaédrica	Sepiolita	Paligorsquita	$(Mg_{2,5-x}Al_x)(Si_{4-x}Al_x)O_{10}(OH)(OH_2)_2$		
					Sepiolita	$(Mg_{4-x}Al_x)(Si_{6-x}Al_x)O_{15}(OH)_2(OH_2)_2$	

M<sup>+</sup> es un cation monovalente

K	caolín
I	illitas
X	silicatos $X_{ML}$ minerales hinchables
M	montmorillonita
Q	cuarzo
F	feldespato
Y	minerales pesados
O	materia orgánica

Estas letras mayúsculas, ordenadas de forma que expresen cantidades relativas de mayor a menor y/o porcentajes, - constituyen la fórmula del material arcilloso. Si se conocen las especies minerales se indican con subíndices (letras minúsculas) en las letras mayúsculas de sus respectivos grupos. Mediante el sistema abreviado la formulación se realiza indicando únicamente los grupos de minerales, y de estos, únicamente los que estén presentes con un contenido superior al límite arbitrario del 8%. Así por ejemplo un caolín de Burela se describiría de la siguiente forma:

sistema original de E.F.G:  $K_{ka} (72) Q_{qz} (14) I_{il+mu} (11) X_{ml} (1-2)$   
 $F_{or} (1)$  Arcilla

sistema abreviado de E.F.G: K Q I Arcilla

En 1975 H. Kromer y K.H. Schüller lanzaron una propuesta para modificar el sistema de nomenclatura de Ernst, Forckel y Gehlen basada en la importancia de los componentes secundarios en las arcillas cerámicas. Esta propuesta es una solución intermedia entre las dos mencionadas y mantiene que para conocer el comportamiento cerámico de la materia prima arcillosa, no es necesario indicar las especies minerales en cada grupo, pero sí

indicar la presencia y contenido de algunos grupos minerales, - aún cuando su contenido sea inferior al 8%, ya que su presencia repercute en las propiedades cerámicas. Los grupos de minerales y el contenido mínimo que se debe indicar, son:

Montmorillonita	1%
Minerales con capas mixtas.	2%
Feldespatos	3%
Minerales de hierro	3%

Siguiendo este sistema modificado, el caolín de Burela, mencionado más arriba, se describiría de la siguiente forma:

K(72) Q(14) I(11) Caolín cerámica

Este sistema de nomenclatura, aún no siendo un sistema de clasificación, se ha descrito brevemente por el interés que tiene la descripción mineralógica para el conocimiento de las materias primas arcillosas. El sistema es realmente simple y fácil de aplicar en cualquier estudio sistemático que abarque zonas extensas.

5.- GRANDES GRUPOS DE ARCILLAS ATENDIENDO A SUS CARACTERISTICAS  
INTRINSECAS.-

En el apartado anterior se mencionaron algunas de las clasificaciones existentes de arcillas. De ninguna de ellas se puede decir que su empleo sea aceptado y adoptado universalmente ya que los fines para los que se han construido son diversos. Sin embargo se pueden definir unos grandes grupos de materias primas arcillosas que dan origen a una terminología empleada usualmente por los productores y consumidores. Estos grandes grupos de arcillas pueden sufrir, y de hecho sufren, variaciones según los países o regiones.

En los números siguientes se describirán los materiales que comprenden los mencionados grandes grupos y se indicarán, cuando sea posible, los márgenes de variación de las principales características ya que cada grupo puede comprender numerosas calidades dependientes del uso concreto a que van destinadas.

Algunas de las materias primas cerámicas que se describirán encajan en la siguiente clasificación de arcillas cerámicas:

Arcillas cerámicas	{ Arcillas cerámicas de cocción blanca.	{ caolín
		{ ball-clay
	{ Arcillas cerámicas de cocción no blanca (ce- rámica roja).	{ arcillas refractarias (pueden cocer blanco)
		{ arcillas para ladrillos

### 5.1. CAOLIN

El término caolín puede utilizarse refiriéndose a dos conceptos distintos. Esto es:

- como roca o producto natural que sometido a un proceso de beneficio -en algunos casos muy simple- permite obtener una arcilla comercial.
- como producto comercial o materia prima utilizada por la industria.

Bajo el primer punto de vista una de las definiciones más ampliamente aceptadas es la de Ross y Kerr:

"Se entiende por caolín la roca masiva compuesta esencialmente por materiales arcillosos con bajo contenido en hierro y generalmente de color blanco o casi blanco. Las arcillas del caolín son silicatos hidratados de aluminio de composición aproximada  $2 \text{H}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2$  y se considera que si -- otras bases están presentes representan impurezas o materiales adsorbidos. La caolinita es el mineral que caracteriza a la mayor parte de los caolines, pero la caolinita y otros minerales del grupo pueden presentarse con mayor o menor grado en las arcillas y otras rocas demasiado heterogéneas para poder ser denominadas caolín".

Ninguna de las definiciones actualmente existentes de esta roca satisface plenamente y prueba de ello es que se siga discutiendo el tema en reuniones internacionales. La tendencia actual es adoptar una definición muy amplia; así en el Kaolin Symposium celebrado en Madrid en 1972 se acordó la siguiente definición:

"El caolín es una roca caracterizada por un contendo aprovechable de minerales del caolín"

La propuesta presentada por la representación española en el 3er Symposium de Caolines del Mundo (Exeter 1974) fue la siguiente:

"El caolín es una roca residual (actualmente "in situ" o transportada), blanca o ligeramente coloreada, con más del 15% de material arcilloso (< 20 micras), fundamentalmente caolinítica, derivada de la alteración química de minerales petrográficos, esencialmente feldespatos".

Estas definiciones del caolín tan amplias comprenden una serie de productos, comercializables prácticamente en su estado natural, que normalmente se conocen con otro nombre. Quizás sería oportuno no intentar definir las rocas (menas) que ya bien naturalmente o a través de un proceso de concentración, permiten obtener un producto mineral vendible y, por el contrario, definir con precisión los grandes grupos de productos comérciales.

Una buena definición del caolín, considerándolo como un producto comercial o materia prima mineral, es la utilizada por S.H. Patterson y H.H. Murray:

"Caolín es una arcilla constituida fundamentalmente por caolinita pura, o minerales del grupo, que en su estado natural o beneficiada es blanca o casi blanca, que cuece blanco o casi blanco y que puede beneficiarse por métodos conocidos para hacerla utilizable en cerámica blanca, papel, caucho, pinturas y usos similares".

El término caolín, desde el punto de vista de producto comercial, es equivalente al de Kaolin de los americanos e ingleses, y al de China Clay de estos últimos que lo aplican preferentemente a los caolines procedentes de Cornwall y Devon.

### 5.2. BALL CLAYS O ARCILLAS PLASTICAS PARA CERAMICA BLANCA.

El término ball clay se aplicó originalmente a unas arcillas sedimentarias de cocción blanca y extremadamente plásticas explotadas en Inglaterra (Devon y Dorset). La American Society for Testing and Materials define este tipo de arcillas como: "Arcilla secundaria comunmente caracterizada por la presencia de materia orgánica, elevada plasticidad, elevada resistencia en seco, amplio margen de vitrificación y color de cocción claro".

Las ball cláys son unas arcillas caoliníticas de alta plasticidad que podrían considerarse como una variedad de caolín, pero debido a que el término tiene un empleo muy difundido en el mercado y en las industrias cerámicas parece oportuno respetarlo y considerarlo equivalente al de arcillas plásticas de cocción blanca.

### 5.3. ARCILLAS REFRACTARIAS.

Dentro de este grupo de materias primas arcillosas se incluyen todas aquellas que por sus características de refractariedad se utilizan en la fabricación de productos con resistencia a altas temperaturas, propiedad intimamente ligada al contenido de alúmina.

Las arcillas refractarias tienen la particularidad

común de que no es necesario que su color de cocción sea blanco, lo que las distingue de los caolines y ball clays. Estas realmente también son arcillas refractarias si bien en muchas de sus aplicaciones industriales no se utilizan directamente sus propiedades refractarias. Es habitual añadir la calificación de refractario al colín o ball clay cuando estas se utilizan con fines refractarios.

El término arcilla refractaria es equivalente a refractory clay y a fire clay si bien existe la tendencia, en los países anglosajones, de denominar fire clay a las asociadas a capas de carbón y aplicar el término de refractory clay al resto y especialmente a las altamente aluminosas.

Las arcillas refractarias son de origen sedimentario o residual y tienen un CPE no inferior a 15. La American Ceramic Society recomienda que se denominen arcillas de baja refractariedad las que tengan un CPE igual o menor a 26 y refractarias las que tengan un CPE igual o superior a 27. Estas arcillas tienen unas características de plasticidad y demás propiedades físicas muy variables.

También dentro de este grupo de arcillas refractarias existen una serie de términos frecuentemente utilizados:

- Arcilla bauxítica. Es una arcilla que consiste en una mezcla de minerales bauxíticos, tales como la gibsita y el diasporo, con minerales arcilloso. La proporción de minerales bauxíticos considerada por la American Ceramic Society ha de ser inferior al 50% ya que en caso contrario sería una bauxita arcillosa.



- Burley clay. Arcilla que contiene granos, oolitos o nódulos que pueden tener un alto contenido en alúmina o en óxido férrico. Presentan un alto contenido en diasporo que se traduce en un contenido de alúmina del 45-65%.
- Arcilla de diasporo. Es una arcilla que normalmente tiene un contenido en alúmina superior al 60%. Puede estar presente algo de gibsita o cliachita.
- Flint clay (arcilla magra). Es una arcilla con alto poder refractario, dura, masiva, densa, con fractura concoidea. Es difícil mojarla y tiene escasa plasticidad en las condiciones normales de trabajo. Está constituida por caolinita muy bien cristalizada y con tamaños de partícula extremadamente pequeños, en ocasiones llevan como agentes cementantes geles de sílice o alúmina.

En Estados Unidos las arcillas refractarias se suelen clasificar comercialmente en:

- . Plásticas (CPE Orton 26-30)
- . Semiflint. Son semejantes a las arcillas refractarias plásticas pero solamente desarrollan plasticidad después de trabajadas y son más refractarias (CPE 30-35).
- . Flint Duras de fractura concooidal y auténticamente refractarias (CPE 36-38).
- . Flint nodular. Contiene nódulos de gibsita u otros óxidos de aluminio hidratados. Muy refractarias.

Ries clasifica las arcillas refractarias en:

- . Alta refractariedad. Funden por encima del cono 33.
- . Refractarias. Funden entre los conos 31-33.
- . Semirefractarias. Funden entre los conos 27-30.
- . Baja refractariedad. Funden entre los conos 20-26.

#### 5.4. ARCILLAS PARA PRODUCTOS CERAMICOS ESTRUCTURALES (ARCILLAS PARA LADRILLOS).-

Este grupo de materias primas arcillosas es, sin --ninguna duda, el más indeterminado debido a que en el se incluyen arcillas de características muy heterogéneas utilizadas en un sector industrial cuyo abastecimiento de materias primas está condicionado a provenir de lugares próximos y con precios bajos. Esto hace que las industrias elaboradoras de productos cerámicos estructurales se situen (normalmente) junto a los centros de consumo y adapten el proceso de fabricación a las materias -primas disponibles en el lugar.

Las arcillas para productos cerámicos estructurales son sedimentarias y en su constitución están presentes, como minerales principales, caolinita desordenada, clorita e illita, - con cuarzo y materia orgánica. En estas arcillas la caolinita - se presenta en pequeña cantidad e incluso puede no existir. Debido a que no es bien conocida la composición de algunos de los minerales laminares de estas arcillas, en especial la clorita, es difícil calcular un análisis racional. Como impurezas suelen estar presentes cantidades variables de óxidos, carbonatos, sulfuros y materia orgánica.

### 5.5. ARCILLAS ESPECIALES.

La denominación de arcillas especiales adoptada en este estudio para definir el grupo de arcillas, que a continuación se describirán, no es la habitualmente utilizada. El motivo de emplearla es para agrupar una serie de arcillas comerciales compuestas por minerales arcillosos de dos grupos distintos -grupo de las esmectitas y grupo de las hormitas- y cuyos mercados están muy solapados ya que tienen propiedades parecidas y - su magnitud de participación en la industria es del mismo orden, siendo, en ocasiones, productos en competencia directa. Por otro lado, es también muy frecuente en la naturaleza que los yacimientos de estas arcillas sean mezclas muy íntimas de minerales de los mencionados grupos.

El estudio de este grupo de arcillas se ve complicado, además, por la profusión de nombres comerciales y/o significativos de su lugar de procedencia. En ocasiones también se añaden otros términos que indican características importantes de la arcilla.

Los minerales arcillosos de este grupo de materias primas arcillosas son, siguiendo las recomendaciones dadas por la AIPEA (Association Internationale pour l'Etude des Argiles) sobre nomenclatura y clasificación de los minerales de la arcilla:

- Grupo de las esmectitas, o grupo montmorillonita-saponita (minerales montmorilloníticos). Pertenecen a la clase general de silicatos laminares y son del tipo 2:1, es decir con una relación 2:1 de hojas de tetraedros y octaedros en la unidad estructural repetitiva. El grupo se define de --

acuerdo a la magnitud de la densidad de carga en la superficie de las capas. Los dos subgrupos que se consideran se definen de acuerdo a la naturaleza de la hoja de octaedros que puede ser: dioctaédrica (montmorillonita, beidelita, nontronita) y trioctaédrica (saponita, hectorita, etc).

- Grupo de las hormitas. Pertenecen a la clase general de silicatos en cadena y esencialmente del tipo 2:1. Minerales de este grupo son la sepiolita y la palygorskita (atapulgita).

La terminología habitualmente empleada en el mundo industrial se resume de una forma simplificada en el cuadro nº 9.

Cuadro nº 9.- NOMENCLATURA DE LAS ARCILLAS ESPECIALES.

GRUPO DE M ARCILLA	MINERAL PRINCIPAL	TERMINOS SINONIMOS	TERMINOS REGIONALES
Esmectitas	montnorillonita sódica.	bentonita sintética bentonita sódica bentonita hinchable bentonita activada sódica bentonita cambiada sódica	bentonita de Wyoming (US) bentonita Western (US) bentonita (UK)
	montmorillonita cálcica.	bentonita cálcica sub-bentonita bentonita no hinchable	bentonita Southern (US) bentonita de Texas (US) Fuller's Earth (UK) Tierra de Batan (E)
	montmorillonita de magnesio	saponita (piedra jabón)	
	montmorillonita de magnesio	Armargosita	
	montmorillonita potásica	Metabentonita	
	montmorillonita de magnesio y litio.	Hectorita	
Hormitas	Atapulgita	Palygorskita Lana de montaña etc	Fuller's Earth (US) Tierra de Batan (E)
	Sepiolita	Espuma de mar Lana de montaña etc.	
	Sepiolita sódica	Loughlinita	

A continuación se describirán las principales arcillas de estos grupos:

- Bentonita. Una de las mejores definiciones de la bentonita como mineral industrial es la realizada por R.E. Grim en la International Clay Conference (AIPEA) de Madrid en 1972. "La bentonita es una arcilla constituida esencialmente por minerales del grupo de las esmectitas (o grupo de la montmorillonita) sin tener en cuenta su origen o depósito". Sin embargo esta definición hace que en algunos casos, por poder estar constituida por varios minerales, no pueda diferenciarse de las fuller's earth.

Las bentonitas se pueden clasificar por su capacidad de hincharse al mojarse. Las sódicas tienen una capacidad de hinchamiento muy superior que las cálcicas, algunas de estas hinchan muy poco más que las arcillas comunes. Las bentonitas intermedias, esto es las sódico-cálcicas, tienen una capacidad de hinchamiento intermedia. Debido a que generalmente existe una relación entre la capacidad de cambio de cationes (ccc) y el hinchamiento es frecuente el clasificarlos en bentonitas muy hinchables o sódicas y poco hinchables o cálcicas. Entre las primeras también se incluyen las de litio y en las segundas las que llevan magnesio, potasio, hierro. Algunas de las arcillas no hinchables pueden ser activadas por medio de un tratamiento.

- Hectorita. Esta es una esmectita rica en magnesio y prácticamente sin aluminio pero con una elevada proporción de litio, que es un elemento que muy raramente se encuentra en minerales de este grupo. Esta arcilla tiene una alta capacidad de hinchamiento y se utiliza en campos especializados en pinturas, cosméticos, química e industrias de bebidas.
- Saponita. Esta arcilla esmectítica se ha introducido recientemente en el mercado de lodos de sondeo. Tiene unas propiedades físicas parecidas a la bentonita entre las que hay que destacar su alto rendimiento (yield point). Su alto contenido en magnesio se traduce en una baja capacidad de cambio, una gran tolerancia de electrolitos y una gran estabilidad térmica.
- Metabentonita o bentonita potásica. Esta esmectita contiene una elevada proporción de potasio y generalmente va acompañada de illita.
- Fuller's Earth o tierra de Batan es un término antiguo que hoy día se utiliza como cajón de sastre para englobar a las arcillas u otros materiales terrosos finos utilizados como decolorantes, absorbentes y otros usos. El término no tiene significado mineralógico ni composicional. Actualmente cuando se aplica el nombre fuller's earth en el procesado de petróleo tiene el mismo significado que "arcillas naturales activas". Se denominan -

"arcillas activadas" a las arcillas y fuller's - earth tratadas con ácido o por otro procedimiento con el fin de alterar o mejorar sus propiedades. Los términos "arcilla decolorante" y "tierra decolorante" se aplican a las arcillas activas o activadas e incluyen a la bauxita activada. Tanto las arcillas naturalmente activas como las activadas también se engloban en el término "arcillas absorbentes" por lo que tiene casi el mismo significado que el de arcillas decolorantes.

- Palygorskita o, como es más frecuentemente denominada en los círculos comerciales, atapulgita. Es un silicato de aluminio y magnesio hidratado del grupo de las hormitas. Su estructura fibrosa le confiere unas propiedades coloidales y de absorción poco usuales que la hacen utilizable en un gran número de aplicaciones industriales. Las calidades absorbentes se emplean en decoloración y clarificación, en absorbentes, en portadores de pesticidas etc. Las calidades coloidales se utilizan como formadores de gel, estabilizadores y agentes tixotrópicos en pinturas, adhesivos, selladores, fluidos de perforación, etc.
- Sepiolita. Es un mineral parecido a la atapulgita, del grupo de las hormitas, con una celda unidad ligeramente mayor, siendo las fibras individuales un 30% más anchas. La sepiolita tiene un gran campo de aplicación como lodo de perforación en especial cuando se trabaja a altas temperatu-



ras como es el caso de los sondeos geotérmicos - con fluidos a temperaturas del orden de 250°C, - aún en estas condiciones los lodos de sepiolita no resultan, relativamente, afectados por la presencia de electrolitos. La atapulgita se emplea en fluidos de perforación como salmueras saturadas o lodos a base del cloruro potásico. La sustitución de la atapulgita por sepiolita en estos sistemas proporciona varias ventajas: mayor duación de las características de viscosidad, menores costes, mayor compatibilidad con los siste--mas de lodos existentes, etc.

## 5.6. COMPARACION ENTRE LAS CARACTERISTICAS INTRINSECAS DE LOS GRANDES GRUPOS DE ARCILLAS

### 5.6.1. Composición mineralógica.-

- CAOLIN: El caolín comercial está constituido - fundamentalmente por caolinita, dependiendo su contenido de - los métodos de beneficio empleados para obtener el producto. - El contenido en caolinita suele ser del orden del 80-95% con un 5-10% de mica. El resto está constituido por cuarzo, óxidos y trazas de montmorillonita. Normalmente, cuanto mayor es el contenido en fracciones finas en el caolín lavado mayor es el contenido en caolinita.

- BALL CLAYS: El mineral principal de estas arcillas es la caolinita con diversos grados de desorden. Como impurezas llevan cuarzo, illitas (del orden del 10%) montmorillonitas (del orden del 5%), materia orgánica (puede sobrepasar - el 15%) y óxidos de hierro y titanio.

- ARCILLAS REFRACTARIAS: La amplia gama de arcillas refractarias deben sus diferencias básicas a las proporciones relativas de minerales arcillosos (caolinita con diversos grados de desorden, illita, montmorillonita, halloisita y diquita) hidróxidos de aluminio (gibsita, boemita, diásporo y cliaquita) además de cuarzo, sílice coloidal, óxidos de hierro y titanio, carbonatos de calcio, magnesio y hierro, piritita y materia orgánica.

- ARCILLAS PARA PRODUCTOS CERAMICOS ESTRUCTURALES (ARCILLAS PARA LADRILLOS): Los principales minerales presentes en este tipo de arcillas son caolinita desordenada, clorita y fundamentalmente illita. Acompañan como impurezas, diversos óxidos, carbonatos, sulfuros, materia orgánica, etc, en proporciones que pueden llegar a ser importantes.

- ARCILLAS ESPECIALES: Están constituidas fundamentalmente por minerales arcillosos del grupo de la esmectita (montmorillonita) y de la hormita en cantidades y proporciones muy variables. Además las materias primas utilizadas por la industria presentan diversos grados de pureza, calidad, valor comercial, etc.

Las bentonitas naturales tienen diversas proporciones de los distintos minerales del grupo de la esmectita pudiéndose considerar:

- . bentonitas sódicas
- . bentonitas cálcicas
- . bentonitas intermedias
- . bentonitas con mezcla de varios minerales del grupo.
- . bentonitas de magnesio, litio, potasio, etc (poco frecuentes).

La proporción de minerales arcillosos es muy variable, en las bentonitas comerciales suele ser del orden del 90 - al 95%. El resto está constituido por feldespatos, carbonato cálcico, cuarzo, yeso, etc.

Las tierras de batan suelen ser mezclas de minerales de los grupos de la esmectita y de la hormita, pudiendo, en algunos casos, existir únicamente minerales de un grupo de los citados. Acompañan a estos diversas proporciones de carbonato cálcico (puede variar de trazas hasta el 30%), óxidos de hierro, magnesia, álcalis, apatito, piritas, etc.

Las atapulgitas comerciales contienen un 70-80% de atapulgita y proporciones variables -hasta un 15%- de otros minerales arcillosos (sepiolita, montmorillonita, etc). El contenido en sílice libre puede alcanzar el 30% mientras que el de carbonatos de calcio y magnesio suele ser del orden del 5%.

Con la sepiolita ocurre prácticamente lo mismo que con la atapulgita con la diferencia de que el mineral principal es la sepiolita.

### 5.6.2. Composición química.--

Aunque el análisis químico no permite una evaluación completa de la composición mineralógica y de las propiedades tecnológicas de las arcillas, sí ofrece, en cambio, datos que son de gran utilidad industrial y científica.

Las determinaciones más usuales que se realizan son : Humedad, Pérdidas al fuego,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , --  $\text{FeO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ , Materia orgánica y, excepcionalmente,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Li}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{Ni}$  y  $\text{Zn}$ .

Humedad : Las arcillas contienen una cantidad variable de humedad que hace necesario referir los resultados del análisis al material seco, normalmente a los  $105^\circ$  ó  $110^\circ$  C. A esta temperatura, sin embargo, las arcillas de naturaleza montmorillonita, sepiolítica o paligorquítica no pierden todo el agua intercalada entre las láminas ni la de coordinación, así como -- tampoco la absorbida entre los poros estructurales (agua zeolítica), siendo necesarias temperaturas de hasta  $200^\circ$  C, e incluso  $250^\circ$  C, para obtener un peso constante.

Otro tipo de humedad que acostumbra a determinarse en las arcillas es el agua higroscópica, que es la humedad que la arcilla adquiere en equilibrio con ambientes saturados de vapor de agua a temperaturas entre  $15^\circ$  C y  $25^\circ$  C; en esas condiciones las arcillas caoliníticas y haloisíticas presentan hasta un 5 % y las montmorilloníticas hasta un 30 % de humedad higroscópica.

Pérdidas al fuego o por calcinación : Las pérdidas al fuego, que se determinan a temperaturas de 1000° C ó 1100° C, son --- principalmente debidas al agua intercalada, de coordinación y zeolítica, al agua de los hidróxidos de los minerales arcillosos y de los hidróxidos Al (OH)<sub>3</sub>, Fe (OH)<sub>3</sub>, etc., que puedan existir en la arcilla y a los componentes volátiles de descomposición de materia orgánica, silfitos, sulfatos y carbonatos.

SiO<sub>2</sub> : El contenido de SiO<sub>2</sub> es debido a los silicatos y la sílice libre. Los silicatos son los minerales arcillosos, las micas y los feldespatos; la sílice libre puede presentarse en -- forma cristalina (cuarzo), amorfa (ópalo), criptocristalinas (ágata y calcedonia) o ácidos silícicos amorfos.

En las arcillas residuales, la sílice libre es de bida principalmente al cuarzo macroscópico, constituyente común de las rocas ígneas; en las arcillas sedimentarias, además del cuarzo se pueden encontrar formas amorfas y criptocristalinas de sílice.

Las arcillas ricas en fundentes (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO, CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O y K<sub>2</sub>O) y en sílice libre, tienen un punto de fusión más alto en comparación con las arcillas de la misma composición química, pero en las que la sílice está en forma combinada. En las arcillas altamente aluminosas y con pocos fundentes, la sílice libre tiende a reducir la refractariedad, además de producir efectos nocivos debido a los cambios de fase cristalina de la sílice con la temperatura.

$\text{Al}_2\text{O}_3$  : El aluminio existente en las arcillas está en su mayor parte combinado, formando los minerales arcillosos. Algunas arcillas presentan contenidos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  superiores incluso al de la caolinita teórica (39,8 %), debido a sus contenidos en boemita, gibsita, diasporo o clianquita (hidróxido de aluminio amorfo). Las arcillas ricas en caolinita tienen unos contenidos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  superiores a las arcillas alíticas y montmorilloníticas; por ser la caolinita el mineral arcilloso más rico en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  es el constituyente esencial de las arcillas refractarias, pues la alúmina eleva el punto de fusión de los materiales.

$\text{TiO}_2$  : El óxido de titanio aparece en casi todas las arcillas, siendo el rutilo, anatasa, brookita, ilmenita, etc., los minerales más comunes. La ilmenita figura en la serie establecida por Pettijohn como uno de los más resistentes al intemperismo y su presencia en las arcillas indica, generalmente, un origen sedimentario para las mismas. El rutilo tiene un comportamiento semejante, siendo frecuente en las arcillas sedimentarias, en especial en las arcillas refractarias y caolines sedimentarios. De todo ello se deduce que las arcillas sedimentarias -- tienen unos contenidos en  $\text{TiO}_2$  más elevados que las residuales.

Para contenidos de  $\text{TiO}_2$  inferiores al 1 % las propiedades tecnológicas de las arcillas no sufren prácticamente alteración (Wilder y Dodd, 1953). En estos casos la acción del  $\text{TiO}_2$  se puede considerar como aditiva a la del  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , sin embargo, para porcentajes mayores esto no resulta tan exacto pues entre otros efectos los colores grisáceos que presentan algunas arcillas cocidas empleadas en cerámica blanca se deben a la presencia de  $\text{TiO}_2$  en cantidades apreciables.

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y FeO : Los minerales de hierro que con más frecuencia se encuentran en las arcillas son la magnetita, hematita, limonita, lépidocroita, geotita y piritita, cuyos efectos se hacen sentir en las alteraciones de color que tienen lugar en la arcilla cocida y en la reducción de la refractariedad. Porcentajes superiores - al 1 % de óxidos de hierro dan coloración a la arcilla cocida, - coloración que va siendo más intensa cuanto mayor es el porcentaje. Sin embargo, no siempre existe una proporcionalidad entre el color y el contenido en óxidos detectado en el análisis químico, pues parte de ese hierro puede estar introducido en el retículo cristalino de los minerales arcillosos, como ocurre en las arcillas ilíticas o nontroníticas que al vitrificarse durante la cocción adquieren colores rojos de tonalidades vivas y brillantes, muy interesantes en ciertos productos (ladrillos de piso, tejas), o colores oscuros cuando la cocción ocurre en atmósfera reductora. Este tipo de coloración suele ser más uniforme que la que se produce cuando el hierro se encuentran en forma de óxidos e hidróxidos, citados al principio, debido a una peor distribución de los mismos en la arcilla, lo que da lugar a zonas más intensamente coloreadas que otras y, por tanto, a un aspecto más indeseable de la pieza cerámica, lo que la inutiliza para ciertos --usos. En algunos casos este defecto puede quedar atenuado si gran parte del hierro se combina con otros componentes de la arcilla durante la formación del vidrio, mientras que en otros el problema se agrava, como cuando, por existir elevados porcentajes de hierro y bajos de sílice, se producen colores negruzcos como consecuencia de la formación de magnetita, sin apenas formación de vidrio en la cocción.

CaO y MgO : Los óxidos de calcio y magnesio son agentes fundentes y tienden a bajar el punto de fusión de las arcillas. Gene--

ralmente provienen de calcita, dolomita, yeso, plagioclasas, magnetita, serpentina, talco, etc. Las arcillas de naturaleza caolinitica, especialmente las refractarias, suelen tener escasos contenidos en estos óxidos, los cuales son más frecuentes en las arcillas montmorilloníticas o del grupo sepiolita-atapulgita, en las que el Ca, y especialmente el Mg, se encuentran además como cationes cambiables y en la estructura de estos minerales arcillosos.

Na<sub>2</sub>O y K<sub>2</sub>O : Los alcalís encontrados en las arcillas son, fundamentalmente, debidos a los feldespatos y micas, aunque se encuentran también, principalmente el K, en la red de los silicatos arcillosos del grupo de la illita.

Los alcalís tienen acción fundente y son, por tanto, indeseables en arcillas para refractarios.

Normalmente, el K<sub>2</sub>O es más abundante que el Na<sub>2</sub>O tanto por ser un constituyente común de la illita como por ser mayoritario en las impurezas minerales más resistentes a la alteración, como es el caso de las micas.

Materia orgánica : La materia orgánica contenida en muchas arcillas les confiere, por lo general, una plasticidad elevada, debido al hecho de que los ácidos húmicos obran como coloide protector hidrofílico de las partículas de los minerales arcillosos. También tiene un efecto positivo sobre la capacidad de cambio de cationes, puesto que 100 grs. de materia orgánica representan una capacidad de cambio de hasta 200 meq., capacidad que es incluso mayor que la de las montmorillonitas y vermiculitas. Su influencia en el color suele ser transitoria, pues si bien oscurece las



arcillas naturales, al cocerlas desaparece casi totalmente la coloración como consecuencia de su descomposición y posterior eliminación durante el proceso de cocción.

A continuación se hace una descripción de la composición química de los distintos tipos de arcillas.

- CAOLIN. Próxima a la de la caolinita pura - (39,5 % de  $Al_2O_3$ ; 46,5 % de  $SiO_2$ ; 14 %  $H_2O$ ) dependiendo de la eficiencia del proceso de beneficio. El contenido total de álcalis es inferior al 2 % y el de hierro (expresado en  $Fe_2O_3$ ) suele estar comprendido entre el 0,5 y 1,2 %. Suelen estar exentos de materia orgánica.

- BALL CLAYS. Los márgenes de variación de la composición química de este tipo de arcillas son los siguientes :

$SiO_2$	40-60 %
$Al_2O_3$	25-40 %
$Fe_2O_3$	0,25-4,0 %
$Na_2O$	0-0,75 %
$K_2O$	0,5-4,0 %

Si se incluyen las ball-cláys silíceas el contenido en  $SiO_2$  puede alcanzar el 80 % mientras que el de  $Al_2O_3$  -- desciende hasta el 15 %. Si se sobrepasan estos límites se debe considerar que el producto en cuestión no es una arcilla.

- ARCILLAS REFRACTARIAS. La característica fundamental que se persigue en estas arcillas es su refractariedad, directamente relacionada con su contenido en alúmina - como fac-

tor positivo - y el de fundentes - como factor negativo -. Por otro lado, los productos fabricados con estas arcillas cubren una amplia gama de refractariedad en función del uso a que son destinados. Es por ello que se emplea una gran variedad de arcillas con refractariedades diferentes, pudiéndose considerar :

- Arcillas refractarias propiamente dichas son las que el contenido en alúmina es debido, esencialmente, a los minerales arcillosos y, por lo tanto, pueden alcanzar un máximo de alúmina próximo al de la caolinita (39,5 %).- Estas arcillas tienen un contenido en alúmina que oscila entre el 12 % y el 38 %, la sílice puede variar entre el 45 % y el 81 %. Las arcillas refractarias de buena calidad tienen un contenido en álcalis menor del 1 % aunque en algunos casos se puede admitir hasta un 4 %.- El contenido en hierro ha de ser bajo por sus caracte--rísticas fundentes, si bien no tiene la repercusión que tiene en cerámica blanca, ya que en refractarios el color de cocido no es importante. Se suelen utilizar arcillas con menos del 2-2,5 % de  $Fe_2O_3$ , aunque en algunos casos también se emplean arcillas con un contenido superior en hierro.

- Arcillas de alta refractariedad son las que tienen un contenido en alúmina superior al 39,5 % debido a la presencia, en mayor o menor cuantía, de minerales bauxíticos. Entre estas arcillas cabe destacar :

Arcilla bauxítica, contenido en minerales bauxíticos menor del 50 %.

Bauxita arcillosa, contenido en minerales bauxíticos mayor del 50 %.

Arcillas burley, contenido en alúmina comprendido entre 45 y 65 %.

Arcilla de diasporo, contenido en alúmina superior al 60 %.

- ARCILLAS PARA PRODUCTOS CERAMICOS ESTRUCTURALES (ARCILLAS PARA LADRILLOS). El uso a que va destinado este tipo de arcillas es mucho menos exigente que los relativos en los campos de los refractarios o cerámica blanca. Se utilizan arcillas con un amplio margen de variación en su composición, debiéndose mantener las características de cocer a una temperatura relativamente baja. Esto supone un bajo contenido en alúmina, que se sitúa entre un 12 y un 20 %, aunque en algunos casos se utilizan arcillas con un contenido en alúmina con alguna unidad más. El contenido en sílice varía entre un 40 y un 80 %.

Como impurezas llevan diversas cantidades de -- óxidos carbonatos, sulfatos, materia orgánica (reduce las necesidades de combustible en la cochura) etc. Estas arcillas pueden tener contenidos altos en hierro, que alcanzan el 9 % de --  $Fe_2O_3$ ; ya que, incluso, en muchos casos se exige que los productos fabricados con estas arcillas estén coloreados.

Este tipo de arcillas admite también contenidos altos en carbonato cálcico (en algunos casos se añade a las pastas) finamente dividido. Este componente produce un efecto decolorante.

- ARCILLAS ESPECIALES. La composición química de estas arcillas es muy variable. En el cuadro nº 10 se indican unas composiciones orientativas de arcillas de este grupo.

Cuadro nº 10.- COMPOSICION QUIMICA DE VARIAS ARCILLAS ESPECIALS.-

Sustancia	Bentonita sódica	Bentonita cálcica	Atapulgita	Sepiolita
SiO <sub>2</sub>	64,0	59,1	69,0	60,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,0	19,7	12,0	0,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,5	5,9	2,0	0,3
MgO	2,3	5,5	12,0	27,0
CaO	0,5	1,7	3,0	-
Na <sub>2</sub> O	2,6	0,2	0,5	trazas
K <sub>2</sub> O	0,4	0,2	-	trazas
Otros	0,5	0,1	1,5	0,5
n H <sub>2</sub> O	5,2	7,6	-	12,0
unidad: %				

5.6.3. Granulometría.-

- CAOLIN. El caolín comercial está constituido esencialmente por caolinita pura y ésta está prácticamente ausente en tamaños de grano superiores a las  $60 \mu$  m. El caolín de calidad no debe contener partículas de tamaños superiores a las  $20 \mu$  m. Las diversas utilizaciones de estas arcillas exigen que el rechazo a mallas de 50 o  $44 \mu$  m (300 y 325 mesh respectivamente) sea menor del 0,1%, y que el contenido mínimo en partículas inferiores a  $2 \mu$  m sea del orden del 40-50% en las aplicaciones cerámicas y del 45-80% en la industria del papel.

- BALL-CLAYS. Estas arcillas tienen un tamaño de partícula extremadamente pequeño de tal forma que entre el 75 y el 80% del material es inferior a  $1 \mu$  m. En el cuadro nº 11 se indica la distribución granulométrica de tres ball clays inglesas típicas.

Cuadro nº 11.- DISTRIBUCION GRANULOMETRICA DE BALL CLAYS INGLESAS

Procedencia % de material en cada intervalo granulométrico en  $\mu$  m

	0,05	0,05- 0,10	0,10- 0,25	0,25- 0,50	0,50- 0,75	0,75 1,00	Total
North Devon	12,0	15,4	24,3	12,5	5,5	4,7	74,4
South Devon	9,6	15,7	29,2	17,9	5,8	3,7	81,9
Dorset	15,7	19,5	24,7	13,1	5,2	2,9	81,1

- ARCILLAS REFRACTARIAS. El tamaño de partícula de estas arcillas es del mismo orden o algo superior al de los caolines. A título orientativo se indican en el cuadro nº 12 los márgenes de variación de la distribución granulométrica de arcillas refractarias inglesas.

Cuadro nº 12.- INTERVALOS DE VARIACION DE LA DISTRIBUCION GRANULOMETRICA DE ARCILLAS REFRACTARIAS INGLESAS.-

<u>TAMAÑO DE PARTICULA</u>	<u>MATERIAL</u>
$\mu$ m	%
0,1	4-12
0,1 - 2,0	9-83
2,0 - 5,0	8-35
5,0 -10,0	0-28
10,0 -25,0	0-31

- ARCILLAS PARA PRODUCTOS CERAMICOS ESTRUCTURALES (ARCILLAS PARA LADRILLOS). Las arcillas de este grupo suelen tener por lo menos un 25% de partículas menores de  $2\mu$  m. Las partículas de tamaños superiores constituyen fundamentalmente las impurezas tan abundantes en estas arcillas.

- ARCILLAS ESPECIALES. En las especificaciones industriales de las arcillas de este grupo normalmente se hace referencia al tamaño de partícula 0,074 m m (malla (200)). Así para su utilización en arenas de moldeo el 75% de las partículas ha de ser inferior a ese tamaño, mientras que en lodos de perforación se exige que ese porcentaje sea el 97%.

#### 5.6.4. Color de la arcilla cocida.-

Esta característica, así como otras que se mencionarán más adelante, tiene una importancia fundamental en la utilización de la arcilla con fines cerámicos. El color en crudo, esto es el de la arcilla seca sin ser sometida a tratamiento térmico, no tiene porque guardar relación alguna con el que presenta la arcilla después de cocida, que depende incluso de la temperatura a la que se ha realizado la cocción. Este color está relacionado con el contenido en óxidos metálicos ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ) que en cantidades similares pueden no tener incidencia en utilidades no cerámicas (cuadro nº 13).

- CAOLIN. Ya en la definición de este material se incluye que son arcillas que en su estado natural son blancas. A  $950^\circ\text{C}$  presentan color blanco, rosado o crema. A  $1250^\circ\text{C}$ , temperatura usual en la cerámica blanca, deben presentar un color blanco rosáceo, gris o crema, lo más claro posible para que no afecten desfavorablemente al vidriado de las piezas. A  $1450^\circ\text{C}$ , temperatura de fabricación de la porcelana dura, deben presentar también colores claros como a  $1250^\circ\text{C}$ . En ocasiones a  $1450^\circ$  adquieren color gris oscuro a marrón debido al contenido en óxidos o bien fundir total o parcialmente debido a la presencia de feldespato no descompuesto, en ambos casos, solamente se puede emplear en usos que no requieran una temperatura de cocido superior a los  $1300^\circ\text{C}$  como son el material sanitario.

- BALL CLAYS. Cocidas a  $950^\circ\text{C}$  presentan colores blanco, rosado o crema. A  $1250^\circ\text{C}$  presentan colores claros, generalmente blanco, rosa o crema claro y raramente gris. A  $1450^\circ\text{C}$  oscurecen tendiendo a colores grises o marrón. Las ricas en potasio pueden vitrificar totalmente a  $1250^\circ\text{C}$  y fundir a  $1450^\circ\text{C}$ .

La vitrificación a 1250°C también puede ser debida tener un tamaño de partícula excepcionalmente fino pero en este caso no funden a 1450°C y pueden ser utilizadas como material refractario.

- ARCILLAS REFRACTARIAS. Cocidas a 950°C y 1250°C presentan colores claros y a 1450°C colores que varían de marrón claro a marrón oscuro. Como característica adicional, las probetas cocidas a 1450°C no presentan alteración de su forma externa manteniéndose las aristas vivas. Pueden aparecer alabeos, etc. debido a la contracción producida por la sinterización.

- ARCILLAS PARA PRODUCTOS CERAMICOS ESTRUCTURALES (ARCILLAS PARA LADRILLOS). En la naturaleza se presentan con colores negros, rojos, marrones, amarillos o verdosos. Cocidas a 950°C presentan color rojo, que pasa a marrón o negro a 1250°C presentando características de "over firing" (a) cambio brusco de color rojo a marrón oscuro o negro; b) aparecen burbujas internas o superficiales; c) las probetas se adhieren y no pueden separarse; d) hinchamiento o expansión debido a la formación de burbujas internas (bloating); e) fusión parcial de las aristas o fusión total). A 1450°C generalmente no funden totalmente con colores marrón a negro.

El color de cocido de estas arcillas se debe principalmente a los óxidos de hierro aunque puede ser sensiblemente modificado por la presencia de otros constituyentes. En una cocción normal el hierro se presenta en forma de  $Fe_2O_3$  que confiere a la arcilla cocida colores rojos y amarillos. Si la cocción se realiza en condiciones reductoras se forman compuestos ferrosos o  $Fe_3O_4$  produciendo colores azules u oscuros.



ros. Con temperaturas del orden de los 1300° C el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  se disocia en  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  y oxígeno, produciendo colores oscuros, a no ser que se oxide durante el enfriamiento. También influyen en el color el tamaño de grano, el grado de mezclado, otros componentes y la temperatura.

Las arcillas con un alto contenido en óxido de hierro (5-9 %), baja alúmina (10-22 %) y con una cantidad de cal despreciable, dan lugar a todos los matices de rojo, que dependen de la temperatura alcanzada en la cocción.

En las arcillas con un bajo contenido en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (1-3 %) y con una alúmina del orden del 25 % es muy patente el efecto de esta última que produce un color "ante" al enfriarse. El color es rosa a 500:730° C, rosa claro a 825° C y casi blanco a 1000° C. A 1100° C aparece un color amarillo-verde que adquiere la máxima intensidad a 1220° C y disminuye de nuevo a 1320° C, con un enfriamiento lento el color se vuelve castaño claro. El color "ante" es debido, posiblemente, a la formación de una solución sólida de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Con contenidos en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  inferiores al 1 % se alcanzan los colores rosa o blanco a temperaturas inferiores mientras que los crema exigen mayores temperaturas que en el caso precedente (1-3 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

En las arcillas con un alto contenido en carbonato cálcico, el CaO produce un intenso efecto decolorante de los rojos y marrones producidos por el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Con una relación CaO :  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  mayor que 2, se obtiene colores crema y amarillo claro, si este ratio está comprendido entre 1,5 y 1,8 se producen colores amarillos en ambiente ligeramente reductor, si el ambiente es oxidante, se obtienen colores rosados o rojos. La

acción blanqueadora del CaO se inhibe en presencia de anhídridos de azufre, formándose  $SO_4Ca$ .

- ARCILLAS ESPECIALES. La secuencia de colores que se obtiene al cocer este tipo de arcillas es muy parecida a la de las arcillas para ladrillos : rojos a  $950^{\circ} C$ , marrón o negro a  $1250^{\circ} C$  y negro y marrón a  $1450^{\circ} C$ , generalmente fundidas.

Cuadro nº 13. COLOR DE LAS ARCILLAS COCIDAS

TIPO DE ARCILLA	COLORES DE LAS ARCILLAS COCIDAS		
	950°C	1250°C	1450°C
Caolín	blanco, rosa, crema	blanco rosado, gris, crema	blanco, colores claros
Ball clay	blanco, rosa, crema	blanco, rosa, crema claro, y raramente gris	gris, marron
A. Refractarias	colores claros	colores claros	marron claro a oscuro
A. para Ladrillos	rojo	marrón o negro O.F.	funden. Negro, marrón
A. Especiales	rojo	marrón o negro	funden. Negro o marrón

O.F. Over firing

### 5.6.5. Plasticidad.-

La plasticidad es la propiedad por la cual un sistema se puede deformar por la aplicación de una fuerza y mantener esa deformación cuando cesa la aplicación de ese esfuerzo. El sistema arcilla más agua posee esta propiedad cuya aplicación es de vital importancia para la industria cerámica. Se mide por los límites de ATTERBERG: límite plástico, límite líquido, índice de plasticidad y límite de retracción.

El límite plástico  $P_w$  de una arcilla es la cantidad de agua, expresada como un porcentaje en peso de la arcilla seca a  $110^{\circ}\text{C}$ , de una masa de arcilla y agua por encima de la cual la masa se vuelve plástica pudiéndose arrollar en cilindros de 3-4 mm de diámetro y 15 cm de lado.

El límite líquido  $L_w$  de una arcilla es la cantidad de agua, expresada como un porcentaje en peso de la arcilla seca a  $110^{\circ}\text{C}$ , de un sistema arcilla mas agua por encima de la cual el sistema fluye como un líquido viscoso (resistencia a la compresión de  $0,03 \text{ kp/cm}^2$ ).

El índice de plasticidad  $P_i$  es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico

$$P_i = L_w - P_w$$

El límite de retracción  $SL$  indica el punto en el que cesa la variación dimensional de un sistema arcilla más agua al que se le está extrayendo esta última (secando). Se mide por el agua que tiene el sistema en ese punto expresado, como en los anteriores límites, como un porcentaje de agua referido a la arcilla seca. Este límite se relaciona con los lími-

tes plástico y líquido por la relación empírica:

$$SL = \frac{2,5 Lw + 45 Pw}{Lw - Pw + 45}$$

También se puede calcular el límite de retracción con el diagrama de CASAGRANDE (fig. nº 1) en el cual se representan en un diagrama cartesiano de ejes Límite líquido e Índice de plasticidad: (Lw, Pi):

- Recta  $Pi = Lw$  define el campo de validez del diagrama como es obvio solamente pueden ser reales los puntos situados por debajo de esta recta ( $Lw - Pw < Lw$ )
- Recta  $Pi = 0,90 (Lw - 8)$  define un límite superior experimental.
- Recta  $Pi = 0,73 (Lw - 20)$  separa las arcillas sin materia orgánica (por encima) de las que contienen algún coloide orgánico (generalmente por debajo).
- Recta  $Lw = 50$  separa, de un modo convencional, las arcillas de alta plasticidad (a la derecha) de las de baja o media plasticidad (a la izquierda).

Conocidos los límites plástico y líquido de una arcilla se puede situar en el diagrama de Casagrande y determinar su límite de retracción, todo lo cual suministra mucha información sobre el comportamiento de la arcilla. En la figu

ra nº 1 se ha representado un caso hipotético de una arcilla representada por el punto P, en el que

- OB = Lw máximo contenido teórico de agua en la elaboración.
- OC = Pw mínimo contenido teórico de agua para que la arcilla sea moldeable.
- CB intervalo de contenido en agua en el que debe ser mantenida la pasta durante su elaboración.
- A punto que indica el contenido de agua en la operación de moldeo (en este caso tomado arbitrariamente) necesariamente comprendido entre C y B.
- OA Cantidad de agua que hay que eliminar durante el secado y cocción. Cuanto menor sea OA menor es la cantidad de energía necesaria para realizar estos dos procesos.
- D Punto obtenido por la intersección del eje Lw con una recta que pasando por P es paralela a la recta  $P_i = 0,73 (Lw - 20)$  e indica de una forma aproximada el límite de retracción.
- AD Cuanto menor sea este segmento menor es la retracción de secado.
- CD Indica la cantidad mínima de agua de retracción que hay que eliminar durante el secado.

Prácticamente, se consideran valores aceptables del límite líquido los comprendidos entre 40 y 60%. También, las arcillas con un índice de plasticidad inferior a 10 son prácticamente inmoldeables, mientras que si es superior a 30 aparecen nume-

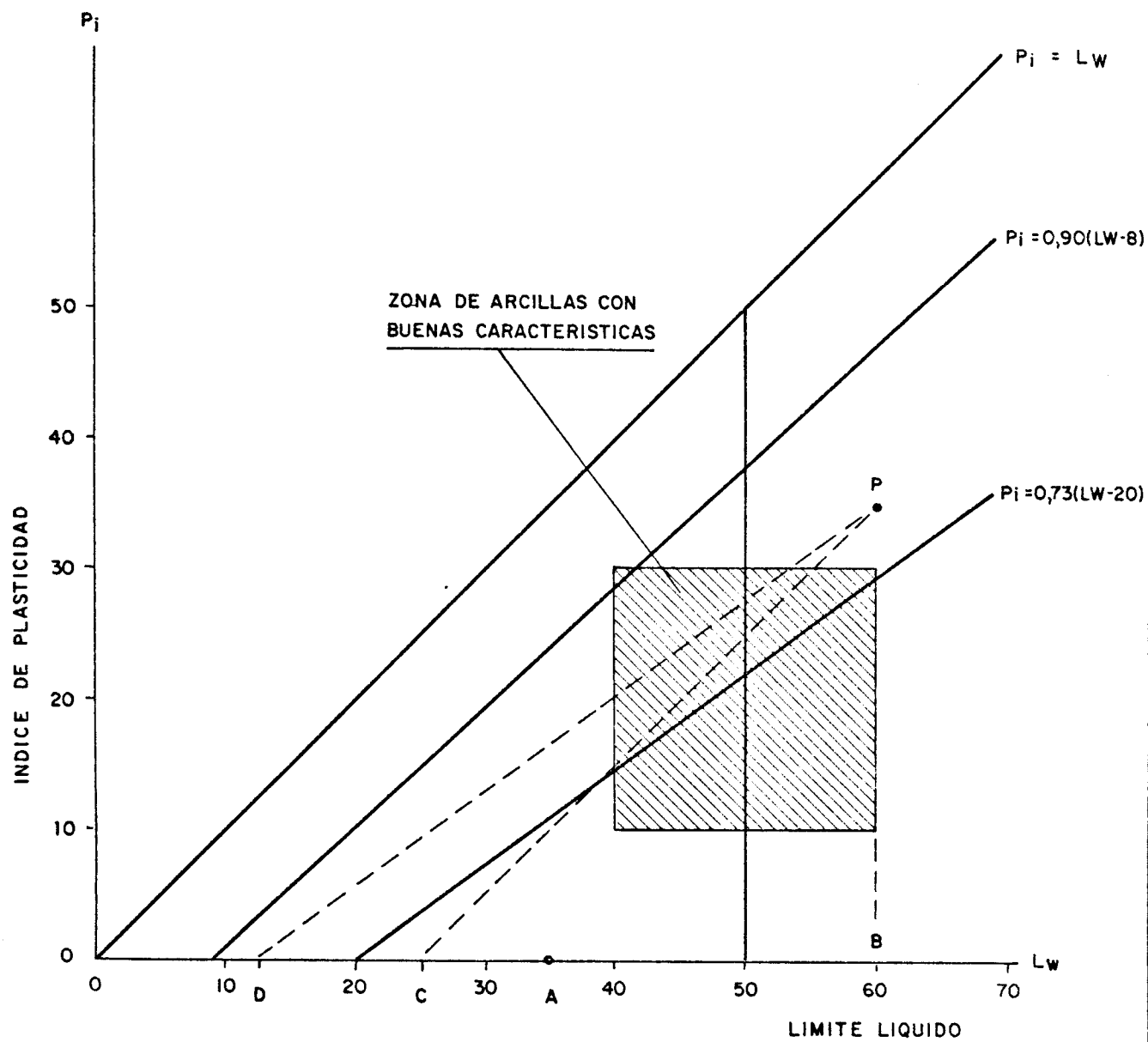


DIAGRAMA DE CASAGRANDE

Fig. 1

rosos defectos de secado. Estos cuatro valores determinan una zona (sombreada en la figura nº 1) en la que las arcillas presentan buenas condiciones de secado y moldeo.

En la figura nº 2 se indican las zonas que corresponden, según Casagrande, a distintos tipos de arcillas que, si bien no se corresponden exactamente a los considerados en este trabajo, son ilustrativos.

El punto A, anteriormente mencionado, define el - AGUA DE TRABAJO o AGUA DE PLASTICIDAD y se define como la cantidad de agua, expresada en porcentaje, necesaria para que - una arcilla adquiere suficiente plasticidad para ser moldeado por un determinado método (generalmente por extrusión) y que siempre estará comprendido entre el límite líquido y el plás-tico. En el cuadro nº 14 se indican intervalos de variación - del agua de trabajo para algunos minerales arcillosos según - WHITE.

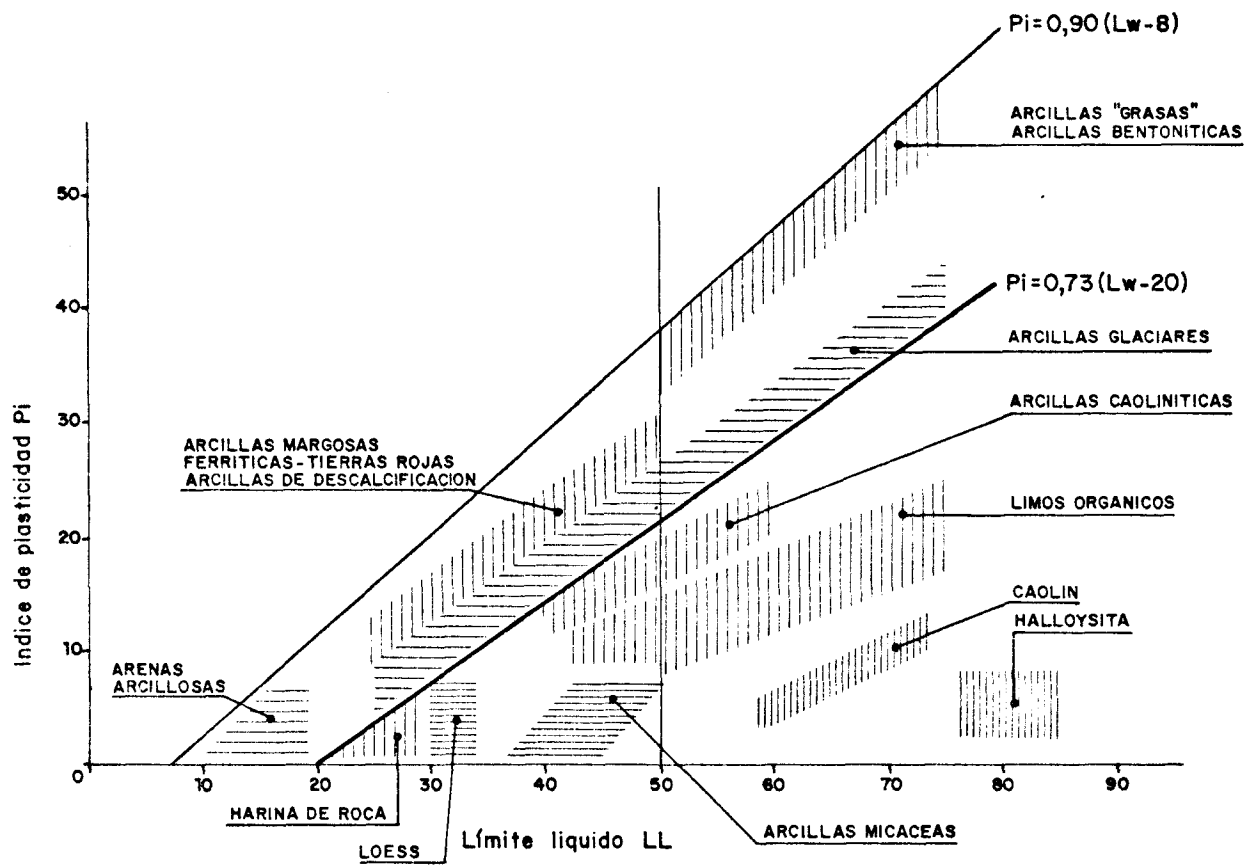
Cuadro nº 14. VARIACION DEL AGUA DE TRABAJO

<u>MINERAL</u>	<u>INTERVALO VARIACION AGUA DE TRABAJO %</u>
Caolinita	8,9 - 56,3
Illita	17,0 - 38,5
Montmorillonita	82,9 - 250,0

La plasticidad de los diferentes tipos de arci--llas varía de la siguiente forma

MAYOR PLASTICIDAD ——— MENOR PLASTICIDAD  
 Montmorillonita > Ball clay > Arcilla refractaria > Caolin





CARACTERISTICAS PLASTICAS DE DIFERENTES TIPOS DE ARCILLAS SEGUN CASAGRANDE.

Fig. 2

La mayor plasticidad de las ball-clays frente a los caolines es fundamentalmente debida al tamaño de partícula, que en las primeras es mucho menor. También contribuye a ello - el que la caolinita sea desordenada, así como la presencia de - illita y la materia orgánica. En las arcillas refractarias la - presencia de materia orgánica - a diferencia de lo que ocurre - en las ball-clays - no contribuye a la plasticidad.

#### 5.6.6. Capacidad de cambio de cationes.-

Todas las arcillas presentan, en mayor o menor grado, la propiedad de que cuando se introducen en la solución de un determinado electrolito se produce un intercambio de iones entre la arcillas y el electrolito de la siguiente forma :



El equilibrio de esta reacción se desplaza hacia un lado u otro dependiendo de :

- naturaleza de los iones X e Y
- concentración del electrolito
- naturaleza de la arcilla
- reacciones secundarias

Esta característica de los materiales arcillosos tiene una gran repercusión en sus propiedades físicoquímicas, las cuales pueden ser modificadas por este camino, incidiendo directamente en sus aplicaciones tecnológicas. Los iones que pueden ser cambiados pueden ser tanto orgánicos como inorgánicos, diferenciándose cuando se trata de iones positivos (capacidad de cambio -- de cationes c.c.c.) o de iones negativos (capacidad de cam-

bio de aniones c.c.a.). Ambos procesos son complicados y no están suficientemente conocidos, en especial el cambio aniónico.

El cambio catiónico puede ser debido, fundamentalmente, a las tres causas siguientes :

a) En minerales laminares, como los del grupo de la caolinita, los oxígenos e hidróxilos tienen sus valencias saturadas en las superficies planas de su estructura. No ocurre lo mismo en las aristas, donde las valencias del oxígeno, hidróxilo y silíceo están sin compensar, debido a la posibilidad de extenderse el retículo indefinidamente según el plano ab. Estos enlaces (broken bonds) se compensan con otros cationes que no forman parte de la estructura, pero que neutralizan eléctricamente a la partícula. Estos cationes son susceptibles de ser cambiados motivando esa capacidad de cambio, que crece de una forma inversamente proporcional al tamaño de las partículas. Se puede aumentar esta capacidad por una conminución.

b) En otros casos, como en las caolinitas desordenadas, gran parte de la capacidad de cambio de cationes es debida a la sustitución de iones del retículo por otros de menor valencia (silíceo por magnesio o aluminio) que causan un desequilibrio eléctrico, como en el caso anterior, compensado por otros cationes que confieren capacidad de cambio.

c) Una tercera causa es la ionización de los grupos hidróxilo, que produce un oxígeno cargado negativamente y un ión de hidrógeno, éste puede ser cambiado por otros cationes. Teniendo en cuenta sólo esto cabría esperar una fuerte dependencia de la capacidad de cambio con el pH, lo cual no es así.

La capacidad de cambio se puede medir experimentalmente: la arcilla se trata con ácido hasta conseguir el total reemplazamiento de los cationes por iones de hidrógeno, después se neutraliza una suspensión de la arcilla con sosa diluida. - Los miliequivalentes de sosa necesarios para neutralizar 100 gr. de arcilla son la expresión numérica de la capacidad de -- cambio.

Con concentraciones equivalentes de electrolito, - determinados cationes son más fácilmente absorbidos por la arcilla que otros. Ordenando los cationes según esta facilidad - se obtiene la serie de HOFMEISTER (cuadro nº 15).

Cuadro nº 15. SERIE DE HOFMEISTER.-

Facilidad de absorción de cationes por las arcillas

H > Al > Ba > Sr > Ca > Mg > NH<sub>2</sub> > K > Na > Li

En los cuadros 16, 17 y 18 se indican algunos valores de la capacidad de cambio de iones en varios minerales arcillosos y arcillas según datos de GRIM y WORRALL.

Cuadro nº 16. VALORES DE CAPACIDAD DE CAMBIO DE CATIONES EN VARIAS ARCILLAS.-

<u>ARCILLA</u>	<u>C.C.C. (meg/100 gr)</u>
Caolín	2 - 5
Ball clay	10 -20
A refractaria	7 -12
A para ladrillos	7
Haloisita	13
Bentonita	80 -120

fuentes: Clays and Ceramic Raw Materials. W.E. Worrall

Cuadro nº 17. VALORES DE CAPACIDAD DE CAMBIO DE CATIONES EN  
EN VARIOS MINERALES ARCILLOSOS

<u>MINERAL ARCILLOSO</u>	<u>CCC (meg/100 gr)</u>
Caolinita	3 - 15
Haloisita $2H_2O$	5 - 10
Holoisita $4H_2O$	10 - 40
Illita	10 - 40
Sepiolita-Atapulgita	20 - 30
Montmorillonita	80 - 150

fuelle: Applied Clay Mineralogy. R.F. Grim

Cuadro nº 18. VALORES DE CAPACIDAD DE CAMBIO DE ANIONES EN -  
VARIOS MINERALES ARCILLOSOS

<u>MINERAL ARCILLOSO</u>	<u>cca (meg/100 gr)</u>
Montmorillonita	23 - 31
Beidelita	21
Nontronita	12 - 20
Saponita	21
Caolinita	7 - 20

fuelle: Applied Clay Mineralogy. R.F. Grim

### 5.6.7. Refractariedad y vitrificación.-

La mayor parte de las sustancias puras tienen un punto de fusión determinado por una temperatura fija que se manifiesta constante desde que se inicia el proceso de fusión hasta que se termina. No ocurre lo mismo con la mayor parte de los silicatos - y por lo tanto con las arcillas -, en los que se -- inicia el proceso de fusión a una determinada temperatura y termina en otra más elevada pasando por diversos grados de reblandecimiento. En este tipo de sustancias, en las que la fusión se realiza dentro de un intervalo de temperaturas, es preciso definir la temperatura de fusión como aquella en la que la sustancia bajo una tensión definida se vuelve lo suficientemente fluida - como para fluir a una determinada velocidad (0,01 mm. seg.<sup>-1</sup>).

La refractariedad de una sustancia es una característica indicativa de su temperatura de fusión, de tal modo - que cuanto mayor sea ésta, mayor es su refractariedad. Existen diversos métodos y aparatos para determinar la temperatura de fusión, el más común de todos ellos es el de los conos pirométricos equivalentes (C.P.E.). Este método está muy difundido - en la industria, que también lo utiliza para controlar la temperatura en las diversas zonas de los hornos cerámicos. La refractariedad de materias primas, mezclas o productos cerámicos, se determina, según este método, comparando el comportamiento de probetas (conos) fabricadas con estos materiales, con otras fabricadas con mezclas de características conocidas, cuya composición, forma, disposición, etc., están normalizadas y numeradas. Este ensayo no registra directamente la temperatura, si no una combinación de la temperatura y velocidad de calentamiento. Las series de conos pirométricos normalizadas más am-

pliamente utilizadas son la de SEGER y la de ORTON. Esta última ha sido adoptada como norma americana (American National -- Standard) por el American Standards Institute, cuya última revisión data de 1972; la norma se denomina ASTM C-24-72. En el Cuadro nº 19 se incluye una tabla de equivalencias de los CPE Orton y Seger con las temperaturas.

Conocida la composición química de una arcilla es posible determinar de una manera aproximada su temperatura de fusión a través de la fórmula de SCHUEN, la cual tiene la siguiente forma :

$$\text{TEMPERATURA DE FUSION} = \frac{460 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 360 \text{ SiO}_2 - \text{RO}}{(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) 0,228} \text{ } ^\circ\text{C}$$

donde :

- $\text{Al}_2\text{O}_3$  contenido en alúmina expresado en %
- $\text{SiO}_2$  contenido en sílice expresado en %
- RO suma de contenidos de otros óxidos expresados en %.

La refractariedad de una arcilla crece con su contenido en alúmina, la cual, en su mayor parte, se debe a -- los silicatos que constituyen los minerales arcillosos. La sílice libre de las arcillas puede influir de distintas maneras en su refractariedad, así, si una arcilla tiene un alto contenido en sílice libre y en agentes fundentes actúa elevando la refractariedad, si la arcilla es muy aluminosa, con pocas impurezas, el efecto que produce la sílice es el de disminuir la refractariedad. Las impurezas, en forma de óxidos de hierro,

Cuadro nº 19. TEMPERATURAS FINALES DE LOS CONOS PIROMETRICOS

Nº del cono	CPE. ORTON		CPE. SEGER	
	Temperaturas		Temperaturas	
	°C	°F	°C	°F
12	1337	2439	1350	2462
13	1349	2460	1380	2552
14	1398	2548	1410	2570
15	1430	2606	1435	2615
16	1491	2716	1460	2660
17	1512	2754	1480	2696
18	1522	2772	1500	2732
19	1541	2806	1520	2768
20	1564	2847	1530	2786
23	1605	2921	--	--
26	1621	2950	1580	2876
27	1640	2984	1610	2930
28	1646	2995	1630	2966
29	1659	3018	1650	3002
30	1665	3029	1670	3038
31	1863	3061	1690	3074
31 1/2	1699	3090	--	--
32	1717	3123	1710	3110
32 1/2	1724	3135	--	--
33	1743	3169	1730	3146
34	1763	3205	1750	3182
35	1785	3245	1770	3218
36	1804	3279	1790	3254
37	1820	3308	1825	3317
38	1835 (1)	3335	1850	3362
39	1865 (1)	3389	1880	3416
40	1885 (1)	3425	1920	3488
41	1970 (1)	3578	1960	3560
42	2015 (1)	3659	2000	3632

Notas : Velocidad de calentamiento en los CPE Orton :

Cono 12 a Cono 37 incluidos (150°C)/h

Cono 38 (100°C)/h

Cono 39 a Cono 42 incluidos (600°C)/h

(1) Fairchild, C.O. y Peter MF "Characteristics of Pyrometric Cones". Journal of the American Ceramic Society, 1926.



calcio, magnesio, sodio y potasio, tienen carácter fundente y, por lo tanto, bajan la refractariedad de la arcilla.

Las características de una arcilla cocida a una determinada temperatura dependen de los cambios y reacciones - que tienen lugar en el estado sólido y de las características del fundido producido por la fusión de diversos componentes. - El fundido se distribuye alrededor de las partículas más refractarias, permitiendo que se mantengan unidas por efectos de capilaridad y tensión superficial. Al producirse el enfriamiento, el fundido se convierte en un vidrio (vitrifica) que actúa como aglutinante sólido. Es claro que la cantidad de vidrio que se puede producir a una determinada temperatura depende de la refractariedad de los diversos constituyentes, y la cantidad que puede admitirse, sin que la pieza se deforme, depende de la viscosidad del líquido a esa temperatura.

Los distintos grupos de arcillas que hasta ahora se han considerado tienen distintas características de refractariedad y temperatura de vitrificación :

- CAOLIN. Los más refractarios tienen un CPE Orton comprendido entre los números 33 y 35, los menos refractarios - también muy frecuentes - tienen un CPE comprendido - entre los números 28 y 32. Debido al bajo contenido en álcalis los caolines no muestran signos apreciables de vitrificación - por debajo de los 1.200° C.

- BALL CLAY. Este tipo de arcillas, constituidas fundamentalmente por caolinita, tienen un CPE Orton superior a 30 (y frecuentemente comprendido entre 30 y 34). Pre

sentan vitrificación entre 1.000 y 1.250° C.

- ARCILLAS REFRACTARIAS. Tienen una refractariedad muy variable y su utilización depende del uso que se va a dar al refractario. La norma ASTM C-105-45 (1976) clasifica a estas arcillas del siguiente modo (Cuadro nº 20) :

Cuadro nº 20. CLASIFICACION DE LAS ARCILLAS REFRACTARIAS SEGUN C.P.E.

<u>CLASE</u>	<u>Condiciones de trabajo</u>	<u>C.P.E. Orton</u> (no menor que)
Super-duty	Extremadamente duras	nº 31
High-duty	Muy duras	nº 27-29
Medium-duty	Medias	nº 26
Low-duty	Suaves	nº 16

Las flint-clays tienen un CPE Orton comprendido entre 35 y 38, las semi flint-clays varían entre los números 30 y 35 y las plásticas entre 26 y 30.

- LAS ARCILLAS PARA PRODUCTOS CERAMICOS ESTRUCTURALES (ARCILLAS PARA LADRILLOS). Estas arcillas tienen un elevado contenido en álcalis que actúan como fundentes, además, también suelen contener  $CO_3Ca$  en proporciones muy variables, el cual actúa en el mismo sentido, en consecuencia, son arcillas que vitrifican a baja temperatura (por debajo de los 1.000° C), presentan características de "over firing" a 1250°

y a temperaturas superiores funde. El C.P.E. de estas arcillas es muy bajo.

- ARCILLAS ESPECIALES. Presentan unas características similares a las del tipo anterior.

#### 5.6.8. Resistencia mecánica.-

Resistencia mecánica es la propiedad o aptitud que tiene un material para retener su forma cuando se le somete a diversos esfuerzos. La resistencia en seco (secadas normalmente a 110° C) de las arcillas es una propiedad muy importante, pues de ella depende, en gran medida, la mayor o menor manejabilidad de las piezas moldeadas de arcilla, así como la capacidad para admitir la mezcla de otros materiales no plásticos como el cuarzo, feldespatos, chamota, etc.

Dependiendo de la naturaleza del esfuerzo aplicado existen los siguientes tipos de resistencia mecánica :

- Resistencia a flexión, resistencia transversal o módulo de ruptura
- Resistencia a compresión o aplastamiento
- Resistencia a tracción
- Resistencia a torsión
- Resistencia al cizallamiento
- Resistencia al impacto

Todas ellas se desenvuelven por la adición de agua a la arcilla en cantidades iguales o superiores al límite de plasticidad (Norton, 1.973); siendo la más interesante la -

resistencia a la flexión. Para medirla se añade a la arcilla - agua suficiente para formar una masa plástica con la que se puede moldear probetas manualmente (por presión, extrusión o colada); después de secadas, son rotas a flexión por aplicación de una fuerza central entre dos apoyos. El método de moldeo empleado, así como las condiciones, velocidad y temperatura de secado (aumento de la resistencia con la temperatura), influyen de manera considerable en la resistencia mecánica de las arcillas. - Las piezas extruidas son las de mayor resistencia, la cual va disminuyendo para las piezas torneadas y moldeadas hasta hacerse mínima en las coladas.

Con independencia de las condiciones del ensayo, la resistencia a la flexión depende, fundamentalmente, de las siguientes características intrínsecas :

- a) Mineralogía : Según White (1965) la faja de variación para los minerales puros es la siguiente :

Caolinita.....	0,7 a 49 Kg /cm <sup>2</sup>
Ilita.....	14 a 70 "
Montmorillonita .....	21 a 56 "

Para R.E. Grim estos valores están comprendidos dentro de los siguientes intervalos :

Caolinita .....	1 a 50 Kg /cm <sup>2</sup>
Ilita.....	15 a 75 "
Montmorillonita .....	20 a 60 "
Atapulgita.....	45 "
Haloisita.....	20 "

Ries (1927) establece la siguiente categoría de valores para el módulo de ruptura :

De 0 a 7 Kg /cm <sup>2</sup> .....	Bajos
De 7 a 14 " .....	Intermedios inferiores
De 14 a 28 " .....	Medios
De 28 a 56 " .....	Intermedios superiores
Superiores a 56 Kg /cm <sup>2</sup> .....	Elevados.

b) Naturaleza de las impurezas : Los contenidos en materia orgánica y sustancias inorgánicas amorfas o coloidales influyen favorablemente en la resistencia.

c) Granulometría :

- A mayor tamaño de grano menor resistencia
- Con mayor grado de ordenación o cristalización disminuye la resistencia
- Cuanto mejor es la distribución de tamaños (calibrado) mayor es la resistencia.

Como puede observarse, la resistencia mecánica depende de características muy parecidas a la plasticidad, -- existiendo una íntima relación entre ellas, hasta tal punto -- que la resistencia transversal se ha usado como un índice de -- plasticidad, aunque hay ejemplos notables (Mellor y Kohl) en -- los que dicha correlación no se cumple hasta el grado de que -- una característica pueda servir de medida para la otra.

A la vista de los valores dados por White y Grim para los distintos minerales arcillosos, se deduce que las illitias y montmorillonitas presentan por lo general mayores resistencias a la flexión que la caolinita. Sin embargo, existen arcillas caoliníticas, como las ball-clays, que debido a su contenido en materia orgánica, al grado de desorden de sus partículas y al tamaño de grano extremadamente fino de las mismas, tienen una gran resistencia en crudo. Para estas arcillas se puede establecer aproximadamente el siguiente orden de resistencia a la flexión :

Caolín residual (China-clay) < Caolín sedimentario < Arcilla refractaria < Ball-clay

Según W.E. Worrall la diferencia entre caolines y ball-clays se debe a las características antes mencionadas, hasta tal punto que adiciones de 1 % de ácidos húmicos a los caolines del tipo "china-clay" pueden aumentar la resistencia de los mismos hasta en un 100 %. Este autor sitúa la resistencia a la flexión en seco (110° C) de las "china-clays" entre 4,07 y 27,52 Kg /cm<sup>2</sup>, mientras que para las ball-clays más oscuras cita valores superiores a 70 Kg /cm<sup>2</sup>. Las arcillas refractarias "fire-clays" las considera intermedias entre los dos tipos anteriores, pues, aunque mineralógicamente son parecidas a las ball-clays, los contenidos en cuarzo y otros minerales no arcillosos, así como el grado de compactación de las partículas, suelen ser mayores. Esta última característica hace difícil la disgregación de todas las partículas, lo cual se agrava en las arcillas refractarias consolidadas del tipo "flint-clay" en las que es necesario un grado de molienda muy fino para conseguir la plasticidad y resistencia en crudo necesarias para -

el moldeo de las piezas refractarias. En la tabla con la que Worrall resume las propiedades de las fire-clays de varias localidades, se encuentran valores para el módulo de ruptura de estas arcillas comprendidos entre  $10,7 \text{ Kg /cm}^2$  y  $58 \text{ Kg /cm}^2$ .

La elevada tendencia a la contracción en el secado hace que las arcillas muy ricas en montmorillonita tengan una tensión de ruptura a flexión menor que las arcillas ilíticas, debido a la aparición de grietas en las probetas (P. de Souza, 1.975). Esto no es óbice para que sean empleadas para aumentar la resistencia de otras arcillas mediante mezclas convenientes en las que este defecto no llega a producirse.

Otros medios para aumentar la resistencia en crudo de las arcillas son el empleo de agentes flocculantes, como sales de Ca, Ma y Al y la molienda a tamaños cada vez más finos.

Los cuadros nº 21 (Norton, 1973) y nº 22 (Bliniger, 1925), dan una idea de los valores que presentan algunos tipos de arcilla en lo que a resistencia mecánica se refiere.

Cuadro nº 21. RESISTENCIA A LA FLEXION (NORTON, 1.973).

TIPO DE ARCILLA	Resistencia a flexión
Caolines lavados .....	5 a 15 Kg /cm <sup>2</sup>
Caolines sedimentarios.....	7 a 11 "
Ball-clays .....	11 a 85 "
Arcillas para crisoles de vidrio.....	22 a 90 "
Arcillas para tuberías.....	15 a 40 "
Arcillas para cajas de refractarios.....	7 a 35 "
Arcillas para ladrillos.....	7 a 70 "
Arcillas refractarias para crisoles.....	13 a 48 "
Arcillas refractarias ligantes.....	28 a 80 "
Arcillas plásticas para loza doméstica....	7 a 50 "



Cuadro nº 22. RESISTENCIAS MECANICAS (BLEINIGER, 1.925).

TIPO DE ARCILLA	RESISTENCIA MECANICA		
	Flexión	Compresión	Tracción
Ball-clay inglesa	39 Kg /cm <sup>2</sup>	80 Kg /cm <sup>2</sup>	14 Kg /cm <sup>2</sup>
Caolín (china-clay) inglés	7 "	14 "	3 "
Ball-clay norteamericana	27 "	42 "	8 "
Caolín sedimentario (Florida)	17 "	36 "	7 "
Caolín residual (Carolina del N.)	12 "	24 "	4 "
Caolín sedimentario (Georgia)	23 "	30 "	10 "
Arcilla refractaria (Pensilvania)	36 "	44 "	11 "
Pizarra (shale) de Ohio	22 "	44 "	9 "

6.- PRINCIPALES USOS DE LAS ARCILLAS. TIPOS, PROPIEDADES Y -  
ESPECIFICACIONES MAS IMPORTANTES DE LAS ARCILLAS UTILI--  
ZADAS.

En el capítulo segundo (cuadros 1, 5, 6 y 7) se encuentran resumidos los usos más importantes de las arcillas, agrupados según los distintos campos de utilización. A continuación se describe cada uso por separado y las arcillas empleadas.

6.1. PRODUCTOS CERAMICOS

Uno de los principales campos de utilización de las arcillas es la fabricación de productos cerámicos. Según BRADSTREET (1958), cerámica es una rama de la industria en la que minerales de composición y pureza variable son sometidos a temperaturas poco definidas, durante periodos de tiempo también variables, dando lugar a que reacciones desconocidas ocurran de una manera incompleta, con formación de productos heterogéneos y no-estequiométricos conocidos con el nombre de materiales cerámicos.

La American Ceramic Society y la American Society for Engineering Education (1963) consideran que la cerámica o materiales cerámicos comprenden todos los materiales de empleo en ingeniería o productos químicos inorgánicos, exceptuando -- los metales y sus mezclas, que son útiles por tratamiento a alta temperatura.

Los materiales complejos, tales como metales + materiales cerámicos (CERMET) o materiales orgánicos + cerámicos (ABRASIVOS) son, generalmente, clasificados como cerámicos.

Dentro de los materiales cerámicos se pueden distinguir los siguientes grupos principales, en los cuales se utilizan arcillas como materias primas en mayor o menor proporción:

- ELEMENTOS ESTRUCTURALES (LADRILLERIA)
- ARIDOS O AGREGADOS LIGEROS
- AZULEJOS
- LOZA
- PORCELANA Y PASTAS ESPECIALES
- REFRACTARIOS
- ABRASIVOS
- CEMENTOS Y PUZOLANAS.

#### 6.1.1.- Elementos estructurales (ladrillería).

Son materiales cerámicos coloreados y porosos - (5-20 % de absorción de agua), agrupados en muchas ocasiones - con el nombre genérico de ladrillería y que comprenden productos tales como ladrillos, tejas, baldosas, tubos de drenaje y chimeneas, etc.

Existe una gran diversidad de tipos o clases de ladrillos y tejas. Aunque sin entrar en pormenores, se pueden considerar como más interesantes los siguientes grupos :

#### Ladrillos comunes

Son materias bastos y porosos, generalmente en forma maciza, para empleo en construcciones donde no es muy importante el aspecto, tales como pies de muro, macizos, superfi

cies para revoque, etc.

Como materias primas se emplean arcillas coloreadas sin apenas selección.

#### Ladrillos huecos o perforados y baldosas huecas

Se emplean en construcción de paredes, en especial cuando se pretende aligerar u obtener un cierto aislamiento térmico. Las baldosas se emplean en pisos nervados de hormigón reforzado.

#### Ladrillos de producción normal, ladrillos de fachada

En estos materiales el aspecto externo tiene mayor importancia, empleándose en su fabricación arcillas coloreadas mejor seleccionadas, pues hay que procurar obtener colores adecuados y uniformes, sin manchas ni eflorcencias.

#### Ladrillos técnicos

Son más duros y densos que todos los anteriores, con menos del 10 % de absorción de agua. Son muy utilizados en ingeniería civil, como construcción de puentes y en la construcción de edificios cuando se necesita una elevada resistencia a la escarcha. Es un material cerámico que se encuentra a caballo entre las pastas de ladrillería y el gres. Como materias primas se emplean arcillas naturales ricas en hierro y casi exentas de cal y magnesia, pues la descomposición de los carbonatos y consiguiente desprendimiento de  $\text{CO}_2$  disminuye la densidad y favorece la aparición de grietas y huecos en los ladrillos.

Las arcillas utilizadas en la fabricación de ladrillos deben ser fácilmente moldeables y poseer un valor medio o elevado para el módulo de ruptura a flexión, antes y después de la cocción. El cocido suele realizarse a temperaturas entre 900° C y 1100° C, después del cual el color suele ser rojo y la tendencia a la aparición de grietas y deformaciones debe ser lo menor posible. Elevados contenidos de hierro divalente, elementos alcalinos y alcalino-térreos son perjudiciales - por causar una excesiva contracción y colores indeseables, además de reducir la faja de vitrificación.

#### Tejas curvas, planas o encajables

Son productos más compactos y generalmente de grano más fino que los ladrillos comunes. El color y aspecto tienen también importancia. Para su fabricación se emplean arcillas naturales seleccionadas.

Las arcillas para tejas tienen que tener una plasticidad adecuada para el moldeo y una tensión o módulo de ruptura a flexión elevado en estado seco que permita una manipulación fácil durante la fabricación.

La porosidad aparente y absorción de agua debe ser baja y no presentar tendencia al apelmazamiento y alabeado, ni a la aparición de grietas después del secado y cochura a 950° C aproximadamente.

El color rojo después de la cocción es, a veces, uno de los principales factores para la aceptación de una arcilla en la fabricación de tejas.

Por último, la faja de vitrificación ha de ser lo suficientemente amplia y la contracción lo más uniforme posible para así obtener un buen control de las dimensiones del producto final.

Un método de ensayo de arcillas para ladrillos y tejas es el recomendado por la American Ceramic Society. Este método consiste en preparar probetas moldeadas a mano, por extrusión y por prensado; secarlas a 110° C y cocerlas a temperaturas de 950° C, 1050° C, 1150° C y 1250° C. Después se someten a ensayos para determinar sus características mecánicas y color de cocido con las distintas temperaturas y métodos de moldeo. Los resultados obtenidos se comparan posteriormente con los valores límites recomendados para que una masa cerámica pueda ser usada en la fabricación de ladrillos y tejas. Estos valores están expresados en el Cuadro nº 23, donde se consideran también los ladrillos rojos para pisos, cuya pasta se asemeja más al gres y cuya temperatura de cocción oscila entre 1000° C y 1100° C, con el fin de obtener una vitrificación casi total.

De esta forma se puede determinar si la arcilla ensayada es válida para algunos de estos productos y la temperatura y método de moldeo son los más adecuados para alcanzar los valores exigidos.

Desde el punto de vista de la composición química, las arcillas para ladrillos y tejas - agrupadas en el capítulo 5 con el nombre genérico de arcillas para productos cerámicos estructurales - tienen una gran variedad. De una manera meramente orientativa damos a continuación los intervalos de -

Cuadro. nº 23. VALORES LIMITES RECOMENDADOS EN LADRILLERIA (AMERICAN CERAMIC SOCIETY).

MASA CERAMICA (manual, extru <u>i</u> da o prensada)	Ladrillos comunes	Ladrillos perforados	Tejas	Ladrillos ro- jos para pisos
Mínima tensión de ruptura a 110° C.	15 kg /cm <sup>2</sup>	25 kg /cm <sup>2</sup>	30 kg /cm <sup>2</sup>	-
Mínima tensión de ruptura a 950° C, 1050° C, 1150° C ó 1250° C.	20 kg /cm <sup>2</sup>	55 kg /cm <sup>2</sup>	65 kg /cm <sup>2</sup>	-
Máxima absorción de agua a 950° C, 1050° C, 1150° C ó 1250° C.	-	25 %	20 %	1 % (.)
Color a 950° C, 1050° C, 1150° C ó 1250° C.	Rojo	Rojo	Rojo	Rojo sin man- chas oscuras.

(.) Para otros autores este valor puede alcanzar hasta el 5 % e incluso el 8 %.

variación de la composición química de algunas arcillas utilizadas, en primer lugar para ladrillos comunes macizos y, en segundo lugar, para ladrillos huecos y tejas.

<u>LADRILLOS MACIZOS</u>		
SiO <sub>2</sub>	.....	74,5 - 80 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.....	9 - 12 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.....	1 - 3 %
TiO <sub>2</sub>	.....	0 - 1 %
CaO	.....	0,5 - 2 %
MgO	.....	0 - 1 %
K <sub>2</sub> O	.....	1 - 3 %
NaO <sub>2</sub>	.....	0 - 1 %
Pérdidas al fuego	.....	3 - 4 %

<u>TEJAS Y LADRILLOS HUECOS</u>		
SiO <sub>2</sub>	.....	40 - 60 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.....	17 - 20 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.....	6 - 8 %
TiO <sub>2</sub>	.....	0,7 - 1 %
CaO	.....	1 - 5 %
MgO	.....	1 - 2 %
K <sub>2</sub> O	.....	2 - 2,5 %
Na <sub>2</sub> O	.....	0,4 - 0,8 %
Pérdidas al fuego	.....	7 - 11 %



Como puede observarse, estas composiciones químicas corresponden a arcillas esencialmente illíticas. Aunque cantidades muy desproporcionadas de hierro y álcalis no son convenientes por lo anteriormente expuesto, si suelen ser más elevadas que en otros tipos de arcillas. Esto, en cierta medida, es beneficioso, porque la mayoría de estas impurezas suelen actuar como fundentes, permitiendo alcanzar valores suficientes - para las características mecánicas - por cocción a temperaturas relativamente más bajas y, por tanto, a menor precio que usando -- otras arcillas más puras cuyo empleo en este campo es injustificado.

Para poder se empleadas en la fabricación de ladrillos para pisos, las arcillas han de satisfacer los siguientes requisitos : Buena plasticidad que permita un fácil moldeo; elevados contenidos de hierro y álcalis que permitan la vitrificación a temperaturas relativamente bajas sin tendencia a las deformaciones; bajos valores de absorción de agua; alta resistencia a la abrasión; color uniforme, sin manchas, preferiblemente rojo vivo y faja de vitrificación suficientemente amplia (50° C mínimo) para asegurar la uniformidad del color y de las dimensiones de los ladrillos.

#### 6.1.2.- Aridos o agregados ligeros

Según la nomenclatura ASTM (1963), agregado ligero es un material inerte que se usa en hormigones cuando se -- pretenden características de ligereza, resistencia a la compresión y aislamiento térmico.

Los agregados ligeros se pueden clasificar según

las materias primas en cuatro tipos (Whitaker, 1.942; Davis y Kelly, 1.948) :

- 1) Agregados ligeros naturales : Materiales volcánicos como piedra pómez, lavas escoriáceas, etc.
- 2) Subproductos industriales : Cenizas y escorias industriales.
- 3) Agregados ligeros manufacturados :
  - a) Arcillas expandidas piroclásticamente;
  - b) Materiales sintetizados en forma porosa.
- 4) Agregados muy ligeros : Constituidos por vermiculita y pertita expandida (vidrio volcánico).

Las propiedades necesarias para un buen agregado ligero son las siguientes (Conley, 1.948; Burwell, 1.954) :

- a) Baja masa específica.- Debe pesar como mínimo la mitad que el agregado denso común al que sustituye. Normalmente menos de  $0,8 \text{ gr/cm}^3$ .
- b) Resistencia mecánica elevada.- Cuanto más resistencia a la compresión menos cemento hay que emplear y más ligero es el sistema.
- c) Ausencia de puntas y aristas agudas.- Las partículas deben ser redondeadas o, preferiblemente, esféricas, con el fin de aumentar la resistencia y facilitar su trabajabilidad.
- d) Mínima absorción de agua.- La existencia de poros superficiales abiertos da lugar a una deshidratación del hormigón impidiendo el fraguado.

- e) Distribución granulométrica adecuada que asegure una buena trabajabilidad.
- f) Inercia química, para que no se produzcan reacciones perjudiciales entre agregado y elementos, que hiciesen necesario el empleo de puzolanas.
- g) Un precio adecuado con el fin de que la economía en peso y de acero en el hormigón y la mejora de las propiedades aislantes justifiquen su empleo en sustitución de agregados comunes más baratos.

El U.S. Bureau of Reclamation (Cole y Zetterstrom, 1.954) sugirieron la siguiente clasificación para agregados ligeros, que posteriormente fue adoptada por la ASTM (1964) como especificaciones (Cuadro nº 24).

Cuadro nº 24. CLASE DE AGREGADOS LIGEROS.

Clase	Resistencia a la compresión	Uso
A. Estructural	210-350 kg/cm <sup>2</sup>	Constituyentes estructurales, vigas, etc.
B. Baja masa específica	70-300 "	Paredes de sustentación de vigas, como las utilizadas en casas de residencia.
C. Aislamiento	14-70 "	Revestimientos que no soportan cargas, paredes y techos aislantes.

Según estos autores las propiedades deseadas para un hormigón hecho con agregados ligeros son las siguientes:

- a) Elevada resistencia mecánica
- b) Pequeña absorción de agua
- c) Pequeño peso por unidad de volumen (masa específica aparente)
- d) Buenas propiedades aislantes térmicas y acústicas
- e) Pequeña dilatación o contracción
- f) Buena trabajabilidad
- g) Bajo costo de producción
- h) Ser fácilmente serrable. Los clavos deben penetrar con facilidad.
- i) Elevada resistencia a la congelación y deshielo
- j) Resistencia a la aparición de manchas ferruginosas.

Esta última propiedad está impuesta por el uso - creciente de hormigones ligeros pintados para paredes interiores y exteriores.

La ASTM (1.964) establece tres grupos de agregados ligeros y propone especificaciones para cada uno de ellos; estos tres grupos son :

- a) Agregados ligeros para hormigón estructural
- b) Agregados ligeros para fabricación de piezas de albañilería de hormigón
- c) Agregados ligeros para fabricación de hormigón aislante.

Los grupos A y B se preparan por procesamiento - de materias naturales (pumitas, escorias y tufitas volcánicas) o por expansión, calcinación o sinterización de escorias del horno alto, arcillas, diatomeas, cenizas o esquistos arcillosos, etc. En los del grupo B también se emplean cenizas de combustión de carbón o coque. Los agregados del grupo C son prepa

rados con vermiculita y perlitas expandidas en caso de calidades superiores o también calcinación, expansión o sinterización de escorias industriales, arcillas, diatomeas, cenizas y esquistos o pizarras arcillosas, para productos de menor calidad.

La ASTM establece una serie de requisitos para estos agregados y hormigones ligeros, especialmente de granulometría, masa específica aparente, resistencia a compresión, impurezas, pérdidas al fuego, manchas ferruginosas, así como para el hormigón hecho con agregados ligeros.

Se puede afirmar que, en ausencia de materiales con propiedades intrínsecas naturales, las arcillas expandidas piroclásticamente son los materiales con mayor campo de utilización en los tres tipos de agregados ligeros antes mencionados.

Las condiciones necesarias para que por el hinchamiento o expansión piroclástica de una arcilla se produzca una estructura celular, necesaria para un agregado ligero de alta calidad, son las siguientes (Baner, 1.948, 1.949) :

- a) El material en la forma piroclástica debe poseer un contenido suficiente de vidrio para tapar los poros y retener los gases formados.
- b) El material debe contener calidades adecuadas de sustancias productoras de gases que produzcan el grado de hinchamiento suficiente para obtener la masa específica -- aparente deseada.
- c) Las sustancias productoras de gases deben liberar los

componentes volátiles en cantidad y a velocidad adecuadas, y a una temperatura y en un momento que coincidan con las condiciones piroclásticas óptimas del material.

- d) En las condiciones óptimas de tiempo-temperatura-formación de vidrio, éste debe poseer una viscosidad adecuada que permita la formación de un gran número de burbujas o vesículas para dar una baja masa específica aparente y un espesor de pared de las vesículas que dé lugar a la máxima resistencia al aplastamiento de la partícula del agregado ligero.
- e) El material debe hinchar con estructura celular a una temperatura lo más baja posible (1000-1350° C), por razones económicas. Estas temperaturas bajas no han de ser debidas a presencia de fundentes o sales alcalinas que posteriormente van a liberar compuestos solubles que pueda destilar el hormigón ligero.
- f) El intervalo de temperaturas entre el inicio de hinchamiento y la fusión total debe ser superior a 20° C para evitar que los fragmentos del agregado ligero se apelmacen y provoquen el atasco del horno (Zetterstrom y Cole, 1.956).

Si no existe un contenido de fundentes adecuados o bien se forma una fase vítrea poco viscosa desde el principio, los gases producidos escapan y no hay hinchamiento. Estos defectos pueden corregirse por la adición de fundentes necesarios; por el desplazamiento del período de liberación del gas hacia unas temperaturas más elevadas; por un calentamiento más rápido con menor introducción de aire o por la adición de sustancias que eleven la viscosidad de la fase vítrea.

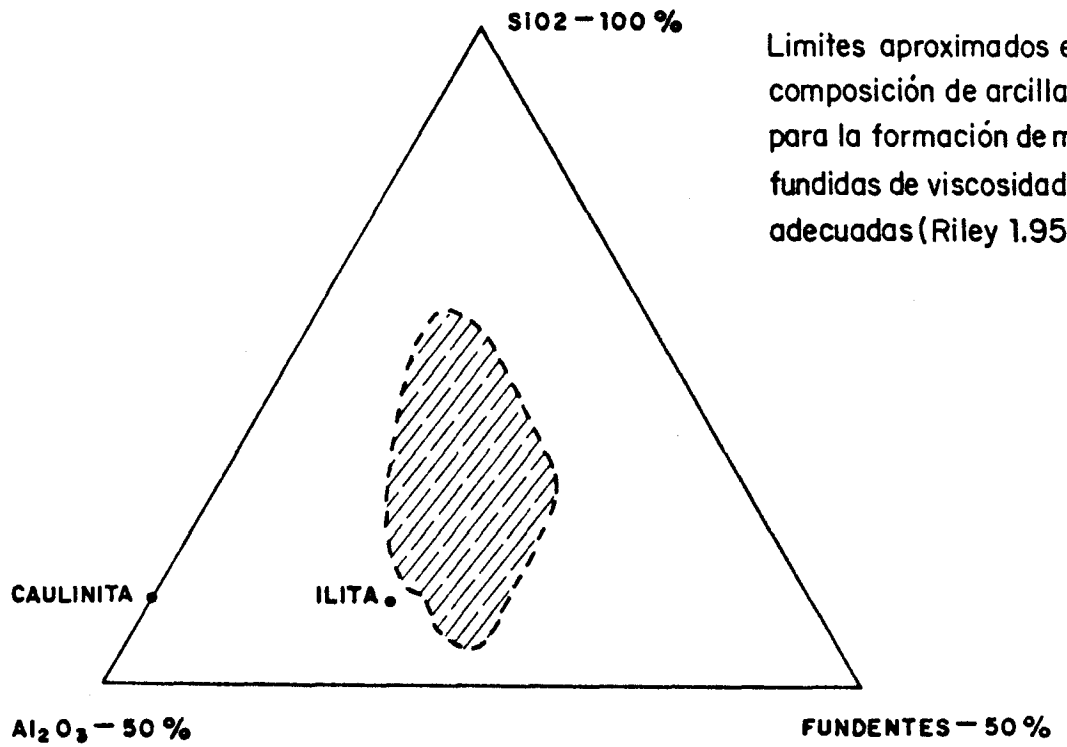
Cantidades exageradas de sustancias formadoras de gases pueden producir una liberación violenta de los mismos, lo cual es perjudicial, especialmente a temperaturas bajas, para la formación de vidrio. La presencia de azufre o carbono implica un calentamiento muy rápido en condiciones fuertemente reductoras, formándose entonces un agregado ligero muy débil, de estructura porosa o esponjosa grosera y muy irregular.

La producción violenta de gases se puede disminuir por un calentamiento más lento o mezclando materiales más refractarios con la arcilla para compensar con una mayor viscosidad la presión de los gases a temperaturas bajas.

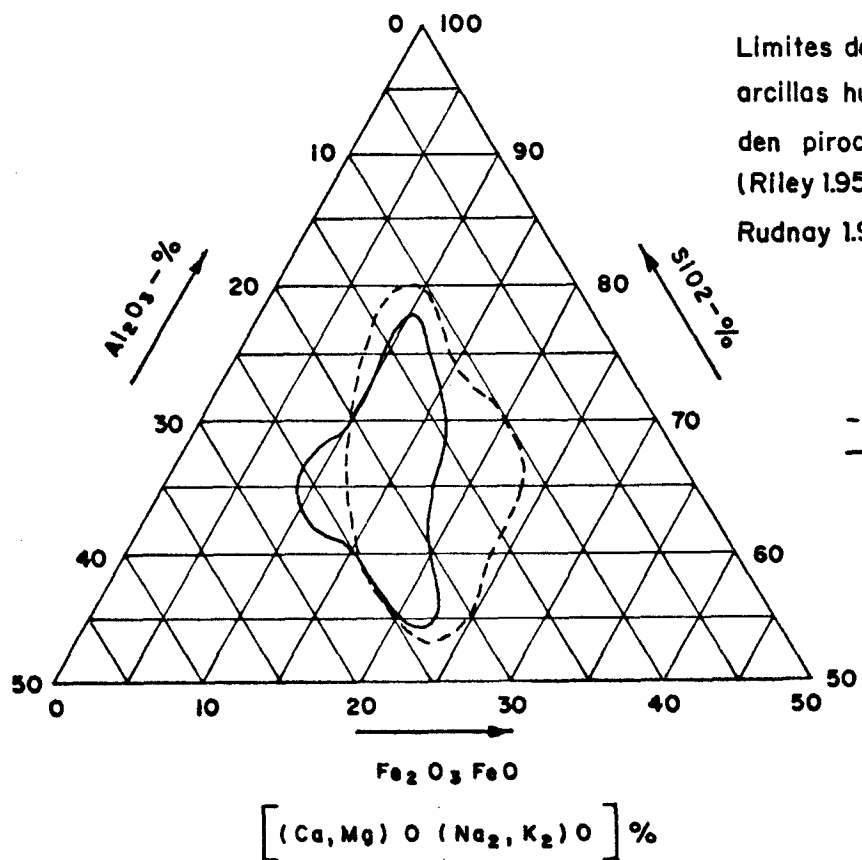
#### Arcillas para fabricación de agregados ligeros

Aunque se han hecho serios intentos por el U.S. Bureau of Mines de correlacionar la composición química de las arcillas con su capacidad de hinchamiento, comprobándose la gran importancia de las impurezas, el problema es bastante complejo y son los ensayos en laboratorio, o a escala piloto, los más prácticos para determinar la utilidad de una arcilla para la fabricación de agregados ligeros.

A pesar de ello, estudios realizados por Riley (1.951) y Wilson (1.928, 1.961) procuran establecer esa correlación entre la composición de las arcillas y su capacidad de hinchamiento entre 1100° C y 1350° C de temperatura. Los resultados quedan expresados en el diagrama de la Figura nº 3, donde las arcillas expandibles se agrupan en una zona central.



Limites aproximados en la composición de arcillas para la formación de masas fundidas de viscosidades adecuadas (Riley 1.951)



Limites de composición de arcillas húngaras que expanden piroclásticamente. (Riley 1.951, Wilson 1.962, Rudnay 1.963)

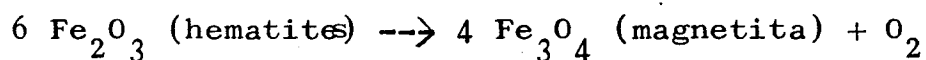
Fig. 3



Los minerales arcillosos que más se aproximan a esta zona son las illitas. Aunque la mayoría de las arcillas expandibles piroclásticamente se encuentran dentro de esta zona, esto no quiere decir que todas las arcillas con esa composición química sean, necesariamente, expandibles.

De los trabajos de Riley, Everhart y otros investigadores que experimentaron el efecto de distintas condiciones minerales sobre mezclas artificiales de caolinita, cuarzo y feldspato, se puede sacar la conclusión de que la pirita, calcita, dolomita y hematites producen hinchamiento, aunque existen dudas con respecto a este último mineral. La adición de aceite combustible y la presencia de agua parecen desempeñar también un papel importante en la inducción al hinchamiento piroclástico.

Según Riley, la reacción más importante para la producción de gas en el hinchamiento piroclástico de las arcillas es :



El óxido férrico es producido por la limonita o hematites presente en la arcilla natural, o por la descomposición de compuestos ferrosos o férricos, incluyendo biotita, anfíboles, basaltos, minerales arcillosos cloríticos, illíticos, montmorilloníticos y vermiculíticos existentes en las arcillas.

En el trabajo que Conely y colaboradores realizaron con 80 muestras arcillas que expandían piroclásticamente, se comprobó que por lo menos poseían el 5 % de compuestos de hierro, metales alcalinos y alcalinotérreos. Un aumento del --

contenido de alúmina, manteniendo los otros factores constantes, produce un aumento de la refractariedad y baja la tendencia al hinchamiento piroclástico. Las arcillas que hinchan poseen menos del 25 % de  $Al_2O_3$ , sin embargo, ésta no es una condición suficiente.

El 90 % de las arcillas que hinchan piroclásticamente tienen un pH superior a 5.

Cerca del 7 al 8 % de  $Fe_2O_3$  provenientes de minerales de hierro y arcillas son necesarios para una adecuada expansión piroclástica. Sin embargo, los minerales arcillosos y otros silicatos hidratados pueden también contribuir con oxígeno, hidrógeno y aguas a la formación de estructuras celulares (Mielenz y Knig, 1.955).

El 1 % de carbonatos o sulfatos alcalino-térreos son suficientes para la producción de gases.

El carbono, en varias formas, existente en las arcillas ricas en materia orgánica o en pizarras bituminosas pueden también facilitar la formación de estructuras celulares de los agregados ligeros.

De todo ello se deduce que las arcillas y esquistos arcillosos más prometedores para la fabricación de agregados ligeros son aquellas ricas en illita, illita-montmorillonita, vermiculitas, cloritas, paligorsquitas (atapulgita) y sepiolitas. Estos minerales arcillosos se aproximan a los límites establecidos por Riley y contienen porcentajes elevados de hierro en la red cristalina o como óxidos e hidróxidos que li-

beran oxígeno a temperaturas y en condiciones adecuadas. Por otro lado y en oposición a los minerales del grupo de la caolinita, tienen contenidos apreciables de elementos alcalinos y alcalinotérreos que resultan adecuados como fundentes y formadores de vidrio durante el calentamiento rápido.

### Ensayos de arcillas para agregados ligeros

Los ensayos de arcillas se pueden clasificar en :

- a) Ensayos de cocción lenta
- b) Ensayos de cocción rápida
- c) Ensayos en planta piloto.

### Ensayo de cocción lenta

En el IPT del Brasil, las arcillas molidas y húmedas se moldean en probetas bajo presión a  $200 \text{ kgr/cm}^2$ , posteriormente se secan a  $110^\circ \text{ C}$  y después se cuecen durante tres horas a  $950^\circ \text{ C}$ , a  $1250^\circ \text{ C}$  y a  $1450^\circ \text{ C}$ , en un ciclo de cocción de diez horas.

Las arcillas que vitrifican y presentan colores rojos u oscuros a  $950^\circ \text{ C}$  ó a  $1250^\circ \text{ C}$  (casos más frecuentes), y aumentan de dimensiones, burbujean o hinchan a  $1450^\circ \text{ C}$ , son seleccionadas como las más probables para hinchar en el posterior ensayo de cocción rápida.

Aquellas que vitrifican y presentan colores claros a  $1250^\circ \text{ C}$  y funden a  $1450^\circ \text{ C}$ , pueden ensayarse con adiciones de compuestos de hierro o carbono.

Ensayo de cocción rápida

Las arcillas cuyo ensayo anterior fue positivo, son nuevamente ensayadas, utilizando las mismas probetas, en un horno Kenthal o Global, durante tres, diez y quince minutos, y retiradas enseguida para observar el hinchamiento. Las temperaturas del ensayo son 1350° C, 1300° C, 1250° C, 1200° C, 1150° C, 1100° C y 1050° C.

Las arcillas que no expanden (densidad aparente  $> 1 \text{ gr/cm}^3$ ) a 1350° C después de 15 minutos, son eliminadas; las que expanden son ensayadas a temperaturas inferiores para poder determinar así la faja de temperatura y el tiempo adecuado para su hinchamiento piroclástico.

El hinchamiento se evalúa por el aumento de las dimensiones. La masa específica es estimada usando líquidos de densidad decreciente. La resistencia al aplastamiento se prueba con los dedos o el alicate.

Ensayos a escala piloto

Se efectúan en hornos rotativos o en horno de sinterización de parrila móvil y son indispensables para la selección de materias primas, verificando faja de hinchamiento, tendencia a la adherencia y a atascar el horno, etc., para producción experimental de agregados ligeros para ensayarlos según el método ASTM (1.964) y para la fabricación de piezas experimentales de hormigones ligeros.

### 6.1.3.- Grés

El grés es un material cerámico opaco, de color variable, vitrificado, prácticamente impermeable y muy resistente a la descomposición, corrosión, contaminación química, abrasión, etc.

La composición del grés se diferencia de otras pastas por el hecho de utilizar cantidades importantes, de hasta el 70 %, de un tipo de arcillas secundarias plásticas, denominadas comúnmente arcillas de grés. Son parecidas a las arcillas grasas o ball-clays, pero menos caoliníticas y con mayor contenido en impurezas, principalmente fundentes, que con mucha frecuencia dan lugar a colores distintos a los blancos o cremas.

Las arcillas de grés poseen una gran plasticidad y resistencia en fresco; su vitrificación se realiza a temperaturas relativamente bajas (1000-1100° C) como consecuencia de su finura de grano, de un suficiente contenido en fundentes, principalmente álcalis e hierro. La cal y la magnesia, por el contrario, no suelen sobrepasar el 2 %.

En la fabricación de muchas pastas de grés es frecuente el uso de otras arcillas, principalmente caolines, ball-clays y, en mucho menor escala, bentonitas. Las materias primas no arcillosas más importantes son cuarzo o pedernal y feldespatos.

De esta manera, con una elección cuidadosa de las materias primas, junto con una preparación correcta y condiciones de cocción adecuadas, se puede llegar a producir grés

blanco, totalmente vitrificado y con absorción nula de agua. - Este tipo de grés se aproxima mucho a las características de las pastas más finas, como las porcelanas, a las que sustituye en muchos usos en que el aspecto, blancura y translucidez no son decisivos. Esto es posible gracias a las temperaturas relativamente bajas (1250°-1290° C) a las que el grés adquiere sus propiedades y que permiten la realización de piezas de gran tamaño o espesor y formas complicadas. La obtención de tales piezas por medio de pastas finas, como las porcelanas duras, elaboradas a base de caolín, sería muy difícil y costosa, ya que el caolín tiene menor plasticidad y resistencia en fresco, necesita mayor temperatura de cocción y se contrae y deforma más durante la misma.

No obstante, algunas arcillas de grés presentan importantes contracciones durante el secado y la cocción, por lo que es necesario, en muchas ocasiones, la adición de chamota, sobre todo en piezas grandes, lo cual disminuye ciertas propiedades inherentes al grés, como son la permeabilidad, resistencia a la corrosión y contaminación química, resistencia a la tracción, etc.

En el otro extremo de la gama de productos cerámicos, el de las pastas porosas y coloreadas, el grés puede sustituir las en aquellos usos en que se necesite reducida o nula absorción y resistencia a la abrasión elevada, a precios no muy elevados, como es el caso de las baldosas para pisos, tuberías de desagües, ladrillos técnicos y otros materiales de construcción.

En la fabricación de productos de grés tienen -

gran importancia las condiciones de cocción y enfriamiento, -- así como las distintas técnicas de moldeo utilizadas; esto, -- junto con lo anteriormente expuesto, hace que exista una amplia gama de productos de grés, de los cuales, los más importantes están agrupados en los campos de utilización que se indican en el Cuadro nº 25.

De todos los tipos de cerámica blanca, uno de los más exigentes, en cuanto a materias primas se refiere, es el -- grés sanitario, moldeado por el colage en yeso de una barbotina. Es por eso por lo que nos vamos a referir a él con mayor -- detalle.

La obtención de un colage adecuado depende princi-- palmente, entre otros factores, del grado de defloculación de la barbotina o punto óptimo de colage, en el cual una barbotina está próxima a su viscosidad mínima obtenida por la adición de defloculante. La obtención de una barbotina tixotrópica, me-- diante caolines y arcillas, depende de los siguientes factores (Angeleri et al., 1.963) :

- a) Contenido elevado en partículas inferiores a  $2 \mu$ .
- b) Forma anixométrica de las partículas de caolinita y especialmente tabular de las partículas de haloisita.
- c) Cationes di-trivalentes por encima de una concentración mínima.
- d) Presencia de montmorillonita por encima de una cierta concentración (aproximadamente el 5 %).
- e) Contenidos superiores a un mínimo, de gibsita e hidróxidos o silicatos férricos, así como de materia orgáni-- ca.

El grado de defloculación se indica mediante la medida de la viscosidad de la barbotina, expresada en segundos y en función del contenido de sal defloculante adicionado, expresado en porcentaje ponderal de  $\text{Na}_2\text{O}$  referido al peso de la barbotina.

La tendencia de la barbotina a ser tixotrópica puede medirse por la relación  $\alpha$ , que es la relación entre los tiempos (en segundos) necesarios para escurrir, en viscosímetro de Mariotte, volúmenes de 200 y 250  $\text{cm}^3$  de barbotina después de dos minutos de agitación previa ( $\alpha_1$ ), o después del reposo durante 90 minutos ( $\alpha_2$ ).

Con la barbotina defloculada en el punto medio u óptimo, se mide la velocidad de deposición, que es definida como la masa en gramos de la película húmeda de barbotina depositada en un molde de yeso en forma de casquete esférico, de 200 ml. de capacidad, así como el tiempo o velocidad de secado, que es el tiempo necesario para que la superficie depositada en el molde de yeso, después de drenada la barbotina, pierda el brillo especular.

La industria de Sao Paulo usa métodos de ensayo propios para medir las características en el grés sanitario, no sólo de las barbotinas, sino de las arcillas y caolines empleados y de los productos cocidos. Los valores límites de estas características están contemplados en el Cuadro nº 26.



Cuadro nº 25. USOS DEL GRES.

Campo de utilización	Productos de grés
Materiales cerámicos de construcción...	Tuberías de desagües y drenajes, fosas sépticas, revestimiento de pozos, etc. Ladrillos técnicos resistentes a las heladas. Baldosas para suelos. Material sanitario coloreado o blanco.
Cerámica doméstica y artística...	Vajillas corrientes y artículos de cocina. Objetos artísticos.
Cerámica química y técnica...	Grés para aparatos y equipos de industrias químicas. Grés de absorción nula para preparación de productos valiosos e industrias alimenticias. Grés químico para piezas de gran tamaño en la industria textil. Grés químico blanco para material de laboratorio, industrias farmacéuticas y de la alimentación. Grés eléctrico para aisladores de gran tamaño.

Cuadro nº 26. VALORES LIMITES DE LAS CARACTERISTICAS FISICAS EN EL GRES SANITARIO.

CARACTERISTICAS FISICAS	Arcillas	Caolines	Barbotina	Probetas cocidas a 1260° C
Residuo en tamiz USS nº 200 (% máximo)	2	2	0	-
Consumo de defloculante (1) (Na <sub>2</sub> O) en el punto de viscosidad inicial (% máx.)	0,07	0,07	-	-
Consumo de defloculante (Na <sub>2</sub> O) en el punto de viscosidad mínima (% máximo)	0,15-0,20	0,1	-	-
Viscosidad (en segundos a 20°C-25°C)	-	-	80-90	-
Relación $\alpha_1$	-	-	0,54-0,57	-
Relación $\alpha_2$	-	-	0,51-0,53	-
Velocidad deposición (en gramos)	-	-	130-170	-
Velocidad de secado (segundos)	-	-	15-90	-
Absorción de agua (%) a 1260° C	-	-	-	0,5-2
Tensión de ruptura a flexión sin vidriado (Kg/cm <sup>2</sup> )	-	-	-	800-1000
Diferencia de la tensión a flexión de la probeta con vidriado y sin vidriado (%)	-	-	-	30

(1) Solución de silicato de sodio de Duparal para 1,4 gr/cm<sup>3</sup> que corresponde a 0,17 gr/ml de Na<sub>2</sub>O.

#### 6.1.4.- Azulejos (Baldosas para paredes)

Los azulejos son baldosas delgadas, generalmente usadas como elementos decorativos en revestimiento de paredes. Están constituidos por una pasta porosa que en una de sus caras recibe un vidriado o esmaltado que les proporciona impermeabilidad y resistencia al desgaste, facilita la limpieza y mejora su aspecto.

El tipo de pasta es muy variado, desde las pastas intensamente coloreadas hasta las de color crema o casi blanco, de uso muy extendido en Estados Unidos, Alemania, Inglaterra, etc.

Los azulejos son muy semejantes a las lozas, tanto en la variedad coloreada como en la blanca. En la fabricación de azulejos coloreados se utiliza gran variedad y mezclas de arcillas, desde las arcillas de naturaleza illítica empleadas en ladrillería, pero cuidadosamente seleccionadas y mezcladas en cantidades, granulometrías y composición adecuadas y con la menor cantidad de impurezas posibles, hasta las arcillas mixtas illita-caolinita, que se presentan en la naturaleza formando mezclas íntimas y/o en lechos individualizados, en los que predomina, alternativamente, una de las composiciones antes mencionada. En los azulejos de pasta blanca, de uso muy extendido fuera de España, se utilizan cantidades variables de arcillas que cuecen blanco o casi blanco, como arcillas plásticas (ball-clays) y caolines, junto con cuarzo o pedernal, así como feldespato, carbonato cálcico, talco o pirofilita, que actúan como fundentes. Las cantidades en que intervienen los distintos componentes son muy variables, pudiendo faltar algunos

de ellos.

Hirst (1.966) realizó ensayos de laboratorio para estudiar los valores más satisfactorios de las arcillas y caolines utilizados en la fabricación de azulejos de pasta blanca - en la industria cerámica brasileña. Estos valores están reflejados en los Cuadros números 27 y 28.

Cuadro nº 27. CARACTERISTICAS DE LAS ARCILLAS PLASTICAS PARA AZULEJOS DESPUES DE TAMIZADAS A 80 MALLAS.

% de partículas inferiores a $2\mu$ .....	alrededor del 60 %
Agua de amasamiento manual (1) .....	45 % - 65 %
Retracción linial de secado (110° C)... ..	7 % - 9 %
Retracción total (110° C y 1260° C) .....	18 % - 22 %
Absorción de agua (1260° C) .....	1 % - 6 %
Color (1260° C) : crema-claro, ceniza-claro, crema o ceniza.	

(1) Agua de amasamiento : Humedad (referida a 100 gr. de arcilla seca) en el instante en que la arcilla deja de quedar pegajosa en la mano.

Hirst define el índice de plasticidad como la diferencia entre el agua de amasamiento y el límite de plasticidad. Según esto, clasifica las arcillas para azulejos en :

Débiles .....	menos del 12 % (índice de plasticidad)	
Regulares.....	12 % - 14 %	"
Buenas.....	14 % - 16 %	"
Excelentes.....	16 % - 18 %	"
Muy plásticas.....	18 % - 25 %	

Cuadro nº 28. CARACTERISTICAS DE LOS CAOLINES PARA AZULEJOS  
DESPUES DE TAMIZADOS A 80 MALLAS.

% de partículas inferiores a 2 .....	20 % - 40 %
Agua de amasamiento manual.....	45 % - 55 %
Retracción linial de secado (110°C).....	3 % - 6 %
Retracción total (110°C y 1260°C).....	8 % - 15 %
Absorción de agua (1260° C).....	20 % - 30 %
Indice I (1).....	300 - 600

(1) Índice I = (% retracción de secado x % agua de amasamiento + 400 x	$\frac{\% \text{ retracción total (1260°C)}}{\% \text{ absorción de agua (1260°C)}}$
--	--

En el Cuadro nº 29 se ofrecen los análisis químicos de algunas arcillas y caolines brasileños utilizados en la fabricación de azulejos de pasta blanca.

Los azulejos de pasta blanca presentan mejores características mecánicas que los de pasta coloreada, lo cual hace posible reducir el espesor de los mismos; por otra parte, su mejor aspecto y blancura permite la aplicación de vidriados más económicos. Sin embargo, estas ventajas se ven contrarrestadas con un costo de producción mayor como consecuencia de su más elevada temperatura de cocción, así como de la necesidad del empleo de materias primas más costosas.

Cuadro nº 29. ARCILLAS Y CAOLINES PARA AZULEJOS (HIRST, 1.966).

ARCILLAS Y CAOLINES	Pérdidas al fuego	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + RO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
ARCILLAS	13'4	42'2	37'7	2'9	0'8	-	1'2	1'7
	14'1	45'2	37'6	1'3	0'5	0'2	0'4	0'7
	16'3	42	32'6	1	5	0'9	1'5	0'3
CAOLINES	13'4	43'6	40'8	1'2	0'4	0'1	0'4	0'7
	13'9	39'5	44'6	0'9	0'1	-	0'5	0'9
	14'2	43	41'8	0'7	-	-	-	-
	13'1	44'4	40'9	0'6	-	-	-	-
	15'2	41'9	41'3	1	-	-	-	-
	14'2	44'6	39'9	1'4	-	-	-	-
	14'2	43'2	41	0'9	-	-	-	-
	12'8	44'3	39'8	0'7	-	0'4	1'2	0'9
	12'3	45	35'9	0'5	2'6	1'4	1'9	0'3

#### 6.1.5.- Loza

Existen dos grupos de productos cerámicos con el nombre genérico de lozas : loza coloreada y loza blanca.

Loza coloreada, alfarería común, mayólica y terracota, son algunos términos que se aplican a pastas medianamente finas o incluso finas, porosas y coloreadas. Muchas alfarerías de estudio y de arte utilizan una pasta de loza coloreada. Con frecuencia la arcilla es de origen local, así como su tratamiento y uso. Las pastas coloreadas tienen tendencia a vitrificar antes que las blancas, debido al mayor contenido de fundentes, esto hace que resulten pastas más económicas, aunque sus características sean inferiores.

Un tipo especial de loza coloreada se consigue con la adición deliberada de colorantes a una pasta blanca conocida. Esta técnica tiene su principal aplicación en decoración.

La loza blanca se puede definir como un producto cerámico fino, blanco y poroso, fácilmente trabajable y con una absorción de agua del orden del 10-15 %.

Tiene tres campos de aplicación principales : vajillas, baldosas para paredes y material sanitario y, en menor escala, también se utiliza en la fabricación de objetos artísticos diversos.

Una variedad la constituye la loza semivítrea americana de menor porosidad, 4-10 % de absorción de agua, y -

mayor resistencia que la loza blanca corriente. Con ella se fabrica el tipo más común de vajilla en USA.

La porcelana semivítrea también se puede considerar como una loza americana de alta resistencia, levemente traslúcida y baja porosidad (0,3-4 % de absorción de agua). Se usa en vajilla de mesa más fina que las anteriores.

Como materias primas arcillosas para la fabrica--ción de las lozas se usan caolines y arcillas grasas (ball-clay) en proporciones bastante semejantes, entre el 20 y 30 % para cada una de ellas, junto con cantidades variables de "pitchers" (loza cocida y molida), cuarzo y/o pedernal y carbonato cálcico y feldespató como ingredientes principales.

S. Singer considera tres tipos de loza blanca tradicional de uso general.

- Loza calcárea, suavemente cocida : arcilla 50 %; pedernal 35 %; carbonato cálcico 15 %.
- Loza mixta, de cocción media : arcilla 50 %; pedernal 40 %; carbonato cálcico 7,5 %; feldespató, 2,5 %.
- Loza feldespática, cocida más fuertemente : arcilla 50 %; pedernal 45 %; feldespató 5 %.

Las arcillas empleadas para estos tipos de loza - tienen que cocer blanco o casi blanco y por ello el porcentaje de impurezas colorantes debe ser lo más reducido posible, en especial el hierro, cuyo contenido no suele sobrepasar el 2 % en  $Fe_2O_3$ .



### 6.1.6.- Porcelana

La porcelana, en el sentido más estricto, es un producto cerámico blanco, vitrificado e impermeable, translúcido, duro y resistente al ataque químico y buen aislantes eléctrico. No obstante, en muchos casos, los grados de blancura, translucidez o vitrificación no acaban de ser totales.

Siguiendo a F. Singer y S.S. Singer se puede hablar de las siguientes pastas de porcelana :

#### Porcelana vítrea.-

Es una pasta blanca, opaca y casi impermeable (0-1% de absorción de agua), en la que se sacrifica la vitrificación completa por una mayor resistencia mecánica y un menor riesgo de deformación durante la cocción. Dentro de este grupo se puede incluir la porcelana de hotel americana de gran resistencia, densa, blanca y no translúcida. Se utilizan en material sanitario de calidad superior, mostradores de restaurantes, comedores, usos domésticos y bandejas, vasos, etc., en hospitales.

#### Porcelana blanda.-

Es un término que abarca cierto número de pastas finas, blancas o de color marfil y más o menos translúcidas. La cocción se realiza entre los conos 7 y 11. Se subdividen de acuerdo con las materias primas en los siguientes grupos :

- a) Porcelana Seger, porcelana doméstica americana y porcelana eléctrica británica : Todas ellas forman una serie continua

entre la porcelana vítrea y la porcelana dura de mayor temperatura de cocción, excepto la porcelana Seger que se cuece como estas últimas. Como materias primas se emplea caolín, algo de arcillas plásticas, pedernal o cuarzo y feldespato.

- b) Porcelana de fritas, porcelana belleek, porcelana fina americana. Son pastas cocidas a baja temperatura y de elevada translucidez, debido al empleo, en gran proporción, de fritada de vidrio, junto con cantidades menores de caolines, cuarzo y, posiblemente, carbonato cálcico (blanco de España).
- c) Porcelana dental. Es autovidriante, empleándose gran proporción de feldespato y reducidos porcentajes de caolín (5 %) y cuarzo.
- d) Material pario. Es una porcelana autovidriante utilizada para pequeñas figuras sin vidriar. Se usa un 60 % de feldespato, un 30 % de caolín y un 10 % de arcillas plásticas.

#### Porcelana de huesos.-

Es también una porcelana blanda de gran translucidez y resistencia al impacto y desconchado. Tiene color variable entre marfil y blanco. Se utiliza para la fabricación de vajillas finas y objetos de adorno. Su composición tradicional de la pasta es : caolín 25 %, ceniza de huesos 50 % y feldespato 25 %. A veces hay que adicionar arcillas plásticas e, incluso, pequeñas cantidades de bentonitas para mejorar la plasticidad, pero con riesgo de perder translucidez y blancura.

### Porcelana dura.-

En su más estricto sentido original, es una pasta intensamente blanca, translúcida, resistente, dura y completamente vitrificada, de utilidad para la fabricación de vajillas y objetos de arte. Las temperaturas de cocción oscilan entre el cono 9 (1280°C) y el cono 16 (1460°C).

Se elabora con un 50 % de caolín muy puro (menos del 1 % de  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ ), un 25 % de cuarzo, e igual porcentaje de feldespato potásico.

Posteriormente y una vez conocidas sus buenas características técnicas de resistencia mecánica, refractariedad, resistencia al choque técnico y al ataque químico, de aislamiento eléctrico, etc., el uso de este tipo de pasta se extendió, - con las modificaciones pertinentes, a la fabricación de material para hornos y laboratorios para la industria química y -- aisladores eléctricos. De esta manera, se pueden citar los siguientes tipos de porcelanas duras, o semiduras, en las cuales se sacrifican algunas características tradicionales en favor de otras mejoras técnicas.

### Porcelana eléctrica.-

En ella no es tan interesante la blancura y translucidez como una total vitrificación (absorción nula) para usos de alta tensión, o una absorción máxima del 0,5 % para aisladores de baja tensión. Otra característica importante es la resistencia mecánica, pues en muchas ocasiones los esfuerzos de tracción son importantes.

Como materias primas se emplean caolines, arcillas plásticas, feldespato y cuarzo principalmente. El contenido en álcalis de las materias primas es perjudicial, pues aumenta el factor de pérdidas disminuyen la resistividad y la rigidez dieléctrica y la temperatura máxima de utilización de estas porcelanas, siendo más perjudicial, en este sentido, el sodio que el potasio. Aumentando la proporción de arcillas sobre las de cuarzo y feldespato se mejoran la resistencia mecánica y al choque térmico.

#### Porcelana química.-

En este tipo de pasta interesa una gran resistencia mecánica, al choque térmico y al ataque químico (excepto  $\text{FH}$  y  $\text{NaOH}$ ), es también importante la blancura.

Las arcillas empleadas son caolines y arcillas plásticas en menor proporción, junto con feldespato y cuarzo finamente molidos. Sus usos principales son la fabricación de aparatos y equipos para ingeniería química y material para hornos y laboratorios.

#### 6.1.7.- Pastas especiales

Bajo este nombre se ha pretendido agrupar aquellas pastas, de desarrollo más reciente, cuya composición se aparta en mayor o menor medida de las porcelanas tradicionales, pero que frecuentemente se suelen denominar también "porcelanas". En su composición intervienen, además de arcillas y algo de fundentes cantidades a veces importantes de materiales adicionales, -

en especial, óxidos refractarios puros. Estas pastas constituyen así un puente entre las porcelanas duras tradicionales y los óxidos sinterizados. Los principales grupos de dichas pastas cerámicas son los siguientes :

Porcelana de mullita o sillimanita

Porcelana rica en alúmina

Porcelana de Zircón

Pastas de cordierita

Pastas de esteatita

Pastas de forsferita

Pastas de espinela

Pastas de pirofilita

Pastas de óxido de litio

Pastas ricas en magnesia

Pastas de óxido de berilo

Pastas de rutilo y titanatos.

Por sus buenas características eléctricas como aislantes de bajas pérdidas, resistencias al choque térmico y al calor y su buena resistencia mecánica, son ampliamente utilizadas en las industrias electrotécnica y electrónica, así como en materiales especiales para ciertos usos de laboratorio e ingeniería avanzada.

Las arcillas utilizadas para su fabricación son principalmente caolines y arcillas grasas en porcentajes variables, que oscilan entre el 1 % y 90 % y, opcionalmente, pequeñas cantidades de bentonitas. A diferencia de las porcelanas tradicionales, en estas pastas cerámicas no se utiliza cuarzo como materia prima, ya que por lo general no debe existir sílice libre en la pasta cocida.

#### 6.1.8.- Refractarios

Como material refractario en un sentido amplio se consideran a aquellos productos naturales o manufacturados -- que pueden soportar temperaturas elevadas en condiciones especificas de empleo sin deformar o fundir.

El uso de materiales refractarios no sólo está ligado a su resistencia al calor, sino que depende de otros factores. En general se pueden considerar como características - esenciales en los materiales refractarios las siguientes:

- 1.- Refractariedad
- 2.- Refractariedad bajo carga constante y temperatura creciente.
- 3.- Resistencia a la compresión
- 4.- Exactitud y estabilidad dimensional
- 5.- Resistencia a la abrasión
- 6.- Resistencia al resquebrajamiento por choque térmico
- 7.- Resistencia a la destrucción química
- 8.- Densidad aparente
- 9.- Porosidad aparente

10.- Absorción de agua

11.- Composición química

Según los usos a que se destinen será necesario - sacrificar algunas de estas características en favor de -- otras, ya que es muy difícil que exista un material que cumpla satisfactoriamente todas las especificaciones.

Norton hace distinción entre los siguientes tipos de refractarios:

- Refractarios densos
- Refractarios aislantes térmicos
- Argamasas, elementos, hormigones y recubrimientos refractarios
- Refractarios electrofundidos para la industria del vidrio
- Fibras refractarias a partir de caolín fundido
  
- Las arcillas empleadas en refractarios densos son arcillas refractarias naturales. Una arcilla se empieza a considerar refractaria cuando posee un cono pirométrico equivalente superior al cono 15 (1435°C).

Estas arcillas pueden ser más o menos plásticas -- como las fire-clay o no plásticas y duras como las flint-clay.- Otro tipo son las arcillas con alto contenido en alúmina, como las del tipo burley y las arcillas bauxíticas, prefiriéndose en estos casos las que contienen diasporo en vez de gibsita.

Otro tipo de arcilla refractaria plástica son las ball-clays, pobres en fundentes, pues aunque presentan una gran contracción, son utilizadas en materiales refractarios bajo el nombre de arcillas plásticas refractarias de alto poder ligante (Refractory bodn clays).

El uso de caolines para refractarios se ha desarrollado algo más tardíamente, debido a que, comparado con las arcillas refractarias, el caolín tiene baja resistencia y gran -- contracción en la cocción, lo que implica un gran uso de chomota, además de la necesidad de utilizar hornos de alta temperatura para su cocción.

En las arcillas refractarias existe una gran variación en su composición, no sólo en sus componentes mayoritarios sino también en sus impurezas.

El punto de reblandecimiento será tanto más alto cuanto más elevado sea el contenido en alúmina de la arcilla y más bajo en las arcillas ricas en fundentes. Unos pocos enteros de óxidos de hierro pueden rebajar el punto de fusión de 20 a 30° C. Los álcalis en proporciones superiores al 1 ó 2 % pueden ocasionar una seria vitrificación y dar lugar a contracciones y resquebrajamientos en servicio. Otras impurezas como el titanio, la cal y la magnesia tienen efectos menos graves.



Las propiedades físicas de las arcillas refractarias varía tan ampliamente como su composición. Las arcillas no plásticas son duras y presentan fractura concoidea, no se deslían en agua y cuando se cuecen muestran poca o ninguna contracción, teniendo un efecto semejante a la chamota. Las arcillas plásticas se convierten pronto con agua en una masa plástica y presentan gran contracción al secado y la cocción.

Hoy en día un refractario casi nunca se fabrica con un solo tipo de arcilla, pues los materiales refractarios deben cumplir una serie de especificaciones, propias de cada país, basada en valores límites para las características físicas, químicas, mecánicas y tecnológicas que son casi imposibles de alcanzar con una única arcilla.

Las arcillas utilizadas se emplean de dos modos distintos : en forma de chamota y como aglomerante de ésta. Las cantidades de chamota (arcilla cocida) utilizadas son muy variables, pudiendo llegar hasta el 90 %, siendo naturales porcentajes entre el 15 y el 25 %. Su misión principal es contrarrestar las contracciones de cocción con el fin de asegurar una estabilidad dimensional tanto en la fabricación del material refractario como durante su utilización, haciendo necesario, por otra parte, el control de la temperatura máxima de cocción. El estudio cuidadoso de la granulometría de la chamota a utilizar es uno de los factores esenciales en la fabricación de cualquier buen refractario, pues va a influir sobre una serie de características importantes como son la porosidad, densidad, resistencia mecánica, etc.

Los ladrillos refractarios de alta y muy alta re-

refratariedad contienen una porción considerable de arcilla refrataria no plástica y semiplástica, con un CPE de 33 a 35 y una débil contracción de secado y de cocción. Ya que estas arcillas tienen poca plasticidad, se aglomeran con arcillas refratarias plásticas dotadas de un CPE de 29 a 33. En algunos casos se añade al aglomerante caolín refractario de elevada contracción de cocción, con un CPE de 34. Igualmente se añade arcilla calcinada o chamota en cantidad variable para reducir la contracción de cocción y dar mayor estabilidad al ladrillo durante su utilización (postcontracción).

Como las arcillas refratarias de elevada calidad se encuentran en un reducido número de yacimientos, se están utilizando cada vez con mayor magnitud los depósitos sedimentarios de caolines. A causa de su gran contracción estas arcillas deben calcinarse una proporción considerable hasta obtener una chamota estable y luego aglomerarse con caolín en bruto. Se puede así fabricar ladrillos excelentes cuando se cuecen estos caolines hasta temperaturas de 1700° C.

Para ladrillos de menor refratariedad se utiliza normalmente una arcilla refrataria o mezcla de varias arcillas. Un caso particular son los ladrillos para cucharas de fundición en los que se emplean arcillas de menor refratariedad, constituidas por caolinita, illita, sílice libre y contenido apreciable de impurezas productoras de gases. Esta composición las hace expansivas a las temperaturas de trabajo de las cucharas (1200° C) produciendo un sellado perfecto de las juntas.

Los ladrillos de alto contenido en alúmina, para condiciones de trabajo muy severas, tiene porcentajes de alú-

mina desde el 50 al 99 %, por lo cual se necesitan otras materias primas que no sean caolín o arcillas refractarias normales, como arcillas de diasporo, arcillas bauxíticas u otros minerales y/o productos sintéticos (silimanita, andalucita, cianita, corindón, etc.). Las arcillas de diasporo, que contienen normalmente más del 60 % de  $Al_2O_3$ , son muy utilizadas, ya que presentan suficiente plasticidad y buenas propiedades de cocción.

Las normas UNE establecen las siguientes clasificaciones para los refractarios densos, en las que se tiene en cuenta, principalmente, la composición química y la refractariedad, habiéndose agrupado las distintas calidades existentes en cada grupo.

Refractarios aluminosos			
$Al_2O_3$ .....	30 a 45 %		
$Fe_2O_3$ .....	2 a 2,5 % como máximo (según calidades)		
CaO+MgO.....	0,5 a 1 %	"	"
$K_2O+Na_2O$ .....	1,2 a 2 %	"	"
Refractariedad : cono Seger 30 a 34 como mínimo (según calidades).			

Refractarios sílico-aluminosos

$Al_2O_3$	.....	10 - 30 %	
$Fe_2O_3$	.....	2,5 - 3 %	máximo (según calidades)
CaO + MgO	.....	1,5 %	"
$K_2O + Na_2O$	.....	1,5 - 2 %	" (según calidades)

Refractariedad mínima : cono Seger 28

Refractarios de semisílice

$SiO_2$	.....	88 %	mínimo
$Al_2O_3$	.....	10 %	máximo
$Fe_2O_3$	.....	2,5	"
CaO + MgO	.....	0,5	"
$K_2O + Na_2O$	.....	0,5	"

Refractariedad mínima : cono Seger 27

La nomenclatura existente en USA en lo referente a refractarios de aluminosilicatos está reflejada en el Cuadro nº 30.

- Los productos refractarios aislantes han tenido un gran desarrollo últimamente ya que presentan las siguientes ventajas con respecto a los refractarios densos.

a) Buen aislamiento térmico con el consiguiente ahorro energético

Cuadro nº 30. PASTAS REFRACTARIAS DE ALUMINOSILICATOS.

COMPOSICION				NOMENCLATURA	MATERIAS PRIMAS
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C.P.E.	Estados Unidos	
			41/42	Ricas en alúmina 99 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Alúmina fundida como base  Arcilla y alúmina calcinada de diasporo o bauxita
			40	90 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
			39	80 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
			36	70 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
			35	60 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
			34	50 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
62	38		38		
80	18'4	1'56	+ de 40	Mullita o sillimanita	Sillimanita, andalucita o cianita calcinadas con arcilla aglutinante. Alúmina pura y sílice. Caolín (68-70 %) y alúmina (30-32 %).
72'14	26'3	1'56	39		
63'20	34	1'66	33 - 39		
44-45	51-53		31 - 34	Caolin	Caolin altamente calcinado (alto contenido en chamota)
				De arcilla refractaria:	
43-44	51-53		33	Superduty	Arcilla de diaporos o arcillas bauxíticas  Arcillas refractarias naturales mezcladas convenientemente
35-42	52-60		31 ½	Highduty	
31'33	65'42	2'34	29	Mediumduty	
26'34	70'50	2'28	15 - 19	Lowduty	
	72 mínimo		27	Semisílice	Rocas de sílice fundamentalmente

tico y la posibilidad de una reducción de espesor y peso - de las paredes de los hornos.

- b) Menor acumulación de calor en las paredes y techos, lo que les hace muy interesantes en hornos de funcionamiento intermitente.

Como desventajas, relacionadas con su porosidad (superior al 45 % en volumen), se pueden citar las siguientes:

- a) Disminución de las principales propiedades mecánicas.
- b) Menor resistencia a la abrasión y corrosión que les inutiliza para su uso en contacto con escorias o vidrios fluidos.
- c) Menor temperatura máxima de utilización. Aunque últimamente este límite se ha ampliado por encima de 1650° C.

Los materiales refractarios aislantes se pueden dividir en :

- 1) Materiales utilizados en el aislamiento de soporte.
- 2) Refractarios aislantes en contacto directo con el fuego.

Para la fabricación de ladrillos aislantes se usan arcillas parecidas a las empleadas en los ladrillos de construcción normal y ladrillos refractarios densos, junto con materiales que les hacen porosos (polvos de carbón o de corcho, naftalina, espumantes, etc.). Existen arcillas naturales que expanden si la cocción es rápida, estas arcillas se utilizan normalmente en la fabricación de agregados ligeros, pero pueden obtenerse directamente ladrillos aislantes de arcilla expansionada, reduciendo la permanencia de la arcilla en el horno.

- Para morteros, cementos y hormigones refractarios se usan las mismas arcillas refractarias a que venimos refiriéndonos, bien como aglomerantes y chamota, o sólo como chamota en caso de hormigones.

#### 6.1.9.- Abrasivos

Los productos abrasivos, como muelas, discos, etc. se componen de granos de material abrasivo aglutinados por una pasta cerámica y cocidos. Los granos abrasivos pueden ser de -- cornidón natural, alúmina fundida o cornidón artificial, carburo de silíceo, carburo de boro, esmeril, diamante, etc.

El aglutinante debe poseer resistencia y tenaci--dad, para ello se emplean arcillas caolinífticas y/o caolines, -feldespatos, etc., formando una mezcla cerámica tradicional, --que se cuece alrededor de 1250º C, o bien puede tener una natu--raleza más vítrea y cocerse a menor temperatura.

#### 6.1.10.- Cementos

El cemento Portland se puede definir como un aglo--merante obtenido por la pulverización del clinquer resultante de la calcinación hasta la fusión incipiente (1300-1400º C) de una mezcla íntima de materiales calcáreos y arcillosos que está com--puesta, esencialmente, por silicatos y aluminatos de calcio.

Se pueden considerar cinco tipos de cementos Port--land :

a) Común

- b) De alta resistencia inicial o fraguado rápido
- c) De alta resistencia a los sulfatos
- d) De moderado a bajo color de hidratación
- e) Puzolánico

Las materias primas arcillosas son escogidas generalmente en función de los materiales calcáreos. Resulta pues un caso curioso de utilización de arcillas en la que no resulta esencial la composición química de las mismas.

Los campos de variación de la composición química de las mezclas (harinas) para cementos vienen reflejados mediante módulos o factores. A continuación se dan los valores límites y los valores indicativos de estos factores para las harinas de cemento y para las arcillas empleadas en las mismas respectivamente (Cuadro nº 31).

Los límites de estos factores en el caso de las arcillas son, como hemos dicho anteriormente, meramente indicativos; rebasar esos límites no implica necesariamente el rechazar una arcilla, pues la composición del material calcáreo puede ser tal que los factores de la harina resultante se encuentren dentro de los límites deseables.

Los valores de los módulos expuestos anteriormente permiten establecer un método de cálculo de los porcentajes de calizas y arcillas, en función de las composiciones químicas, necesarios para la fabricación del cemento Portland común. Este método, desarrollado por Newberry, sirve también para controlar la producción en función de la variación de composición química de las materias primas.



Cuadro nº 31. ESPECIFICACIONES PARA LAS HARINAS DE CEMENTO Y ARCILLAS PARA CEMENTO.

MODULOS O FACTORES	H A R I N A	ARCILLA
MODULO DE SILICATOS o factor de sílice $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$	Intervalo teórico 1,2-4 " más frecuente 2,4-2,7	2,5 (mínimo)
MODULO FUNDENTE o factor de alúmina $\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$	Intervalo teórico { 1-4 (Leighou) 0,66 mínimo (British Standard) " más frecuente 1,5-2,5 Limite recomendable 2 (mínimo)	3 (mínimo)
STANDAR DE CAL o factor de saturación de cal $\frac{\text{CaO} - 0,7 (\text{SO}_3)}{2,8(\text{SiO}_2) + 1,2(\text{Al}_2\text{O}_3) + 0,65(\text{Fe}_2\text{O}_3)}$	Intervalo teórico 0,66-1,02 " más frecuente 0,85-0,95	
CONTENIDO EN MgO	Límite teórico 3,1 (máximo) Límite recomendable 2 (máximo)	2 (máximo)

Cemento aluminoso.-

Con este tipo de cemento se consigue la resistencia mecánica deseada en un período de tiempo mucho más corto -- que usando cemento Portland común, además de una elevada resistencia al ataque químico. Sin embargo, su precio suele ser tres veces mayor.

En el cemento aluminoso el contenido en sílice oscila entre el 3 % y el 11 % y el de alúmina entre el 33 % y el 44 %; por tanto, las arcillas empleadas para la fabricación -- del Portland común no son adecuadas para este cemento, pues incluso los caolines contienen excesiva proporción de sílice. Se tiene que recurrir, por tanto, a arcillas bauxíticas y/o bauxitas ricas en gibsita y diásporo y pequeños porcentajes de coalinita y/o haloisita.

Cemento blanco.-

Es una clase especial de cemento que se utiliza con fines ornamentales o bien, debido a su gran poder reflector, en lugares donde se debe aprovechar al máximo el alumbrado, como es el caso de los aeropuertos.

Para su fabricación se utiliza calcita y caolín esencialmente. La selección de materias primas ha de ser cuidadosa, especialmente en lo que se refiere al contenido de impurezas que puedan colorear el cemento.

### 6.1.11.- Puzolanas

Puzolana es un material silíceo o sílico-alumino-  
so que por sí solo no presenta poder aglomerante hidráulico, pe-  
ro que, en forma finamente dividida y en presencia de humedad,  
reacciona químicamente con hidróxido de calcio a temperaturas -  
próximas al ambiente para formar compuestos estables que poseen  
poder aglomerante (U.S. Bureau of Reclamation, 1.956). Las puzo-  
lanas se adicionan a argamasas y hormigones, dando lugar a pro-  
ductos de bajo costo con características tecnológicas mejoradas  
y cuyo uso es especialmente ventajoso en grandes estructuras ma-  
cizas de hormigón, como presas e instalaciones portuarias.

Algunos de los resultados obtenidos con el empleo  
de puzolanas en hormigones fueron resumidos por Mielenz (1.950)  
de la manera siguiente :

- a) La reacción álcali-agregado puede ser muy retardada o inhi-  
bida.
- b) La resistencia del hormigón al ataque por aguas naturales,  
especialmente las ricas en sulfatos, puede ser aumentada.
- c) La producción de calor de fraguado, que en caso de estruc-  
turas macizas puede ser importante, disminuye.
- d) La cantidad y el costo del componente cemento se puede re-  
ducir.
- e) La resistencia a la tracción del hormigón resulta aumenta-  
da.
- f) La permeabilidad del hormigón puede ser aumentada.
- g) Las propiedades del amasado, como la trabajabilidad, tende-  
rían a la segregación o exudación de agua y resultarían me-  
joradas.

Las puzolanas pueden ser introducidas en una etapa adecuada del proceso de fabricación del cemento Portland o ser adicionada durante el proceso de mezcla del hormigón dependiendo de la situación o efecto deseado (White y Machin, 1.961).

Las puzolanas se clasifican en puzolanas naturales y artificiales.

Las puzolanas naturales son las que tienen actividad puzolánica en estado natural o pueden ser fácilmente convertidas en puzolanas, y son principalmente cenizas y tobas volcánicas, arcillas, esquistos arcillosos y diatomitas.

Las arcillas son calcinadas para obtener la máxima actividad puzolánica, por lo que algunas veces se les denomina puzolanas artificiales, aunque este nombre debiera reservarse (Faiok, 1.963) a los subproductos industriales como cenizas de hornos, de calderas, de pizarras bituminosas, de coque, cenizas volantes y tejas o ladrillos molidos.

Las arcillas usadas como puzolanas se pueden clasificar en los siguientes grupos (Mielenz y colaboradores, 1.955).

- a) Arcillas caolinfticas
- b) Arcillas montmorillonfticas
- c) Arcillas illfticas; hidro-micas
- d) Arcillas mixtas caolinfticas-montmorillonitas y con vermiculita.
- e) Arcillas paligorsqufsticas (atapulgitas).

Estas arcillas han de ser calcinadas por encima de 550° C para desarrollar su actividad puzolánica y disminuir el contenido de agua del sistema elemento + puzolana. La actividad puzolánica de la caolinita, illita, arcillas mixtas, vermiculita y paligorsquista es desarrollada por la formación de sustancia amorfa y el alto grado de desorden producido por la disidroxidación de los minerales arcillosos. La actividad de la montmorillonita es debida a alteraciones estructurales, pero no a una destrucción del retículo cristalino.

El máximo de actividad puzolánica de la caolinita se desarrolla después de la calcinada entre 550° C y 950° C. Para la montmorillonita ese mismo intervalo de la temperatura es válida, pero los vidrios que son producidos a 1200° C tienen también actividad puzolánica. Las illíticas, arcillas mixtas y vermiculitas desenvuelven la puzolanidad entre 900° C y 950° C. Todas las puzolanas de arcilla necesitan una molienda hasta una finura suficiente para desarrollar satisfactoriamente su puzolanidad.

Las arcillas usadas como puzolanas generalmente contienen del 50 al 65 % de  $\text{SiO}_2$  y 17 a 38 % de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , según Lea (1.938). Para otros autores, como Davis (1.949), una puzolana debe tener como mínimo el 40 % de  $\text{SiO}_2$ ; el  $\text{CaO}$  y  $\text{MgO}$  deben ser lo más bajos posibles, así como los álcalis. Sin embargo, puzolanas buenas pueden contener hasta 5 % de óxidos alcalinotérreos y hasta 10 % de óxidos alcalinos. El contenido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  puede alcanzar hasta el 30 % y el de  $\text{FeO}$  hasta el 20 %, en las mayores puzolanas.

De lo dicho anteriormente se deduce que la compo-

sición química no parece ser el mejor indicativo de la puzolanidad y que son necesarios métodos de ensayo directo para determinar esta actividad en las arcillas.

A título de ejemplo ofrecemos las especificaciones químicas para puzolanas según ASTM C-402-63 (Cuadro nº 32).

Cuadro nº 32. ESPECIFICACIONES QUIMICAS PARA  
PUZOLANAS (ASTM, C-402-63).

$$\% \text{SiO}_2 + \% \text{Al}_2\text{O}_3 \geq 70 \%$$

$$\% \text{MgO} \leq 5 \%$$

$$\% \text{SO}_3 \leq 3 \%$$

$$\text{Pérdidas al fuego a } 100^\circ \text{ C} \leq 10 \%$$

$$\text{Humedad} \leq 3 \%$$

## 6.2. CAUCHO, PLASTICOS Y TINTAS PLASTICAS

En la industria del caucho se emplean arcillas caoliníticas y caolines como reforzadores, pues incorporados al caucho natural confieren a éste propiedades mecánicas superiores a cuando el caucho es vulcanizado sin estas adiciones, aumentando la resistencia al desgaste y la resistencia a la tracción y la dureza del mismo.

Las arcillas empleadas son ricas en caolinita y haloisita ya que las que contienen montmorillonita e illita no

obran como reforzadores activos del caucho, pues al eliminar agua a la temperatura de vulcanización (140° C) producen una textura esponjosa.

Sin embargo, las bentonitas sódicas son utilizadas como estabilizantes de emulsiones de látex de caucho natural, de caucho sintético y de plásticos, por ejemplo, en la fabricación de objetos de goma y tintas.

Los caolines son las cargas inorgánicas más utilizadas en la industria del caucho vulcanizado debido a su bajo costo, además, producen color blanco, lo cual permite que se puedan añadir pigmentos colorantes inertes, cosa que no es posible cuando se usa "negro de humo".

Las arcillas y caolines para caucho se clasifican en "duros" y "blandos".

Los caolines "duros" son los que confieren al caucho vulcanizado un módulo de ruptura elevado, buena resistencia a la abrasión y productos crudos bastante rígidos.

Los "blandos" dan lugar a composiciones de caucho que, antes de ser vulcanizados, no tienen resistencia mecánica alguna; no pudiendo ser usados, por ejemplo, en composiciones para hacer tubos, pues no mantienen su perfil circular al deformarse bajo su propio peso. Con estos caolines se obtienen compuestos flexibles pero con resistencia y módulos de ruptura menores.

Esta clasificación no tiene relación con la composición química o mineralógica de los caolines, pero sí parece tenerla con la manera de presentarse en la naturaleza, así por ejemplo, los caolines compactos se suelen comportar como caolines "duros", mientras que los que son fácilmente friables se comportan como "blandos" en términos generales.

Según Gongwer, los caolines duros tienen más del 80 % en peso de partículas, con un diámetro equivalente inferior a  $2 \mu$ . Para los caolines blandos este valor es inferior al 50%. Este autor sugirió un ensayo simple para diferenciarlos mediante la medida de la altura de la columna de una suspensión acuosa de caolín después de 48 horas de sedimentación; considerando como caolines duros los que presentan una altura de columna líquida entre 70 al 80 % y como caolines blandos los que tienen una altura de columna líquida entre 40 al 50 % de la altura original de caolín en suspensión. Por lo tanto, se puede afirmar que cuanto mayor sea el porcentaje de la parte líquida sobre el total, mayor será el poder reforzador del caolín.

En las normas técnicas brasileñas existen especificaciones químicas en forma incompleta para caolines como carga de caucho. Estas especificaciones son las siguientes (Cuadro nº 33) :

Cuadro nº 33. CARACTERISTICA DE CAOLINES PARA CAUCHO

(ABNT (1.954), EB-IS).

Rechazo en criba U.S.S. nº 325	$\leq 1$ %
% $\text{SiO}_2$ .....	40-45 %
% $\text{Al}_2\text{O}_3$ .....	35-45 %
Pérdidas al fuego.....	$\leq 15$ %
% Cobre.....	0,001 %
% Manganeso.....	0,02 %



El cobre y el manganeso obran como ratardadores - de la vulcanización, por lo cual sus contenidos deben ser míni mos. Las normas brasileñas no aportan muchos datos sobre granu lometría, factor éste muy importante que permite la división - de los caolines en duros y blandos.

Las arcillas caolinífticas muy puras (caolines), - así como las arcillas calcinadas parcialmente para eliminar - la materia orgánica (ball-clay) son las que mejor cumplen es-- tas especificaciones.

Hay otras especificaciones más concretas que per- mite n diferenciar los caolines "duros" y "blandos". Para ello se tienen en cuenta la granulometría y la blancura. Así, la Hu ber Kaolín Co., establece los siguientes valores límites (Cua- dro nº 34).

Cuadro nº 34. CARACTERISTICAS DE LOS CAOLINES PARA CAUCHO (HU- BER KAOLIN CO.).

<u>CAOLINES DUROS :</u>	
Humedad máxima a 110°C.....	1 %
% Residuo en tamiz USS nº 325.....	0'03-0'17 %
% en peso inferior a 2 $\mu$ .....	87-92
% en peso superior a 5 $\mu$ .....	3-5 %
Indice de blancura.....	76-77
<u>CAOLINES BLANDOS :</u>	
Humedad máxima a 110°C.....	1 %
% Residuo en tamiz USS nº 325.....	0'02-0'3 %
% en peso inferior a 2 $\mu$ .....	55-74 %
% en peso superior a 5 $\mu$ .....	8-25 %
Indice de blancura.....	74-84

Souza Santos, Genova y Souza Santos, estudiando los caolines y arcillas brasileños como reforzadores de caucho tomaron el caolín Dixie (duro) y Mac Nemeé (blando) como término de comparación, determinando varias características físico-mecánicas de los caolines y del caucho vulcanizado con esos caolines. Los valores encontrados fueron los siguientes :

Caolín duro Dixie : Composición mineralógica a base de caolinita y algo de haloisita, 84 % en peso de partículas inferiores a 2 .

Caucho con caolín Dixie :

Tiempo de vulcanización.....	50 minutos
Módulo (con alargamiento del 300 %)	112 Kg/cm <sup>2</sup>
Carga de ruptura.....	161 Kg/cm <sup>2</sup>
Alargamiento de ruptura.....	400 %
Dureza Shore.....	60
Desgaste.....	410 cm <sup>3</sup> / Vc x h

Caolín blando Mac Nemeé : Composición mineralógica a base de placas hexagonales de caolinita bien cristalizadas, 54 % en peso de partículas inferiores a 2

Caucho con caolín Mac Nemeé :

Tiempo de vulcanización.....	30 minutos
Módulo (con alargamiento del 300 %)	78 Kg/cm <sup>2</sup>
Carga de ruptura.....	155 Kg/cm <sub>2</sub>
Alargamiento de ruptura.....	480 %
Dureza Shore... ..	60
Desgaste.....	520 cm/ Vc x h

Comparando los resultados obtenidos con los dos tipos de caolines, se observa que el caolín Dixie da mejores resultados para las características del módulo, carga de ruptura y desgaste e inferiores para el alargamiento de ruptura, mientras que la dureza presenta valores parecidos en ambos caolines.

Una vez que los caolines, cuya utilización para cauchos se quiere investigar, hayan cumplido las especificaciones de composición, granulometría y blancura, que en este apartado se han descrito, deben ser ensayados en las diversas composiciones de caucho, y sus características físico-mecánicas comparadas con las composiciones patrones anteriores.

#### Plásticos y tintas plásticas.-

Como ya hemos dicho anteriormente el caolín es usado como carga en cauchos y plásticos para aumentar la resistencia mecánica, resistencia a la abrasión y la rigidez de estos materiales.

De una manera general se puede decir que la mayoría de los productos manufacturados pueden ser extruidos más fácilmente después de la adición de caolín como carga.

Las razones más importantes para el empleo de caolín en cauchos y plásticos es su blancura y menor precio que otros pigmentos blancos.

La adición de caolín a masas termoplásticas y ter

mofijas produce superficies más lisas, un acabado más atrayente, buena estabilidad dimensional y elevada resistencia al ataque químico. Por otra parte, las placas laminares de caolinita ocultan las fibras reforzadoras del plástico y dan a la masa propiedades satisfactorias para el moldeo de piezas de formas complejas. Además, el caolín confiere a los plásticos excelentes propiedades electroaislantes para su uso como revestimiento de hilos de conducción eléctrica.

En las tintas, el caolín es usado porque es químicamente inerte e insoluble en el sistema complejo que constituye la tinta, tiene un elevado poder de cobertura, confiere a las tintas las propiedades fluidas adecuadas y tiene bajo precio.

Es interesante que una fracción apreciable del caolín tenga dimensiones coloidales para permanecer en suspensión en el vehículo de las tintas, impidiendo sedimentar a los pigmentos.

Mediante tratamiento químico de los caolines se puede transformar la caolinita, que es naturalmente hidrofílica en caolinita hidrofóbica y/o organofílica.

Los caolines organofílicos están siendo utilizados en la industria del caucho, ya que estos caolines son de más fácil incorporación al polímero, permiten añadir más cantidades de pigmentos, mejoran las velocidades de cura y vulcanización, el módulo de ruptura y la resistencia a la tracción.

En tintas y plásticos los caolines organofílicos

se dispersan y embeben más rápidamente, dan mayor estabilidad a las suspensiones, mejoran la resistencia al agua y disminuyen hasta cerca de diez veces la viscosidad.

### 6.3. PAPEL

El papel es una lámina delgada y uniforme de fibras de celulosa dispuestas como un retículo muy fino.

Este entramado, por su transparencia e irregularidades superficiales, no es válido por si solo y se hace necesaria la adición de agentes ligantes (colas o adhesivos), tales como almidones y resinas, así como la incorporación mecánica al conjunto de cargas o rellenos minerales con diversas finalidades específicas. Estas cargas aumentan la masa específica, la consistencia y flexibilidad, facilidad de impresión, el brillo, la blancura y la lisura de la superficie, disminuyendo, por otra parte, el consumo de celulosa.

Las cantidades de cargas adicionadas al papel varían del 5 al 40 % para el caolín, del 5 al 20 % para el talco, del 5 al 40 % para el  $\text{CO}_3\text{Ca}$ , del 2 al 20 % para diatomitas y del 1 al 20 % para el dióxido de titanio y el sulfato de zinc.

Los caolines para fabricación de papel pueden ser divididos en dos tipos : caolines para carga o llenado (filler clays) y caolines para revestimiento o cobertura (coating clays). Estos últimos son los caolines que en forma de una barbotina, conteniendo un adhesivo como resina, almidón o caseína, son esparcidos en la superficie del papel para recubrirla con

una película que torna a la superficie menos absorbente, menos rugosa y más blanca y brillante.

Las exigencias para caolines empleados en cobertura son más rigurosas que para carga.

El contenido en  $\text{SiO}_2$  de los caolines para papel es corriente que oscile entre el 45 y 55%; la alúmina,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , entre el 37 y 40%; los óxidos de hierro,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , no suelen sobrepasar el 1%, debiendo mantenerse por debajo del 0,3% cuando el uso sea para cobertura; el  $\text{TiO}_2$  suele ser inferior al 1,8%. Las pérdidas por calcinación suelen ser mayores del 9% en caolines para carga y superiores al 12% en el caso de su uso en cobertura. El PH oscila entre 4,5 y 7.

Aunque la composición química puede ser orientativa sobre la calidad de un caolín, especialmente por su influencia en la blancura, son esta última propiedad junto con la granulometría las características en las que se basan los criterios que rigen en la selección de un caolín como carga o estucado para papel. Estas especificaciones se mueven usualmente dentro de los siguientes márgenes:

Cuadro nº 35. CARACTERISTICAS DE LOS CAOLINES PARA PAPEL

CARACTERISTICAS	CARGA	COBERTURA
Indice de blancura (mínimo)	75	83
Rechazo en tamiz de 200 mallas (máximo)	0,05%	0,007%
Tamaños 5 (máximo)	30%	8%
Tamaños 5 (mínimo)	70%	90%
Tamaños 2 (mínimo)	40%	70%

A continuación se ofrece en forma resumida y como ejemplo comparativo, las especificaciones dentro de las que se encuentran algunas calidades de la Huber Kaolin Co. (Cuadro nº 36)

Cuadro nº 36. ESPECIFICACIONES DE LOS CAOLINES PARA PAPEL  
(Huber Kaolin Co)

CARACTERISTICAS	CARGA	COBERTURA
Indice de blancura	79-83,5	83,5-85,5
PH	4,5-7	3,7-6,2
Resíduo tamiz 200 mallas (máximo)	0,03-0,05%	0,005-0,007%
Tamaños 5	12-35%	3-8%
Tamaños 2	30-68%	70-80%

La industria papelera de Sao Paulo (Brasil) somete a los caolines cuyas especificaciones se encuentran entre los valores límites que para uso en cobertura de papel se han señalado anteriormente, a los siguientes ensayos específicos:

- 1) Ensayos en tinta de cobertura de papel
  - a) Viscosidad
  - b) Sólidos totales
  - c) pH
  
- 2) Ensayos en papel (después de recubierto con la tinta en una proporción de 55 gr/m<sup>2</sup>)
  - a) Reflectancia
  - b) Brillo
  - c) Lisura

Los valores que esta industria considera como satisfactorios, son los siguientes:

- Viscosidad de la tinta, con concentración de sólidos totales del 42%, variando entre 100 y 200 cp (tolerandose un máximo de 250 cp)
- pH en torno al valor 10
- Reflectancia por encima del 70% (buenas calidades superior al 80%)
- Brillo por encima del 50% (buenas calidades superior al 70%)
- Lisura por encima de 30 segundos (buenas calidades superior a 50 segundos)

Las especificaciones de la Huber Kaolin Co. establece para la viscosidad de los caolines para uso en estucado de papel los valores límites de 100-150 cp medida en viscosímetro Brookfield con una velocidad de 20 rpm. y una tinta con una concentración del 70% de sólidos totales. Este hecho indica la superior calidad de los caolines norteamericanos en relación con los brasileños.

#### 6.4. LODOS DE SONDEOS

El lodo empleado en la perforación de pozos es definido por Rogers (1963) como una "mezcla de agua con arcilla que permanece en suspensión durante un tiempo considerable". Consta por tanto de una fase dispersa (arcilla + partículas densas para aumentar la masa específica del fluido) y fase dispersante (agua). Contiene además otras partículas sólidas



y diversas sales en solución, según la naturaleza de la arcilla y del agua usadas.

Un buen lodo debe cumplir las siguientes funciones principales.

- 1) Debe tener unas buenas propiedades tixotrópicas que permitan gelificar y mantener en suspensión los detritos cuando se detenga la perforación, evitando así que se depositen en el fondo y atasquen el sondeo. Una vez reanudada la perforación, deben comportarse como sol y transportar consigo los detritos hasta la superficie.
- 2) Formar una costra o película que ayude a sostener las paredes del pozo hasta el entubado, a la vez que impida la entrada de agua de las formaciones rocosas hacia el pozo y viceversa.
- 3) Lubrificar y enfriar los elementos de perforación
- 4) Ayudar a soportar el peso del tren de varillaje
- 5) Ayudar a mantener la presión adecuada para evitar erupciones peligrosas de gas o petróleo.
- 6) Ser fácilmente bombeable y no corrosivo

El hinchamiento (swelling) dispersión en el agua y las propiedades tixotrópicas de algunas arcillas pueden conferir propiedades especiales a los lodos de perforación, que son diferentes de otros líquidos de igual viscosidad aparente, como la melaza y los aceites lubricantes.

Las dispersiones acuosas de bentonitas sódicas son las más usadas para éste tipo de utilización.

El rendimiento de una arcilla se determina por el número de  $m^3$  de lodo, con 15 cp de viscosidad aparente, que se puede preparar con una tonelada de arcilla seca y pulverizada.

De acuerdo con el rendimiento las arcillas son -- clasificadas por Petrobrás (Petróleos Brasileños) en tres grupos.

- 1) Arcillas de alto rendimiento ( $12,5 m^3$  a  $15 m^3$  de lodo); en ellas la relación  $SiO_2/Al_2O_3$  varía entre 5 y 7.  
Ejemplo las arcillas sódicas y las magnesianas (palyorsquitas).
- 2) Arcillas de medio rendimiento: 6 a  $11 m^3$  de lodo. La relación de  $SiO_2/Al_2O_3$  varía entre 3 y 4.
- 3) Arcillas de bajo rendimiento: menos de  $6 m^3$  de lodo.

Las principales arcillas usadas son las bentonitas sódicas por sus propiedades tixotrópicas, transformación sol-gel (isotermica reversible), de tanta importancia en los fluidos de perforación. Este fenómeno ocurre con concentraciones del orden del 2% al 6% en las bentonitas sódicas y de litio, siendo las únicas en las que la tixotropia aparece a concentraciones tan pequeñas.

El uso de bentonitas cálcicas, a pesar de poseer un mayor viscosidad, ha acabado abandonandose por que tienen mayores pérdidas de agua y dan lugar a espesores mayores de la costra o pared de filtración (gel-cake) lo cual disminuye

la superficie de circulación y dificulta las maniobras de perforación.

Las arcillas palygorsquíticas, atapulgitas principalmente, y sepiolitas, dan lugar a dispersiones acuosas poco tixotrópicas, pero sin embargo tienen la gran ventaja de su viscosidad y de que la resistencia del gel no sufre alteración aunque haya grandes variaciones en las concentraciones de electrolitos. Por eso, son muy usadas en perforaciones de rocas -- muy alcalinas o en contacto con agua salada. También se usan -- para hacer una pared (filter cake) porosa. Su alto porcentaje en pérdidas de agua (volumen de filtración) puede ser corregido con adiciones.

Las arcillas caoliníticas no suelen utilizarse -- por no alcanzar la tixotropia y viscosidad exigidas. Algunas arcillas de naturaleza fundamentalmente illítica pueden alcanzar los valores deseados y por tanto deben ser ensayados con este fin.

Las especificaciones que una bentonita para lodos de perforación debe cumplir, según el American Petroleum Institute y la Oil Companies Materials Association, son las siguientes (Cuadros nº 37 y 38):

Cuadro nº 37. ESPECIFICACIONES DE BENTONITAS PARA LODOS DE PERFORACION (A.P.I.)

Viscosidad plástica: (10 gr. bentonita en 350 ml de agua)	8 cp (mínimo)
Volumen de filtración: (10 gr. bent. en 350 ml de agua)	14 ml (máximo)
Resíduo de cribado húmedo: en tamiz de 200 mallas U.S.A.	2,5% (máximo)
Contenido en humedad:	12% (máximo)

Cuadro nº 38. ESPECIFICACIONES DE BENTONITAS PARA LODOS DE PERFORACION (O.C.M.A.)

Viscosidad aparente: (6,5 gr. de bent./100 ml luido base)	15 cp (mínimo)
Volumen de filtración: (7,5 gr. de arcilla/100 ml agua)	15 ml (máximo)
Humedad:	15% (máximo)
Resíduo de cribado húmedo en tamiz de 200 mallas	2,5% (máximo)
Fracción fina de cribado en seco que pasa por tamiz de 100 mallas	98,0% (mínimo)

## 6.5. AGLOMERANTES DE ARENAS DE MOLDEO PARA FUNDICION

Dentro de las muchas aplicaciones tecnológicas de las arcillas, una de las más importantes es la industria metalúrgica, especialmente en fundición, para el moldeo en arena. Una arena de fundición es un material heterogéneo, constituido por un elemento granular refractario (arena) y por un elemento aglomerante que puede ser mineral (arcilla) u orgánico (aceites, resinas, derivados de cereales y otros) usado para la confección de moldes monolíticos de fundición, designados más comúnmente como moldes refractarios (BROSCH y LO RE, 1965).

Las arenas de fundición pueden ser naturales y sintéticas. Las arenas naturales pueden ser utilizadas directamente sin apenas preparación especial con solo humedecerlas adecuadamente. Las arenas sintéticas son obtenidas artificialmente mezclando a la arena silícea aglomerantes minerales orgánicos.

Las arcillas son aglomerantes de tipo mineral, usadas en arenas de fundición sintéticas. Estas arcillas deben tener un alto poder aglomerante de modo que la arena de fundición tenga una elevada resistencia en crudo, después de secada y en caliente (a temperaturas del orden de 800°C), para poder soportar al chorro de metal fundido y la acción del metal y de la escoria, así como resistir durante el enfriamiento (BROSCH 1953, SANDERS 1954).

La arcilla cuando se mezcla con arena y agua debe disgregarse en partículas laminares finas y recubrir de una forma continua los granos de cuarzo, ligándolos entre sí.

A continuación estudiamos los distintos grupos de arcillas según su composición mineralógica, que son susceptibles de ser utilizadas en arenas de fundición.

#### Arcillas caoliníticas.-

Las arcillas plásticas, constituidas principalmente por caolinita pero con pequeños contenidos de ilita y/o montmorillonita son bastante utilizadas como agentes aglomerantes de arenas de fundición en sustitución de las bentonitas.

Debe tenerse en cuenta antes de seguir, que el comportamiento de una arcilla como aglomerante no depende de una manera fundamental del mineral arcilloso predominante. Cuando se habla de arcilla caolinítica, no se quiere decir que la arcilla contenga sólo caolinita; esta serie en el caso del caolín - el cual precisamente no es un aglomerante adecuado por su escaso poder ligante. Existen sin embargo arcillas predominantemente caoliníticas, muy plásticas, de alto modulo o tensión de ruptura a flexión en crudo y después de cocción a 900°-1000°C, que son buenos agentes aglomerantes. Este es el caso de las "ball clay" y también de algunas arcillas refractarias tipo "fire y under clay" asociadas a lechos de carbón. Sus características ligantes son el resultado de un conjunto de propiedades de las partículas constituyentes de la arcilla, tales como, la forma laminar, pequeño espesor y granulometría muy fina de las partículas de caolinita así como a su pequeño contenido, generalmente inferior al 5%, de materia orgánica o sales inorgánicas de ácido húmico, de illita y de montmorillonita.

En las arenas ligadas con arcillas caoliníticas, los granos de arenas tienen un recubrimiento irregular, produciéndose con el tiempo agregados que favorecen un mayor número de planos de fractura y consecuentemente una disminución de la resistencia en crudo y en seco de las arcillas (GRIM -- 1962). Sin embargo cuando son mantenidas al aire después del secado desenvuelven un gran aumento de la resistencia a la compresión (Heystex, 1963). Su poder ligante en comparación con las arcillas montmorilloníticas es menor, pero poseen otras propiedades tecnológicas mejores que junto con la mayor abundancia de sus yacimientos las hacen útiles para arenas de moldeo bien sólo o mezcladas con bentonitas.

#### Arcillas haloisíticas.-

Las arcillas haloisíticas con un grado de hidratación intermedio entre dos y cuatro moléculas de agua presentan un poder ligante extremadamente elevado y superficies de moldeo muy buenas. Mientras que las formas puras de haloisita con  $2 H_2O$  ó  $4 H_2O$  son poco plásticas y sin poder ligante.

La dificultad de mantener estas arcillas en el estado adecuado de hidratación antes de su uso, no estimula su empleo a escala comercial (GRIM, 1962).

Los granos de cuarzo de las arenas aglomeradas con arcillas haloisíticas tienen un recubrimiento regular debido a la disposición paralela de los tubos de haloisita, esto hace que la resistencia en crudo sea relativamente alta en comparación con las caoliníticas, sin embargo, su resistencia en seco es la más baja de todas las arcillas consideradas (HEYSTEK, 1963).

Las arenas ligadas con arcillas haloisíticas desenvuelven, de la misma forma que las caoliníticas, gran aumento de la resistencia a la compresión cuando son mantenidas al aire después del secado (GRIM 1962).

#### Arcillas illíticas.-

Muchas arcillas illíticas producto de alteración de esquistos arcillosos o argilitas tienen un poder ligante y una plasticidad inadecuadas para su uso en arenas de moldeo. Sin embargo existen variedades de arcillas illíticas de granulometría fina y fácilmente disgregables en agua que tienen características muy satisfactorias como aglomerantes, aproximándose su comportamiento a las arcillas montmorilloníticas. Es interesante saber que el componente aglomerante de muchas arenas de moldeo naturales es la illita (GRIM, 1962).

En las arenas con arcillas illíticas, los granos de arena tienen un recubrimiento irregular, formándose agregados que favorecen un mayor número de planos de fractura, resultando una baja resistencia en crudo y en seco de las arcillas. Sin embargo la resistencia a la compresión se ve aumentada proporcionalmente al aumento del contenido de arcilla. A diferencia de las arcillas caoliníticas y haloisíticas, esa resistencia no aumenta con el mantenimiento al aire de la arena de moldeo después del secado (Heystek, 1963).

#### Arcillas montmorilloníticas y bentonitas.-

Las bentonitas son usadas preferentemente y de una manera extensiva como aglomerantes para arenas de moldeo, siendo este el mayor consumo actual de las mismas.



Las bentonitas sódicas son usadas con ligantes -- cuando se desea una mayor resistencia en seco y en caliente. -- Las bentonitas cálcicas son preferidas cuando una colapsibilidad elevada es más importante que la resistencia en seco y en caliente (USA, Military Sp. 1958).

Los métodos de ensayo de laboratorio para la caracterización de las arcillas para aglomerantes de arenas de moldeo de fundición recomendados por la American Doundrymen's Society, y que fueron adaptados por Lo Ré como métodos de ensayo en el Instituto de Pesquisas Tecnológicas del Brasil, establecen los siguientes requisitos para que una arcilla pueda -- ser usada como aglomerante (Cuadro nº 39).

Cuadro nº 39. ENSAYOS DE ARCILLAS COMO AGLOMERANTES DE ARENAS DE MOLDEO (I.P.T.B. Lo Ré)

1) Probetas húmedas o verdes:	
Humedad	3,5 - 4,5%
Permeabilidad	45 - 50 AFS
Resistencia a la compresión	0,6 - 0,7 Kg/cm <sup>2</sup>
Deformación	1,5 - 2%
Dureza	60 - 80 AFS
Colabilidad	75 - 85 AFS
2) Probetas secadas a 110°C durante 3 horas:	
Permeabilidad	60 - 80 AFS
Resistencia a la compresión	2,5 - 3 kg/cm <sup>2</sup>
Dureza	25 - 30 AFS

Las probetas fueron preparadas con la mezcla-patrón siguiente

- a) Arena de 90 AFS de módulo de finura: 100 gramos  
 b) Arcilla ensayada 100 gramos si es bentonita  
 200 gramos si es otro tipo de arcilla  
 c) Agua: 35 cm<sup>3</sup>

La especificación militar norteamericana (MIL, - 1958) establece los siguientes valores para la composición química y características físicas de las bentonitas (Cuadro - 40).

Cuadro nº 40. ESPECIFICACIONES DE BENTONITAS COMO AGLOMERANTES DE ARENAS DE MOLDEO (MIL 1958)

ANALISIS QUIMICO	Bentonita sódica	Bentonita cálcica
% SiO <sub>2</sub>	62 - 54	56 - 47
% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23 - 18	20 - 15
% CaO	0,7 - 0,2	1 (mínimo)
% Na <sub>2</sub> O	0,5 (mín.)	0,7 (máximo)
% FeO + F <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8 (máximo)	8 (máximo)
% Humedad	12 - 6	12 - 6
<b>PROPIEDADES FISICAS</b>		
Resistencia a la compresión* en verde	0,35kg/cm <sup>2</sup> (mín.)	0,35kg/cm <sup>2</sup> (mín.)
Resistencia a la compresión en seco (110°C)	2,80kg/cm <sup>2</sup> (mín.)	3,85kg/cm <sup>2</sup> (mín.)
pH	8,2 (mínimo)	4 (mínimo)
Límite líquido	525 (mínimo)	
Material que pasa por tamiz USS nº 200	75%	75%
(*) La resistencia a la compresión fué realizada sobre probetas con la siguiente mezcla-patrón: 90 partes de arena AFS (50-70 mallas); 1 parte de bentonita; 0,5 a 0,8 partes de agua.		

Un interesante estudio fué realizado por Vogel -- (1958) en una tentativa de establecer especificaciones de compra de bentonitas como ligantes de arenas de moldeo para fundición. Para ello partió de la mezcla-patrón siguiente:

9.000 gr. de arena-base  
272 gr. de bentonita  
290 ml. de agua destilada

Los resultados obtenidos están reflejados en el - Cuadro nº 41:

Cuadro nº 41: CARACTERISTICAS DE LAS BENTONITAS COMO LIGANTES DE ARENAS DE MOLDEO.

CARACTERISTICAS	VALORES SATISFACTORIOS	LIMITES DE RECHAZO
Resistencia a la compresión en verde (kg /cm <sup>2</sup> )	0,15-0,22	0,14-0,25
Resistencia a la compresión en seco (kg /cm <sup>2</sup> )	2,5 -3,9	2,1 -4,2
Dureza	5,3 -5,6	4,9 -6,0
pH (pasta de 8 g. de bentonita + 100 ml de agua) 8,2 (mínimo)		
Resistencia a la compresión en caliente a	820°C 870°C 930°C 980°C 1040°C	36 kg /cm <sup>2</sup> (mínimo) en tres temperaturas consecutivas de ensayo

La Asociación Técnica y de Investigación de la - Fundición (A.T.E.F.) perteneciente al CENIM ha elaborado normas sobre los métodos de ensayo de bentonitas para arenas de

moldeo. Algunas de las orientaciones de la A.T.E.F. son las siguientes:

Granulometría (después de secado a 105-110°C).-

- Rechazo en tamiz de 0,18 mm 2% (máximo)
- Paso a través de tamiz 0,063 mm 75% (mínimo)

Humedad a 105-100°C.-

Del 6-12%

Contenido en carbonatos totales expresado en  $\text{CO}_3\text{Ca}$ .-

5% (máximo) en peso del producto secado a 105-110°C

Límite líquido.-

350% (mínimo) para bentonitas sódicas  
130% (mínimo) para bentonitas cálcicas

Indice de hinchabilidad.-

20 (mínimo) para bentonitas sódicas  
5 (mínimo) para bentonitas cálcicas

Volumen de sedimentación.-

25 (mínimo) bentonitas sódicas  
10 (mínimo) bentonitas cálcicas

Ensayo de calentamiento (1300°C durante 15 min.).-

Después del enfriamiento la bentonita deberá estar fundida e hinchada.

Un trabajo muy interesante es el realizado por -- Dunbeck (Norman, 1941) en el cual se hace un estudio comparativo de los distintos tipos de arcillas para arenas de moldeo. - Los resultados están reflejados en el cuadro nº 42:

Cuadro nº 42

Requisitos deseables en arenas de fundición	Orden de preferencia de los distintos tipos de arcillas.		
	1º	2º	3º
Mayor resistencia a la compresión de la arena en verde	M	I	C
Mayor resistencia a la compresión de la arena en seco	M	C	I
Mayor permeabilidad	M	I	C
Mayor humedad	M	I	C
Mayor punto de sinterización	C	M	I
Mayor durabilidad	C	M	I
Mayor colabilidad (flusibilidad)	I	C	M
Mayor colapsibilidad	I	C	M
Mayor resiliencia	M	C	I
Menor contracción	C	M	I
Menor número de terrones en el desmoldeo	I	C	M
Menor trabajo de mezcla	I	M	C

M = Arcillas montmorilloníticas sódicas  
 I = Arcillas illíticas  
 C = Arcillas caoliníticas

Como puede observarse, aunque las bentonitas presentan mejores características tecnológicas en cuanto resiliencia, permeabilidad, humedad y resistencia a la compresión hay en cambio otras propiedades, que afectan en gran medida a la economía de la operación industrial, y en las que las bentonitas son inferiores a otros tipos de arcillas.

El coste final de la arena de moldeo en servicio no es sólo función del precio inicial de las materias primas, sino también de factores ligados al mantenimiento de la arena, tales como la durabilidad que influye en el consumo de arcilla a adicionar a la arena recuperada, la fluxibilidad que afecta al trabajo de relleno del molde, la formación de terrones que está ligado al servicio de desmoldeo, recuperación y tamizado de la arena, etc, algunos de los cuales son más favorables en el caso de arcillas illíticas o caoliníticas que en el de bentonitas.

#### 6.6. PELLETIZACION DE MINERALES DE HIERRO

Durante los procesos de concentración de minerales de hierro es necesario en muchas ocasiones llegar a unos grados de molienda muy finos con el fin de conseguir leyes interesantes o bien bajar las impurezas más perjudiciales a -- unos límites aceptables. Esto acarrea necesariamente la producción de grandes cantidades de finos que no pueden ser tratados correctamente en los procesos siderúrgicos. Para conseguirlo, estos concentrados finos se someten a un proceso de pelletización consistente, a grandes rasgos, en una aglomeración centrífuga mezclando el fino con agua pulverizada y sustancias aglomerantes como bentonitas, cal, etc. Las bolas (pellets) de mineral así formado, pasan por un proceso previo de secado

y precocido entre 100 y 200°C y posteriormente por una calcinación entre 900 y 1300°C. Estos pellet quedan así con una ley de hierro, homogeneidad química, tamaño, porosidad y resistencia mecánica adecuados para alimentar satisfactoriamente el horno alto a las plantas de prereducidos. Los minerales de manganeso pueden ser también pelletizados en escala industrial.

Las arcillas usadas como aglomerante, generalmente, las bentonitas sódicas en proporciones que van desde 4,5 a 10 kg de arcilla por tonelada de concentrado fino en estado seco.

Los trabajos de BROOSCH (1966), sobre las bentonitas como ligantes de finos de minerales de hierro brasileños están recogidos en el cuadro nº 43. En él se reflejan los valores, considerados por este autor como satisfactorios para los pellet con aglomerante y su comparación con los pellet sin aglomerante.

Cuadro nº43. CARACTERISTICAS DE LOS PELLET DE HIERRO BROOSCH,

1966

PELLETS CRUDOS	ESPECIFICACIONES	MINERAL DE HIERRO SIN AGLOMERANTE
% de arcilla	0,5-1,5	-
Nº máximo de caidas desde 45 m	5 (mínimo)	1
Altura máxima de las caidas (cm)	100 (mínimo)	65
Resistencia a la compresión (kg /pellet)		
a) húmedas	1 (mínimo)	0,9
b) secas a 110°C	3 (mínimo)	2,14
c) cocidas a 1200°C	200 (mínimo)	61,5

## 6.7. METALURGIA DE ALUMINIO

La escasez de bauxitas en muchos países, junto con el auge adquirido por la industria del aluminio en los últimos años ha provocado el desarrollo de algunos procesos, todavía a escala piloto o semi-industrial, de obtención de alúmina a partir de materiales no bauxíticos.

El proceso KUP desarrollado por la Pechiney Ugirre Kubilmami que se presenta como uno de los más avanzados, utiliza como materias primas caolines, pizarras aluminosas, anortositas nefelinas, residuos de carbón, etc. Estas materias primas han de tener un contenido en  $Al_2O_3 > 25\%$  y de  $SiO_2 < 50\%$ , así como unos contenidos bajos en  $CaO$  y  $MgO$ .

Después de un molido a menos de 0,8 mm, se lixivia con  $SO_4H_2$  a  $130^\circ C$ . El residuo cristalizado  $((SO_4)_3Al_2)$  se trata con  $ClH$  gaseoso, obteniéndose por enfriamiento  $Cl_3Al$  cuya calcinación produce una alúmina del 90% de riqueza.

Por el proceso Toth, de la Applied Aluminium Research Corporation, se obtiene directamente aluminio. Las arcillas se calcinan y cloruran en lecho fluido, utilizando gas clorhídrico y coque como reductor. El dicloruro de aluminio resultante se reduce a aluminio mediante pellets de manganeso.

## 6.8. REFINO Y DECOLORACION DE ACEITES Y GRASAS

Los términos de arcillas "decolorantes", "clarificantes" ó "absorbentes" son utilizados en las industrias de aceites para designar arcillas que en estado natural o después



de una activación química o térmica, presentan la propiedad de eliminar las materias colorantes disueltas en los aceites minerales, vegetales y animales.

Las arcillas decolorantes se pueden clasificar en dos grupos principales: arcillas naturales y arcillas activadas.

Dentro del primer grupo se encuentran ciertas -- arcillas montmorilloníticas "ácidas" en las que el catión saturante es predominantemente hidronio y/o magnesio. También son excelentes arcillas decolorantes naturales las atapulgitas y sepiolitas.

Arcillas inactivas pero susceptibles de activa-- ción por tratamiento con ácido clorhídrico o sulfúrico son - las bentonitas cálcicas. Las bentonitas sódicas, en cambio, - no admiten tratamiento ácido, siendo su poder decolorante en estado natural muy bajo.

Algunas arcillas montmorilloníticas, que son ac-- tivas en estado natural, son susceptibles de aumentar su po-- der decolorante mediante tratamiento ácido. En cambio otras - arcillas, como las atapulgitas, ven su actividad natural dis-- minuida cuando se las somete al mismo tratamiento.

Algunas arcillas caolínicas brasileñas, alta-- mente aluminosas y ricas en materia orgánica, son calcinadas entre 500°C y 1000°C, usándose, después de molidas, como agentes decolorantes de aceites así como en diluyentes inertes para insecticidas.

En algunas tierras fuller, especialmente las inglesas, el poder decolorante es reducido o anulado por la deshidratación térmica. Sin embargo, Grim (1962) cita el hecho de que tierras fuller montmorilloníticas o paligorsquíticas son secadas entre 400° y 600° antes de ser molidas y fraccionadas en varas granulométricas (Mc Carter, 1950). Por otro lado, la actividad decolorante de las arcillas paligorsquíticas parece ser mejorada por extrusión a presiones elevadas y bajos contenidos de humedad (Cappel 1943).

La composición química de las arcillas es insuficiente para identificar las propiedades decolorantes, pues como afirma Mantell (1951), no existe correlación directa entre la composición química y la actividad decolorante de una arcilla. Es por esto, por lo que son necesarios ensayos de laboratorio consistentes en:

Ensayo preliminar de decoloración de aceites vegetales.-

En él se determina la acción de la arcilla sobre un aceite vegetal, por ejemplo, aceite de algodón semi-refinado.

Ensayo preliminar de decoloración de aceites minerales.-

El aceite utilizado es un aceite usado de carter de motores de combustión, previamente tratado con ácido sulfúrico.

Ensayo de activación con ácido clorhídrico o sulfúrico.-

Con la arcilla activada a diferentes concentraciones, temperaturas y tiempos de activación, se realizan los dos ensayos anteriores.

Si los resultados obtenidos con estos tres ensayos se aproximan a los de las arcillas patrones o de referencia se pasa a los ensayos más completos y si no se rechazan. En estos ensayos completos, la arcilla es comparada con una arcilla patron en los tres tipos de aceites (minerales, vegetales y animales), con diversas concentraciones de arcilla, diversas temperaturas, diferentes tipos de contacto y en atmosfera a ser posible inerte, por ejemplo, nitrógeno.

En los productos comerciales usados como decolorantes, bien de forma específica o para varias clases de aceites, es común la mezcla de varios tipos de arcilla, activadas o sin activar.

Dos son las técnicas empleadas para el refinado y decoloración de aceites: proceso de percolación y proceso de filtración.

En el método de percolación el aceite pasa a través de un lecho de arcilla de tamaños comprendidos entre 2 mm y 0,25 mm. La temperatura varía entre 150 y 120°C. El flujo es de 80 a 480 litros/hora por tonelada de arcilla. Este proceso es usado generalmente en aceites minerales, empleandose arcillas naturalmente activas (paligorsquíticas y montmorilloníticas) en estado granular.

En el método de filtración, el aceite se pone en contacto con la arcilla molida y tamizada a 200 mallas (0,074 mm), a una temperatura variable entre 150° y 300°C durante 30 minutos. El porcentaje de arcilla utilizada varía entre 0,5% y el 30% de la masa de aceite. Este es separado posteriormente en un filtro-prensa o de vacío. En este proceso los facto-

res económicos más importantes son la retención del aceite - por la arcilla y la velocidad de filtración del aceite para separarlo de la arcilla.

El proceso de filtración es generalmente usado para aceites lubricantes y comestibles. En el son generalmente utilizados los tamaños más finos obtenidos en el proceso de preparación de las arcillas paligorsquíticas y montmorilloníticas naturales. Las arcillas activadas por ácido difícilmente son obtenidas en forma granular y por eso son las más usadas en el proceso de contacto.

Las sepiolitas y atapulgitas (paligorsquitas) - debido a su naturaleza fibrosa, son arcillas decolorantes -- con una gran velocidad de filtración del aceite. Chambers - (1959) recomienda adiciones del 10% al 20% de sepiolita para mejor desarrollar esta propiedad.

#### 6.9. CATALIZADORES EN LA INDUSTRIA DEL PETROLEO

Las arcillas fueron introducidas como catalizadores en el cracking del petróleo a partir del año 1936. Actualmente cerca del 40% en peso de los catalizadores utilizados son producidos a base de arcillas.

En el cracking, la fracción pesada del petróleo es vaporizada entre 425°C y 450°C, bajo presión atmosférica y con tiempos de contacto de 6 a 20 segundos. El catalizador de arcilla es utilizado por su alto rendimiento en gasolina, que es del orden del 45% del aceite pesado craqueado.

En la actualidad pueden ser usados catalizadores de sílice-alúmina sintética, ambos, sintético y de arcilla, - son producidos en forma de polvo para procesos en lechos fluidizados, o en forma de pelotas para lechos porosos fijos o móviles en un reactor. Debido a la formación de coque sobre el catalizador, éste es regenerado por la oxidación del carbono a 600°C en presencia de vapor.

Los catalizadores son preparados a partir de arcillas montmorilloníticas, haloisíticas y caoliníticas.

Las montmorillonitas usadas en USA tienen un bajo contenido en hierro. Según Grim y Kulbicki (1961) algunas de estas arcillas deben sus propiedades catalíticas al grado de sustitución de aluminio por magnesio en la capa octaédrica y, tal vez, a la inversión de algunos tetraedros en la capa de silicatos. Las arcillas son tratadas con ácido sulfúrico - y lavadas con vapor de agua y calcinadas entre 500 y 600°C, - con el fin de obtener un grado de activación, purificación y estabilidad térmica adecuados.

Las arcillas haloisíticas de Eureka (Utah) son - usadas en la fabricación de catalizadores bajo la marca comercial Filtrol SR. (Thomas 1950), no conociéndose las posibilidades de estas arcillas en otras localidades. Solo se sabe que los contenidos en hierro y metales pesados deben ser muy bajos (Milliken 1955).

Las arcillas caoliníticas sedimentarias son utilizadas para cracking de petróleo según el proceso Houdry.

Milliken y sus colaboradores (1955) presentaron los siguientes datos sobre varios catalizadores utilizados en el cracking de petróleo.

Cuadro nº 44

CATALIZADOR	AREA ESPECIFICA (m <sup>2</sup> /g)	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Bentonita de Nevada, tratada	330	22,1
Sintético, sílice-alúmina	250	12,5
Haloisita (Utah) calcinada y tratada con ácido	164	40,6
Sílice-gel	290	0
Alúmina -	78	99,8

#### 6.10. OTROS USOS

Observando de nuevo la clasificación de las arcillas según Ferreira (capítulo segundo. Cuadro nº 7), se puede deducir que hasta ahora sólo hemos descrito, dentro de cada grupo, los usos más importantes desde el punto de vista económico. Para ello se han tenido en cuenta la magnitud del consumo en cada campo de utilización, las calidades de las arcillas empleadas y la generalización del uso. Esto último se traduce en una mayor información disponible y en consecuencia en una mejor orientación mundial sobre tipos, características y especificaciones de las arcillas usadas en cada rama de la industria.

Existen, sin embargo, gran cantidad de usos de menor importancia económica actual, que sería prolijo descri-

bir por separado habida cuenta que en la mayoría de las ocasiones apenas existen especificaciones orientativas generales, sino de cada consumidor en particular, y no en todos los casos.

En la mayoría de estos campos de utilización, las arcillas empleadas son caolines, bentonitas, atapulgitas o sepiolitas y/o mezclas de estos grupos.

El caolín es comúnmente usado en la fabricación de tintas, pinturas, industria del cuero y textil, adhesivos y colas, como diluyente en pesticidas e insecticidas, etc.

Las bentonitas, atapulgitas y en menor escala sepiolita son usadas del siguiente modo:

- Como agentes de emulsión, estabilización y suspensión en la fabricación de productos medicinales y cosméticos, en jabones y detergentes, en artículos de limpieza y pulimento, en pinturas, en emulsiones bituminosas y abrasivas, etc.

- Como agentes decolorantes y absorbentes, en la clarificación de aguas, vinos, sidras, cervezas y otras bebidas, decoloración de productos textiles, recuperación del papel impreso usado, eliminación de residuos radiactivos, lechos de establos, absorción de suelos, etc.

- Como agentes impermeabilizantes en la construcción de presas, estanques, pozos, piscinas, etc. y en las inyecciones subterráneas para retardar el movimiento de los fluidos en grietas y fisuras.

- Como aislantes eléctricos en la fabricación de productos comerciales como alsifilsus, amplifilsus, diaplex y otros.

- Como cargas inertes o activas en pesticidas e in  
secticidas, recubrimiento de semillas, adhesivos y colas, fer  
tilizantes y alimentación animal.



7.- PREVISION DE POSIBLES USOS INDUSTRIALES DE UNA ARCILLA.

El espectacular avance que han experimentado - tanto las ciencias como las técnicas durante las últimas décadas, unido a los problemas de abastecimiento de materias primas y energético de los últimos años, permiten y obligan a que exista una perfecta coordinación entre los trabajos de prospección y la utilización de materias primas.

El presente estudio, de marcado carácter infraestructural, tiene por objetivo iniciar esta coordinación en el ámbito de las arcillas del país, la cual ha sido escasa, por -- causas como las siguientes :

- La baja incidencia del precio de estos materiales - en el producto final y su fácil disponibilidad no - ha justificado, en tiempos pasados, realizar inversiones importantes en su prospección y desarrollo - de metodologías.
- La industria, hasta hace pocos años, tampoco era de masiado exigente con la calidad de las materias primas, debido a que se utilizaban tecnologías poco sofisticadas.
- La gran variedad de usos y aplicaciones de estas materias primas y la diversidad de calidades utilizables en cada uso, han dificultado el que los pros--pectores tuvieran una idea clara de los materiales

que debían buscar que, por otra parte, no son fácilmente caracterizables debido a la variedad de mezclas y técnicas de producción empleadas y productos fabricados.

Esta necesidad de coordinación de esfuerzos entre los técnicos especializados en la prospección de materias primas y los dedicados a su aprovechamiento industrial en las actuales necesidades técnicas de la industria, obliga a desarrollar una infraestructura de exploración de materias primas arcillosas. Su desarrollo ha de iniciarse en dos sentidos :

- Primero.- Facilitar a los prospectores una metodología de caracterización, desde el punto de vista de sus posibles usos industriales, de cualquier arcilla, de una forma fácil y económica y que no exija una preparación especial.
- Segundo.- Disponer de un mapa del país que permita prever la existencia de yacimientos de arcillas y en el que, además, se indique su posible utilización industrial.

En este capítulo se aborda la realización de una metodología de caracterización de las arcillas desde el punto de vista de sus posibles usos industriales, la cual ha de revestir, en líneas generales, las siguientes características :

- Ha de cubrir todos los posibles usos industriales

de las arcillas en el sentido de campos de aplicación, sin pretender alcanzar un único y último uso lo cual sería erróneo debido a que, dependiendo de muchos factores (mezclas utilizadas, procesos tecnológicos seguidos, calidades deseadas, etc.), una misma arcilla se puede utilizar en múltiples usos que, en ocasiones, no tienen nada en común. Además, se obtendría un grado tal de complicación que la haría inutilizable.

- Ha de ser lo más sencilla posible sin implicar -- unos costes elevados.
- Su aplicación ha de permitir disponer de una información homogénea.
- Ha de ser aplicable a la información actualmente -- disponible en el país, representada fundamentalmente por los Mapas de Rocas Industriales a escala -- 1: 200.000, con el fin de elaborar una mapa previsor de yacimientos de arcillas, sobre el cual los Organismos competentes del Gobierno puedan programar las acciones futuras en lo que a prospección -- de arcillas se refiere.
- Ha de ser utilizable en trabajos de infraestructura y exploración de grandes áreas. En estos casos, una muestra tiene una superficie de influencia muy grande, por lo que no se puede pretender que una -- sola muestra caracterice con precisión un yacimiento

to, pero sí sus campos de aplicación. Solamente -- trabajos más detallados, que incluyan estudios eco nómicos, tecnológicos, etc., pueden definir el uso o usos idóneos de la arcilla.

El primer problema con que se tropieza al -- abordar el tema de desarrollar una metodología de caracterización de las arcillas, desde el punto de vista de sus usos in-- dustriales, es el encontrar un análisis o ensayo que sea aplicable o suministre información sobre todos sus campos de aplicación industrial. De entre los diversos ensayos o análisis -- que se pueden realizar sobre una muestra de arcilla para caracterizarla según sus posibles usos industriales, en este trabajo se ha escogido el análisis químico por entender que, si -- bien no permite determinar con precisión el que una arcilla -- sea utilizable en un determinado uso (ello siempre exigirá ensayos y análisis muy específicos), sí permite obtener una idea orientativa de sus campos de aplicación con un buen grado de discriminación y más fácilmente que otro ensayo o análisis. -- Así por ejemplo : la utilización de una arcilla en un uso cerá mico está fundamentalmente relacionada con los contenidos en alúmina (refractariedad), óxidos de hierro y titanio (color) y alcalis (fundentes); en cementos son fundamentales las relacio nes entre alúmina, óxido de hierro y sílice; las arcillas espe ciales se caracterizan por sus contenidos en óxidos alcalinos y alcalinotérreos; la utilización de una arcilla (caolín) en - papel y cauchos está controlada por los contenidos en alúmina y óxidos de hierro, etc.

Por otro lado, del análisis de la información existente en el Mapa de Rocas Industriales, se deduce que en--

tre todos los ensayos y análisis realizados sobre las muestras tomadas en su elaboración, el análisis químico es el obtenido con mayor frecuencia. El resto de los realizados van dirigidos, generalmente, a cuantificar unas características específicas para un uso determinado, lo que impide conocer si una arcilla puede ser utilizada en otro uso industrial completamente distinto.

Esta relativamente abundante información sobre - indicios conocidos de arcillas, recogida en los citados mapas, es directamente utilizable a la hora de confeccionar una mapa nacional de arcillas que permita prever, de una forma orientativa, los posibles usos de las arcillas de las formaciones reseñadas en el mapa.

En este capítulo se exponen tres sistemas de ca racterización industrial de las arcillas :

- A) Basada en su composición química.
- B) Método desarrollado por el Instituto de Pesquisas Tecnológicas de Sao Paulo (Brasil).
- C) Metodología utilizada por el Federal Bureau of Mines de Estados Unidos.

A) En el primer apartado de este capítulo se - desarrolla una caracterización de las arcillas basada en los va lores que toman determinados componentes químicos. En ella es - muy importante tener en cuenta que existen dos tipos de arcillas desde el punto de vista económico : las que por su valor comercial son susceptibles de beneficio minero y las que no lo son.- Entre las primeras se incluyen los caolines y las arcillas espe ciales; en estos es muy importante describir el aspecto de "vi- su" de la muestra e indicar la fracción granulométrica sobre la

que se ha realizado el análisis químico, con el fin de no interpretar incorrectamente los resultados. Un claro ejemplo de esto último son las arenas caoliníferas, que si se analizan en bruto arrojan contenidos en sílice superiores al 80 % y que, una vez beneficiadas, se obtienen caolines comerciales de muy buena calidad.

Para su elaboración se ha partido de numerosos análisis químicos de las arcillas utilizadas en la fabricación de diversos productos, los cuales se han agrupado en tipos de productos o campos de aplicación bastante amplios, en los que pueden existir numerosas calidades y variaciones, pero siempre bien definidos, si se exceptúa el grupo de las arcillas especiales. Estas, como ya se mencionó en capítulos anteriores, están constituidas por minerales del grupo de las hormitas y de las esmectitas, cuyos campos de aplicación industrial están completamente imbricados y solapados, por ello se ha considerado más oportuno considerarlas en su conjunto. Su utilización en usos concretos deberá determinarse en cada caso particular con los ensayos y análisis adecuados que, por otra parte, hay que mencionar que en la mayoría de los casos se basan en comparar la muestra de arcilla con otras de características conocidas y utilizadas universalmente en usos específicos. En estas arcillas, cuya aplicación se basa fundamentalmente en sus propiedades físicoquímicas, el análisis químico suministra poca información, la cual se acrecienta considerablemente con el análisis mineralógico.

En la clasificación desarrollada hay que distinguir, además del grupo de las arcillas especiales, otros dos paquetes de campos de aplicación : el grupo de las arcillas cerámicas, en el sentido tradicional, y el grupo de las no cerámi--

cas, en el que se incluyen los cementos y áridos o agregados ligeros, que pueden considerarse también utilidades cerámicas. Dentro de las utilidades cerámicas también hay que tener presente que los productos fabricados con mezclas triaxiales, constituidos por mezclas de arcillas (ball-clays, caolines), cuarzo y fundentes (principalmente feldespatos), pueden tener características y calidades muy diferentes, que dependen de cada componente en sí y de sus proporciones. Las arcillas que se utilizan en la fabricación de porcelana (caolín) también pueden usarse en la elaboración de refractarios. La composición de las pastas para la fabricación de azulejos y gres es muy variable, pudiéndose obtener desde productos intensamente coloreados a blancos o casi blancos.

B) Como consecuencia del gran desarrollo experimentado en Brasil durante los últimos años - y en especial - su sector de la construcción -, el Instituto de Pesquisas Tecnológicas brasileño ha abordado un amplio plan de investigación de materias primas que, en el caso de las arcillas, ha ido principalmente encaminado a desarrollar una tecnología propia para conseguir un mejor aprovechamiento y valoración de estas materias, con vistas a un máximo de autosuficiencia e independencia nacional.

Como quiera que España reúne, en este campo, unas características parecidas, se ha creído conveniente exponer el método desarrollado por el I.P.T. brasileño para la valoración de sus arcillas con vistas a prever los usos industriales de las mismas.

Este método se puede esquematizar en tres etapas :

- I) Clasificación de las arcillas en tres grupos cerámicos según el color presentado después del secado a 110° C y de la cocción a tres temperaturas.
- II) Clasificación de las arcillas en subgrupos por las propiedades físico-mecánicas o propiedades cerámicas.
- III) Clasificación en alguno de los tipos de "arcillas industriales" después de realizar ensayos específicos completos.

Esta secuencia de ensayos permite : prever, adaptar o sugerir nuevos usos para arcillas que apenas son usadas para una finalidad industrial; comparar de una manera rápida las arcillas nacionales con las extranjeras, con miras a sugerir la sustitución de importaciones; organizar un banco de datos que permita correlacionar las características cerámicas, composición mineralógica y propiedades intrínsecas entre sí y de todas ellas con los distintos usos específicos industriales.

Aunque con la aplicación de este método se llega a conseguir la identificación de una arcilla para usos industriales específicos, para trabajos de infraestructura resultaría suficiente y menos costosa la realización de las dos primeras etapas, pues ya con la primera se consigue diferenciar los tres campos principales de la cerámica (cerámica roja, cerámica blanca y refractarios), siendo la segunda etapa una secuencia de ensayos que sirven para confirmar o rechazar los resultados de la primera y, según el caso, para encuadrar mejor la arcilla dentro de los subgrupos patrones con los cuales es comparada.

C) El Federal Bureau of Mines de Estados Unidos inició en el año 1.938 un programa bajo el cual se llevan ana--



lizadas, desde el punto de vista cerámico, varios miles de muestras. El programa coordina la actuación de los diversos estados con la del Bureau of Mines y, actualmente, se dirige desde el Tuscaloosa Metallurgy Research Center en Tuscaloosa (Alabama).- Su principal objetivo es evaluar las arcillas y otras materias primas cerámicas del país para mejorar la utilización y conservación de sus materias primas.

La secuencia de análisis y ensayos que se realizan para evaluar las arcillas es, de una forma resumida, la siguiente :

- Fase 1 : Ensayos cerámicos preliminares que incluyen la determinación de varias propiedades del material en crudo y en cocido, así como sus características de hinchamiento. Con todo ello se determina el uso potencial de la arcilla.
- Fase 2 : Ensayos cerámicos ampliados que se realizan sobre las muestras que han dado resultados prometedores en la Fase 1. Se determinan las características de extrusión, prensado en seco y la posibilidad de utilizar la arcilla como árido ligero.
- Fase 3 : Ensayos varios que incluyen la determinación de algunas características (cono pirométrico - equivalente, análisis químico y mineralógico, granulometría) y su posible utilización como decolorante, aglomerante de arenas de moldeo, lodo de sondeos y aglomerante en la fabricación de pellets.

### 7.1.- ORIENTACION SOBRE EL USO DE UNA ARCILLA SEGUN SU ANALISIS QUIMICO.

Con objeto de intentar establecer una correlación entre la composición química y las propiedades - y por -- tanto los usos - de los distintos tipos de arcilla, se ha tratado de recopilar la mayor cantidad posible de datos sobre análisis de arcillas y sus utilizaciones actuales.

En la mayoría de estos análisis vienen reflejados, además de las pérdidas por calcinación, los contenidos, - expresados en tantos por ciento, de los siguientes óxidos más frecuentes :  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ .

Debido a la diversidad de fuentes consultadas, los mismo nacionales que extranjeras, ha sido necesario suponer que las condiciones en las que se han realizado los análisis son, si no idénticas, al menos correlacionables entre sí.

Se han estudiado más de 200 análisis químicos, resultando corresponder, en su inmensa mayoría, a arcillas que se están usando en el campo de la cerámica tradicional : elementos estructurales, refractarios, gres, lozas, porcelanas, - etc. Esto es lógico si tenemos en cuenta que para estos usos - el análisis químico es un dato muy interesante, en especial para los consumidores, ya que permite deducir, con cierta aproximación, el comportamiento que cabe esperar de una arcilla, así como de las mezclas a utilizar en la fabricación de las distintas pastas o productos cerámicos, en los que las estructuras - minerales originales se encuentran total o parcialmente destrui

das.

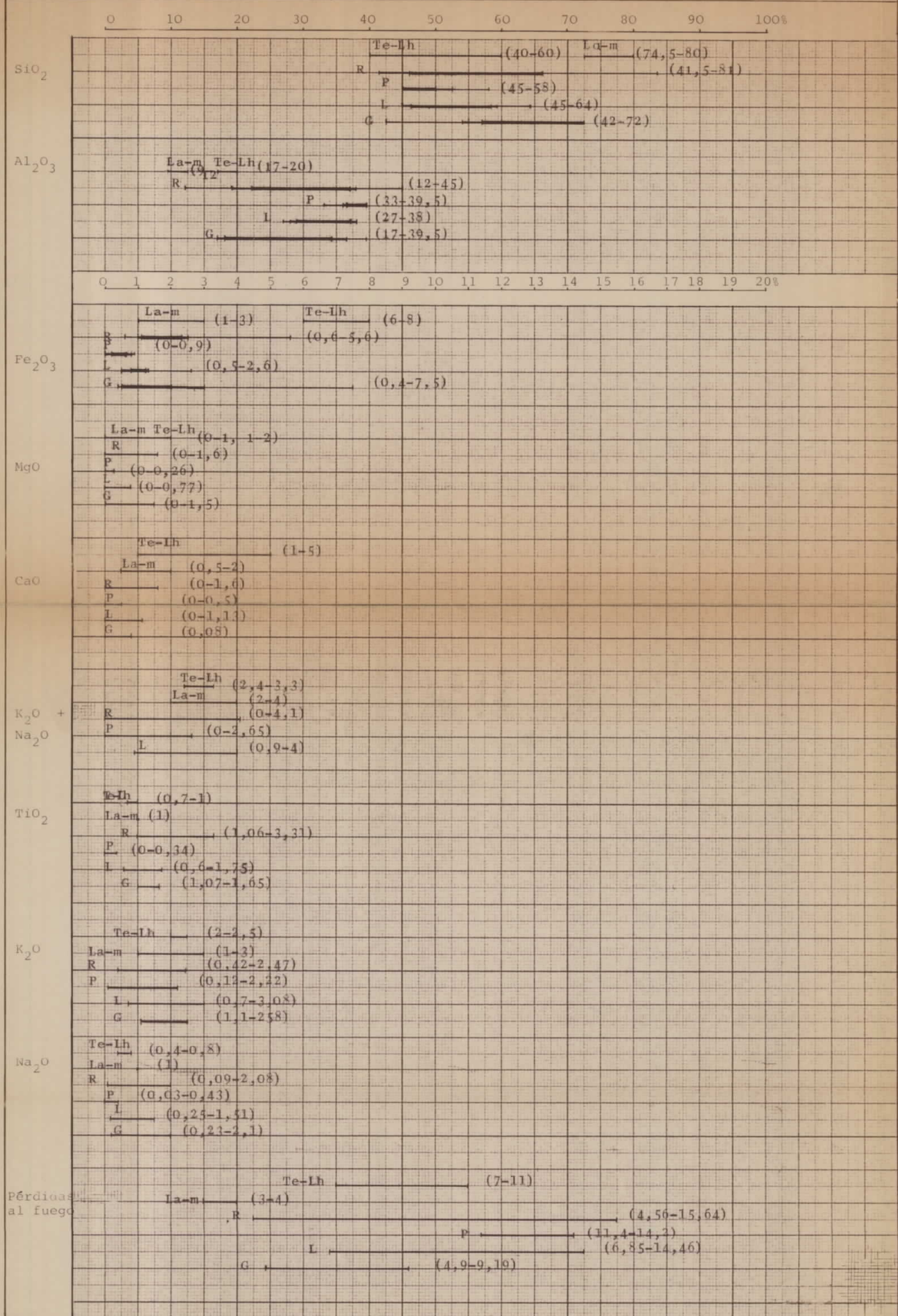
Con los datos de los análisis de las arcillas utilizadas en cerámica tradicional se ha confeccionado el cuadro nº 45. En él pueden observarse los intervalos o bandas de variación de cada óxido en los distintos usos cerámicos.

Si partiendo de un análisis químico con un porcentaje de un óxido determinado, se introduce este dato en el cuadro nº 45 puede ocurrir que la arcilla estudiada, teniendo en cuenta solamente el contenido en ese óxido, servirá teóricamente para varios usos cerámicos. Para mejor definir su utilización se opera de la misma manera con los óxidos restantes, reduciéndose así, cada vez más, el número de usos posibles. - Una vez realizado esto con todos los datos análisis, lo más frecuente es que tampoco se llegue a una solución final, es decir, a un solo uso ideal. Esto es lógico, pues lo normal es que una arcilla se pueda emplear en más de un ramo de la cerámica.

En un intento de reducir estos solapes y optimizar al máximo el uso de determinada arcilla, se ha tratado de restringir en lo posible los campos de variación de los diferentes óxidos en cada uno de los usos, eliminando de un modo estadístico las colas anómalas de cada intervalo.

Por eliminación estadística del 20 y el 30 % de los datos se han obtenido dos nuevos tipos de intervalos, - llegándose a la conclusión de que con el intervalo más amplio, correspondiente al 80 % de los datos, es suficiente para dedu

INTERVALOS DE VARIACION DE LOS COMPONENTES "QUIMICOS" DE LAS ARCILLAS EN FUNCION DE SU UTILIZACION TIPICA



Te Tejas  
 Lh Ladrillos huecos  
 La-m Ladrillos macizos  
 R Refractarios  
 L Loza  
 G Gres  
 P Porcelana

— 100%  
 — 80%  
 — 70%

cir los usos más óptimos dentro de los teóricamente posibles. Con la utilización del intervalo reducido al 70 % de los datos, no se llega a mayores diferenciaciones, lo cual, por otra parte, tampoco sería aconsejable pues, como se ha dicho más -- arriba, los usos cerámicos de una arcilla suelen ser diversos.

Estos dos últimos tipos de intervalos se han -- considerado en el cuadro nº 45 sólo para los óxidos principales -  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  - con el fin de restarle complejidad al mismo, pues en la mayoría de los casos resultó ser innecesaria.

Al aplicar las restricciones últimamente expuestas, se ha pretendido eliminar los posibles errores existentes en los datos manejados que pudieran ser debidos a análisis incorrectos, o a incorrectas utilizaciones, de las arcillas por parte de los fabricantes, así como aquellos casos no conocidos en los que, por motivos económicos, mejoramiento posterior de la arcilla, utilización de mezclas, etc., el uso indicado para la arcilla se aparta de lo normal. Resumiendo, estas desviaciones pueden representar la excepción que confirme el método que se está exponiendo.

A partir del cuadro nº 45 y tomando como base -- los intervalos correspondientes al 80 % de los datos, se ha -- configurado el cuadro nº 46 en lo referente a usos cerámicos -- tradicionales. La no coincidencia de los límites considerados en uno y otro es debida a que para la elaboración del segundo se han tenido en cuenta, también, otras fuentes de información, además de la obtenida de los simples análisis de las muestras.

ORIENTACION DE LOS CAMPOS DE UTILIZACION MAS IMPORTANTES DE LAS ARCILLAS EN FUNCION DE SU ANALISIS QUIMICO: CUADRO N° 46

ANALISIS QUIMICO		INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS DEL ANALISIS QUIMICO		USOS MAS CORRIENTES	
M U E S T R A  D E  L A  A R C I L L A		$MS = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} > 2,5$ $MF = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} > 3$ MgO < 2%		CEMENTOS	
		46% < SiO <sub>2</sub> < 70% 15% < Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 30% CaO < 6% MgO < 4% K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O > 2,5% 5% < Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 10%		ARIDOS LIGEROS	
	SiO <sub>2</sub>	37% < Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 39,5% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 1%		PAPEL	
	TiO <sub>2</sub>	45 < SiO <sub>2</sub> < 55%			
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	45 > Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 35% 45 > SiO <sub>2</sub> > 40%		CAUCHO	
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO + MgO + Na <sub>2</sub> O > 4% (EN SILICATOS)		ARCILLAS ESPECIALES	
	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 40% 25%-30%		OBTENCION EXPERIMENTAL DE ALUMINA	
	CaO		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 17%	ELEMENTOS ESTRUCTURALES	
	Na <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 20%		ELEMENTOS ESTRUCTURALES AZULEJOS (tejas, ladrillo h)	
	K <sub>2</sub> O		17% < Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 20%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 3% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 3%	AZULEJOS GRES
	PERD. CALC.		SiO <sub>2</sub> > 5%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 3% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 3%	AZULEJOS GRES GRES, REFRACTARIOS AZULEJOS
				Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 3% 1,8% < Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 3%	AZULEJOS GRES GRES, REFRACTARIOS AZULEJOS
			Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 1,8%	GRES BLANCO, REFRACTARIOS AZULEJOS (Pasta blanca) LOZA	
			Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 2,5%	AZULEJOS GRES	
			1,8% < Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 2,5%	REFRACTARIOS GRES AZULEJOS	
			1% < Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 1,5%	REFRACTARIO GRES BLANCO AZULEJO (Pasta blanca) LOZA	
			0,5% < Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 1%	AZULEJO (Pasta blanca) LOZA PORCELANA REFRACTARIO	
			Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> < 0,5%	PORCLLAVA	

UTILIZACIONES VARIAS

UTILIZACIONES CERAMICAS

Conociendo el análisis químico de una arcilla y manejando el cuadro nº 46 se puede obtener una orientación sobre los posibles usos cerámicos de la misma, basándose en el contenido de tres de sus óxidos principales ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Es aconsejable, no obstante, el uso simultáneo del cuadro nº 45 pues, además de aportar datos sobre el resto de los conceptos que entran en un análisis químico, puede orientar también sobre las calidades u orden de preferencia dentro de los usos deducidos del cuadro nº 46. Así por ejemplo, supuesta una arcilla cuya composición química da los siguientes valores :  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 24 \%$ ,  $\text{SiO}_2 = 60 \%$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 2,8 \%$ , mediante el cuadro nº 45 se deduce que esta arcilla se puede usar teóricamente en materiales de gres, elementos estructurales decorativos (azulejos) y en la industria de refractarios. Si esta composición química se analiza según el cuadro nº 45, se observa que los contenidos en los tres óxidos están dentro de los intervalos correspondientes al 80 % de los datos en el caso del gres, mientras que para los refractarios el contenido en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  queda fuera de este intervalo. Esto puede indicar que la arcilla tiene, a priori, una composición óptima para pastas de gres, pero en el caso de los refractarios su uso debe quedar restringido a las categorías más inferiores, en este caso concreto a refractarios sílico-aluminosos de la menor calidad.

Otros usos cerámicos considerados en el cuadro nº 46 son los áridos ligeros y los cementos. Las composiciones de las arcillas para áridos ligeros están generalmente comprendidas dentro de los límites señalados en él, aun cuando ésta no sea una condición suficiente.

En las arcillas para cementos, aunque su compo

sición depende fundamentalmente del material calizo empleado, es conveniente que ésta no difiera mucho de los valores reseñados con el fin de tener un mayor margen de maniobra en la obtención de harinas para cementos cuyos módulos resulten encontrarse dentro de los límites exigidos por las normas.

Siguiendo con el cuadro nº 46, fuera ya de -- los usos cerámicos, se han considerado como más significativos el papel y el caucho. En otro apartado se contemplan también -- las arcillas especiales. Las arcillas para caucho y papel son esencialmente de composición caolinítica, con elevados índices de blancura. Esto último hace que los contenidos en impurezas colorantes tengan unas limitaciones muy rigurosas. Otros factores muy importantes para estos usos son: la granulometría, con limitación al máximo de los tamaños mayores, así como la naturaleza y forma de las partículas, los cuales hacen necesarios otros tipos de ensayos con independencia del análisis químico.

Las arcillas especiales (bentonitas, sepiolitas y atapulgitas) se han agrupado en un solo apartado, pues sus composiciones suelen ser muy variables por la gran capacidad de cambio de cationes que presentan algunas de ellas y, -- por otra parte, es muy frecuente encontrarlas formando mez-- clas íntimas. Como la mayoría de sus usos son comunes y, además, muy numerosos, se ha preferido, al estudiar estas arcillas, posibilitar la identificación de las mismas como un grupo diferente más que por la diferenciación de los usos de cada una por separado, pues es frecuente que sus posibilidades de utilización sean alternativas, diferenciándose tan sólo en el orden o grado de aptitud.



En la mayoría de los análisis de arcillas especiales se ha comprobado que la suma  $\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} > 4\%$ . Siempre que estos compuestos no provengan de la descomposición de carbonatos, sino que pertenezcan a la red de los silicatos arcillosos, es muy probable que nos hallemos ante una arcilla especial; su naturaleza montmorillonítica sódica - cálcica o sepiolítica - paligorsquítica, podrá deducirse por la preponderancia de unos cationes sobre los otros o, más concretamente con el análisis mineralógico. Este análisis nos definiría también la procedencia carbonatada o silicatada de los mencionados cationes.

Por último, se ha considerado también en el cuadro nº 46 el uso potencial de las arcillas como materia prima para la obtención de aluminio. En él se han reflejado las especificaciones que sirven de guía para su utilización en procesos experimentales de producción de alúmina, como el desarrollado por la Pechiney Ugine Kuhlmann.

En resumen, el análisis químico de una arcilla puede ser, en bastantes casos, muy orientativo sobre el campo de utilización de la misma y casi siempre ayudará a seleccionar los demás ensayos de laboratorio, necesarios para confirmar y mejor definir su aptitud composicional en dicho campo. En último término, serán los ensayos a escala piloto o semiindustrial los que sentenciarán sus posibilidades y los que decidirán al fabricante sobre su utilización o no en la manufactura de un determinado producto.

El análisis químico debe corresponder a muestras de arcilla que sean representativas e ir acompañado de datos sobre la preparación de las muestras, condiciones del ensayo y fracción granulométrica analizada.

7.2.- METODO DE PREVISION DE LOS USOS INDUSTRIALES DE LAS ARCILLAS DESARROLLADO POR EL INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS DE SAO PAULO (BRASIL).

Basándose en los cambios del color y de las propiedades cerámicas que tienen lugar en las arcillas al ser cocidas a diferentes temperaturas, el Instituto de Pesquisas Tecnológicas del Brasil ha desarrollado un método destinado a prever los usos industriales, especialmente cerámicos, de las mismas. El método establece una secuencia de ensayos cerámicos - simples, denominados "Ensayos preliminares con fines cerámicos", cuyos resultados se comparan con los obtenidos en otras arcillas-patrones ensayadas en idénticas condiciones. Como patrones se escogieron 50 arcillas del Estado de Sao Paulo, de uso corriente en las industrias cerámicas de la zona, distribuidas según se indica en el cuadro nº 47.

Con estas arcillas se realizaron las siguientes operaciones:

- a) Molienda y tamizado a 80 mallas. En el caso de caolines, arcillas plásticas y "filitos" es frecuente pasarlos por un medio acuoso a través de tamices de -

Cuadro nº 47

GRUPO CERAMICO	SUBGRUPO CERAMICO
Cerámica roja	Tejas y ladrillos (2 muestras) Tubos y acoplamientos (2) Ladrillos rojos para piso (9)
Cerámica blanca	Caolines (8) Arcillas plásticas (ball-clays) (11) "Filitos" cerámicos y material fundente (9)
Material refractario	Arcillas refractarias plásticas (2) Arcillas altamente aluminosas plásticas (5) Arcillas tipo "flint-clay" (2).

200 ó 325 mallas y defloculados, filtrados y secados antes de ser moldeados, ya que esa es la tecnología usada en cerámica blanca.

- b) Obtención de probetas rectangulares de 6 x 2 x 0,5 cms. por moldeo bajo presión de 200 Kg/cm<sup>2</sup> de masa semi-seca.
- c) Secado de las probetas, primero al aire y después en estufa de 110° C.
- d) Determinación de la humedad de moldeo, retracción lineal de secado, módulo o tensión de ruptura a flexión y color después del secado.
- e) Cocción durante tres horas a 950° C, 1250° C y 1450° centígrados. El ciclo total de cocción dura 10 horas, dejándose enfriar después el horno durante la noche.
- f) Observación del color, aspecto y forma de las probetas a las diferentes temperaturas, siendo los colores designados de acuerdo con la tonalidad correspondiente del diccionario de colores Munsell.
- g) Determinación a cada temperatura de las siguientes características físico-mecánicas o propiedades cerámicas : tensión de ruptura, retracción lineal, absorción de agua, porosidad aparente, masa específica -- aparente y pérdidas al fuego.

Los colores y propiedades físico-mecánicas presentados por las arcillas patrones a las diferentes temperaturas de ensayo están representados en el cuadro nº 48 y figuras Nos. 4, 5, 6 y 7.

Cuadro nº 48. COLORES DE LAS PROBETAS-PATRONES DESPUES DEL SECA-  
DO Y LA COCCION A TRES TEMPERATURAS

GRUPO CERAMICO	110°C	950°C	1250°C	1450°C
CERAMICA ROJA	Rojo, marron, verde, violáceo, crema, ceniza, rojo anaranjado, marron-rojizo negro, ceniza rojizo.	Rojo de diversas tonalidades Amarillo, marron claro	Crema amarillenta, roja, roja oscuro, marron oscuro, marron clara negra (S.C) *	Marron-oscuro, negra, con o sin perdida de forma. Ceniza verdoso (S.C) Ceniza oscuro, marron oscuro, negra con fusión
CERAMICA BLANCA	Blanco, crema claro, crema oscuro, rosa clara, rosa oscura, amarillo clara, ceniza clara, ceniza oscura negra	Blanco, crema claro, rosa claro, rosa oscuro, amarillo-claro	Blanco, crema claro, crema oscura, ceniza clara, ceniza oscura, marrón, amarilla	Blanco, crema claro (S.C.) ceniza-claro (S.C.), ceniza verdosa (S.C) ceniza oscura, ceniza **
MATERIAL. REFRACTARIOS	Blanco, crema claro, ceniza, ceniza-clara, ceniza-oscuro, negra.	Blanco, rosa, crema-claro, marrón-clara, blanca-cremosa blanca-rosada.	Amarilla-clara, crema, crema clara, ceniza clara.	Blanco, ceniza claro. Crema claro, ceniza oscuro, marrón oscuro sin pérdida de forma.

\* (S.C.) La supercocción de una arcilla ocurre cuando las probetas presentan aislada o simultaneamente algunas de las siguientes características: a) Tendencia a mudar bruscamente hacia colores oscuros (marrón o negro). b) Deformación de las probetas, con

Cuadro nº 48. (Continuación)

pérdida de forma, redondeamiento o desaparición de aristas y presencia de fase líquida en superficie adheriéndose unas probetas a otras. c) Hinchamiento o expansión de las probetas debido a la formación de burbujas internas (bloating). Estos comportamientos, que ocurren generalmente en un intervalo de temperaturas, no debe confundirse con el alabeamiento, y la aparición de grietas que como consecuencia de la gran refracción tiene lugar en las probetas de algunas arcillas y caolines, especialmente refractarios, después de la cocción a altas temperaturas.

\* \* Las muestras correspondientes a "filitas" y materiales fundentes se presentan vitrificadas a 1250°C y funden con pérdida de forma a 1450°C.

Sometiendo la arcilla en estudio a idénticos ensayos que los patrones se puede llegar a su caracterización tecnológica previa, mediante comparación de los resultados obtenidos con las arcillas patrones. Este método comparativo consta de dos etapas.

I. Etapa

Clasificación de la arcilla estudiada en algunos de los tres grupos cerámicos siguientes:

- a) Cerámica roja o estructural (ladrillos, tejas, ladrillos de piso y tubos)
- b) Cerámica blanca (loza sanitaria y doméstica, porcelana doméstica y técnica y azulejos).

c) Materiales refractarios (sílico-aluminosos y aluminosos)

Para ello se compara la secuencia de colores obtenidos a 110°C, 950°C, 1250°C y 1450°C con los de las arcillas patrones a las mismas temperaturas.

Resulta frecuente que una arcilla pueda clasificarse en dos grupos diferentes, tal es el caso de las arcillas plásticas (ball-clays) y de ciertos caolines que sirven indistintamente para cerámica blanca y para refractarios.

Las arcillas clasificadas en cada uno de los tres grupos cerámicos anteriores suelen presentar las siguientes características:

a) Arcillas para cerámica roja:

En la naturaleza son de color negro, rojo, marrón o amarillo. A 950°C presentan color rojo, marrón o negro. A 1250°C ocurre la supercocción, con fusión parcial y redondeamiento de aristas, debida a su riqueza en hierro, potasio o calcio; algunas veces puede ocurrir un hinchamiento producido por desprendimiento de gases, con deformación de las probetas, lo cual sugiere un uso probable en la fabricación de agregados ligeros. A 1450°C, estas arcillas presentan color marrón o negro, fundiéndose y apelmazándose con pérdida total de forma, que las hace inservibles para material refractario. Las arcillas especiales, bentonitas y tierras fuller se incluyen en este grupo por tener un comportamiento muy similar.

b) Arcillas para cerámica blanca:

A 950°C, estas arcillas presentan color blanco, rosáceo o crema-claro. A 1.250°C, que es la temperatura usual de cocción de la cerámica blanca de mejor calidad o mayor responsabilidad, las probetas deben presentar color blanco-rosáceo, ceniza o crema, lo más claros posibles, para no influir desfavorablemente en el aspecto de los vidriados. A 1450°C, la temperatura de cocción de las porcelanas duras, sin vidriado, estas arcillas cuecen con colores claros, iguales que 1250°C, o bien oscurecen hacia el ceniza-oscuro o marrón pudiendo presentarse en algunos casos la fusión.

Dentro de este grupo cerámico, se pueden hacer algunas distinciones entre las arcillas que lo integran: caolines, arcillas plásticas (ball-clays) y "filitos" cerámicos.

- Los caolines para cerámica blanca, pero con elementos como hierro, manganeso o titanio que dan colores oscuros, cuecen con colores claros a 1250°C, pero a 1450°C oscurecen bastante. Este tipo de caolin sólo puede ser utilizado a temperaturas por debajo de 1300°C, como es el caso del material sanitario (1250°C-1280°C). Los caolines que cuecen con color blanco a 1450°C son los que pueden utilizarse en las porcelanas duras y técnicas. Algunos caolines con restos de feldespatos sin descomponer pueden vitrificar totalmente a 1250°C y fundir, total o parcialmente a 1450°C. La presencia ocasional de manchas oscuras debido a fragmentos de minerales, como turmalinas u otros, ricos en hierro, no excluye su uso en cerámica blanca, pero si implica un beneficiamiento más cuidadoso y más caro.



- Las arcillas plásticas para cerámica blanca (ball-clays) tienen resistencia mecánica elevada en estado verde, empleándose para dar a las piezas cerámicas una resistencia, en verde, después de secado a 110°C y durante la cocción, que permita su manejo y ajustamiento, además de conferir plasticidad a las masas cerámicas en caso de que esta característica sea interesante. Son arcillas que en estado natural pueden presentar colores oscuros o negros por su contenido en materia orgánica, pero que a 1250°C presentan colores claros, generalmente blanco, rosa o crema-claro y raramente ceniza. A 1450°C presentan un oscurecimiento, tendiendo a colores grises o marrones. Las arcillas más ricas en fundentes, especialmente en potasio, pueden vitrificar totalmente a 1250°C y fundir a 1450°C; las arcillas de granulometría fina y pobres en fundentes pueden vitrificar a 1250°C pero no funden a 1450°C y aunque presenten una gran retracción, con aparición de grietas y alabeamientos; pueden ser utilizadas en material refractario bajo el nombre de arcillas plásticas refractarias de alto poder ligante.
  
- En las industrias cerámicas de Sao Paulo se da el nombre de "filito" cerámico a una roca metamórfica, estratificada o laminada, compuesta por una mezcla de caolinita, mica moscovita finamente dividida o sericita y de cuarzo en proporciones variables. En estado natural tienen colores claros (blanco, ceniza, rosa) con una tonalidad amarilla o verdosa debido a la sericita. Después de la cocción a 950°C presentan colores rosáceos claros; a 1250°C presentan color ceniza con tonalidad verdosa muy característica vitrificando totalmente. Después de la cocción a 1450°C funden parcial o totalmente con colores marron o negro.

Estos materiales son empleados en masas cerámicas de gres sanitario como sustitutos parciales de arcillas y fundentes, también se usan, en cantidades variables, para aumentar la velocidad de sinterización de masas cerámicas de loza de mesa, ladrillos de pisos, azulejos y diversos tipos de materiales refractarios. Son generalmente friables, de escasa plasticidad y resistencia a la flexión en crudo extremadamente baja; su contenido en óxidos de sodio y potasio suele estar comprendido entre 3 y el 5%, el porcentaje de hierro y la capacidad de cambio de cationes son más bajos que los de las arcillas para ladrillos de piso de color rojo, que tienen una naturaleza fundamentalmente ilítica, y con las que no deben confundirse.

c) Arcillas para fabricación de material refractario:

Las arcillas de este grupo presentan colores claros a 950°C y a 1250°C. A 1450°C el color, en algunos casos, se oscurece hasta marrón-oscuro, diferenciándose de esta manera de los caolines para porcelanas duras y técnicas que cuecen blanco y que pueden ser utilizadas también en la fabricación de material refractario. Las arcillas refractarias presentan el caracter adicional de no presentar alteración de forma externa rectangular de la probeta a 1450°C, lo cual permite la fabricación de piezas refractarias de forma y dimensiones definidas, aunque es frecuente la aparición de grietas y pequeños alabeamientos como consecuencia de la gran retracción a esa temperatura. Algunas arcillas plásticas semi-refractarias usadas en la fabricación de tubos vidriados presentan a 1450°C un color marrón-oscuro o negro debido al contenido en hierro, sin embargo no existe pérdida de forma.

Antes de pasar a describir la siguiente etapa es conveniente remarcar algunos detalles y conceptos fundamentales:

- 1) En el caso de los caolines, arcillas plásticas y "filitos", raramente es ensayada la muestra bruta (80 mallas); por lo general es pasada por un medio acuoso a través de tamices de 200 o 325 mallas y defloculada, filtrada y secada antes de ser moldeada, ya que esa es la tecnología usada en cerámica blanca.
- 2) La clasificación de una arcilla en uno de los tres grupos cerámicos se basa en la secuencia de colores presentada en las cuatro temperaturas de ensayo por comparación con la de las arcillas patrones mediante el diccionario de colores -- Munsell u otra tabla empírica, como la de la Société Française de Ceramique. Como resultado de la comparación, la arcilla pudiera ser clasificada indistintamente en dos grupos, tal es el caso de arcillas plásticas para cerámica blanca -- que puede ser también arcillas refractarias.

## II Etapa

Una vez clasificada la arcilla en estudio dentro de alguno/s de los tres grupos cerámicos anteriores y antes de realizarse ensayos más completos y específicos, que siempre resultarían más costosos, es necesario comprobar que poseen unas propiedades cerámicas adecuadas. Para ello se miden, sobre las mismas probetas del ensayo precedente, las características físico-mecánicas siguientes:

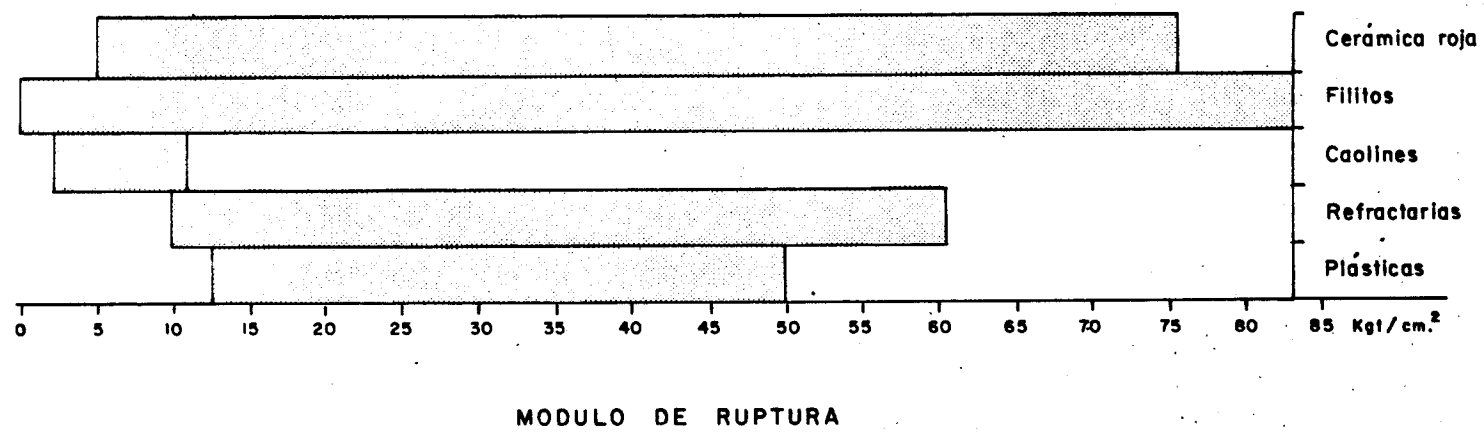
- a) Humedad de moldeo bajo presión de  $200 \text{ kg/cm}^2$
- b) Retracción lineal y módulo de ruptura a  $110^\circ\text{C}$ ,  $950^\circ\text{C}$ ,  $1250^\circ\text{C}$  y  $1450^\circ$ .
- c) Absorción de agua y porosidad y densidad aparentes a  $950^\circ\text{C}$ ,  $1250^\circ\text{C}$  y  $1450^\circ\text{C}$ .

Si los valores medidos son mejores o se encuentran dentro de la faja de variación de los de las arcillas patrones (gráficos 4,5,6 y 7), la arcilla en cuestión es recomendada para ensayos específicos más completos.

Esta segunda etapa sirve pues, para confirmar las previsiones hechas en la primera y, en muchos casos, para clasificar la arcilla estudiada en alguno de los subgrupos cerámicos del cuadro (nº 47) ya que siempre será posible encontrar el tipo de arcillas-patrones al que mas se asemejan sus características cerámicas.

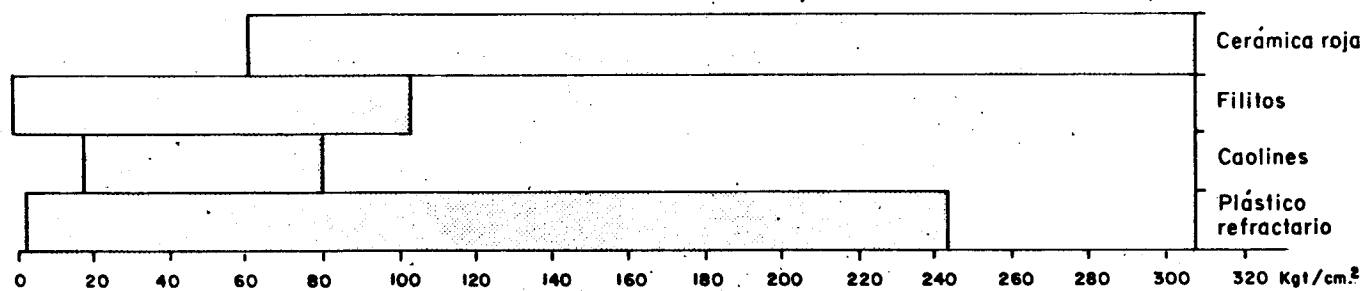
Los "Ensayos Preliminares" (Etapas I y II) -- constituyen un método de eliminación de aquellas arcillas, que por no poseer el color o comportamiento adecuado a las distintas temperaturas de ensayo o por no alcanzar las características cerámicas necesarios a esas temperaturas, no resulten útiles, por sí solas, para su empleo en todos o algunos de los tres grupos cerámicos más importantes: cerámica roja, cerámica blanca y refractarios.

Como complemento o paralelamente a los "Ensayos preliminares, es conveniente, en aquellos casos juzgados de interés, llevar a cabo la identificación mineralógica de la arcilla con vistas a prever, especialmente, sus utilidades no cerámicas. Esta identificación es de suma importancia cuando

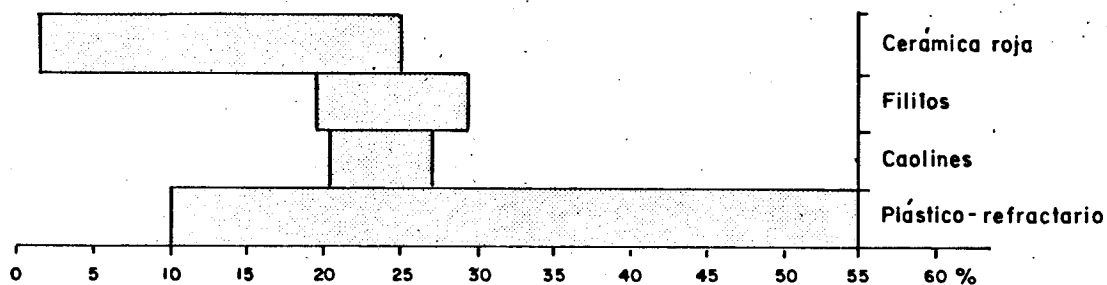


Variación del módulo de ruptura de las arcillas-patrones brasileñas después del secado a 110° C

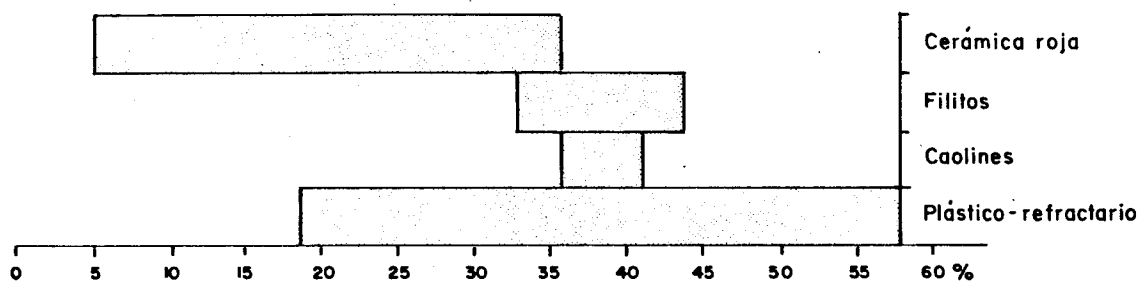
Fig. 4



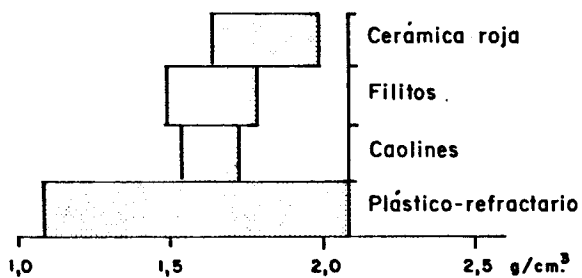
MODULO DE RUPTURA



ABSORCION DE AGUA



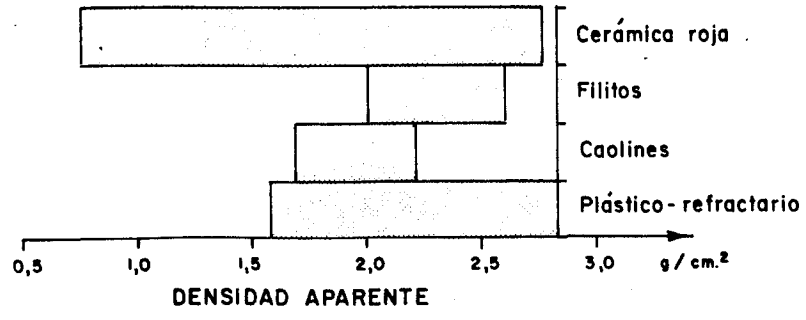
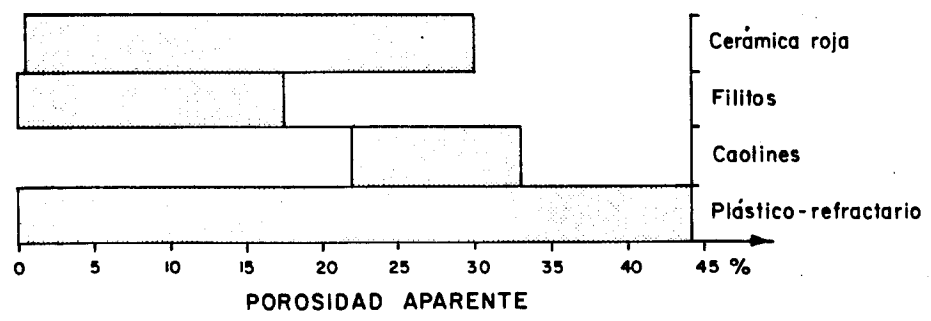
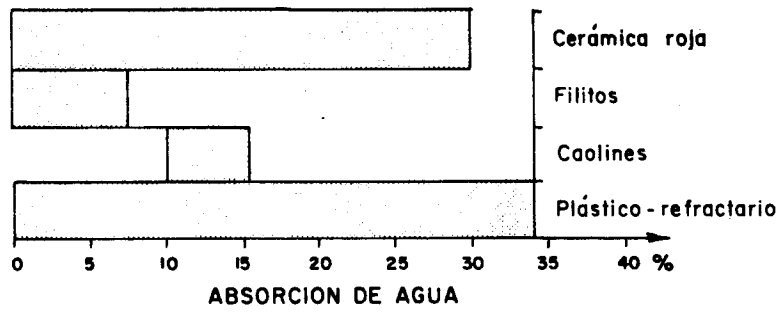
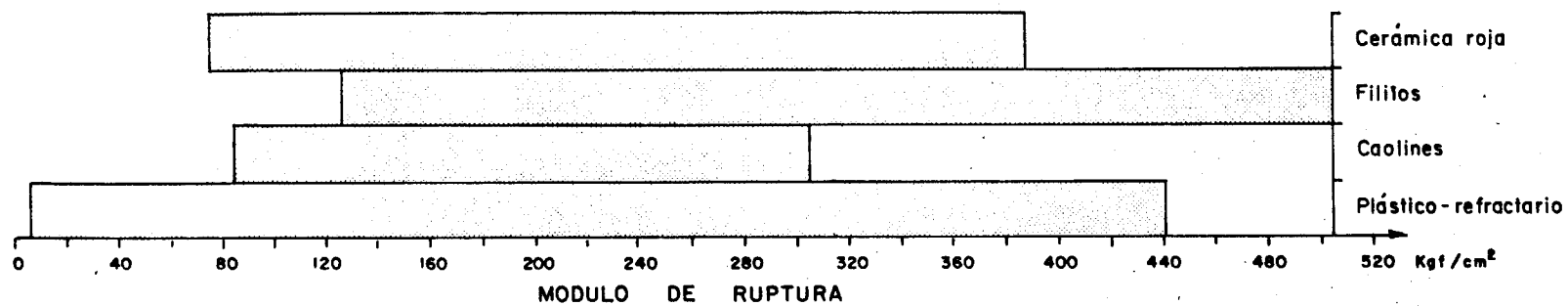
POROSIDAD APARENTE



DENSIDAD APARENTE

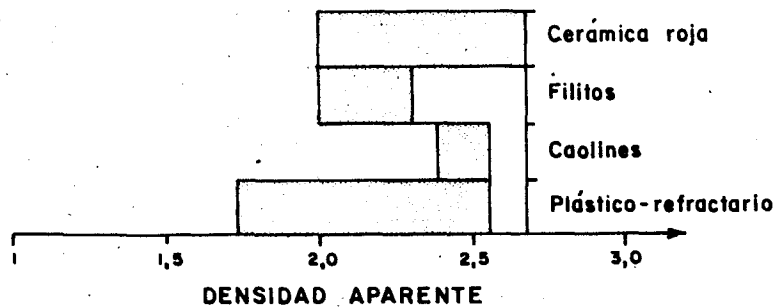
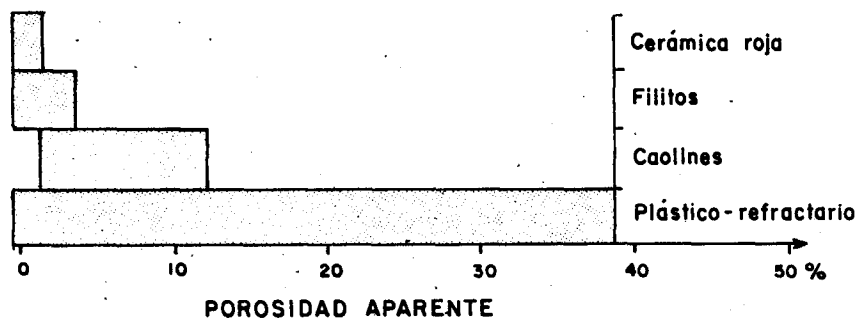
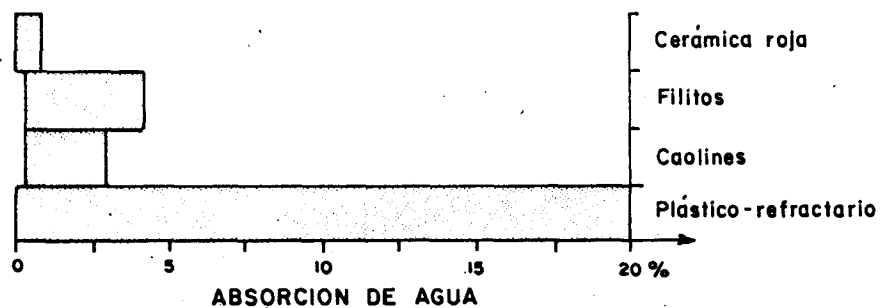
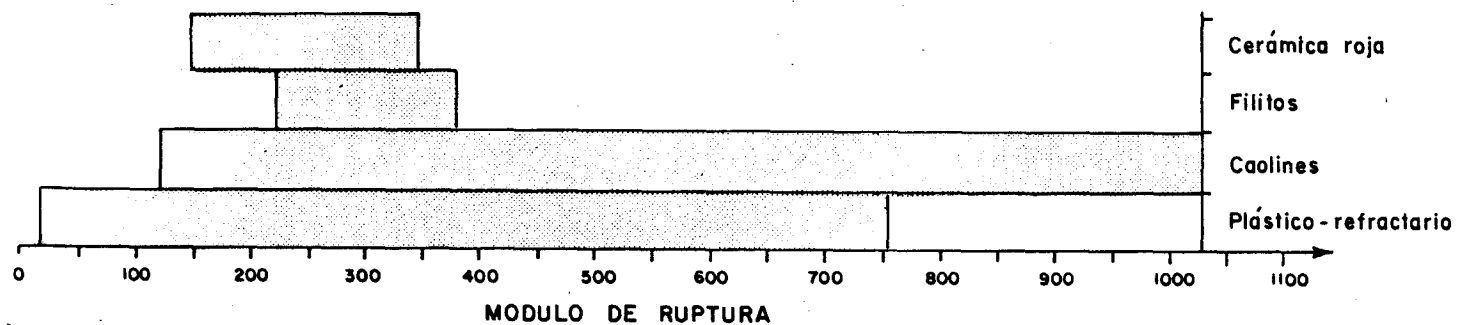
Variación de las características cerámicas de las arcillas - patrones brasileñas después de la cocción a 950° C.

Fig. 5



Variación de las características cerámicas de las arcillas-patrones brasileñas después de la cocción a 1.250° C.

Fig. 6



Variación de las características cerámicas de las arcillas-patrones brasileñas después de la cocción a 1.450° C.

Fig. 7



se sospeche la existencia de cantidades importantes de minerales del grupo de las esmectitas. Para ello se realizan análisis químicos, análisis térmico diferencial, difracción de rayos X, capacidad de cambio de cationes, microscópica electrónica, etc.

Después de clasificada la arcilla en los distintos grupos o subgrupos cerámicos y de realizada, según el caso, su identificación mineralógica, la arcilla en estudio es sometida a ensayos más específicos y completos para verificar su utilización en la fabricación de los distintos tipos de productos cerámicos y no cerámicos hasta llegar a una caracterización tecnológica o industrial de la misma lo mas completa posible. Los tipos de productos más corrientes para los que se realizan ensayos específicos con las arcillas clasificadas con anterioridad son las siguientes (cuadro nº 49).

Cuadro nº 49.- RELACION DE PRODUCTOS PARA LOS QUE SE REALIZAN ENSAYOS ESPECIFICOS CON LOS DISTINTOS GRUPOS O SUBGRUPOS DE ARCILLAS.

PRODUCTOS CERAMICOS	GRUPO O SUBGRUPO DE ARCILLAS
Ladrillos de albañilería Ladrillos huecos Tejas Ladrillos de piso Tubos Agregados ligeros	Arcillas del grupo de cerámica roja
Loza doméstica Material sanitario Azulejos Porcelanas doméstica y técnica	Arcillas de grupo de la cerámica blanca ("filitos", caolines, y ball-clays)
Refractarios sílico-aluminosos "                  aluminosos "                  especiales Cementos	Arcillas del grupo de los materiales refractarios (refractarios plásticos, altamente aluminosos y "flint clays")
PRODUCTOS NO CERAMICOS	
Aglomerante de arenas de moldeo Peletización de minerales Lodos de perforación Decoloración y clasificación de aceites	Arcillas del grupo de cerámica roja, bentonitas, atapulgitas y sepiolita
Diluyentes primarios y secundarios en insecticidas y pesticidas.	Caolines, "filitos", atapulgitas y sepiolitas
Carga y cobertura de papel Cauchos y plásticos	Caolines
Pintura Esmaltes cerámicos Minas de lápices y otros	Caolines y ball-clays

7.3. PROGRAMA DE ENSAYOS PARA ARCILLAS Y MATERIAS PRIMAS CERAMICAS DESARROLLADO POR EL BUREAU DE MINES DE ESTADOS UNIDOS

La tradicional preocupación del gobierno norteamericano de conocer y cuantificar sus recursos minerales para tenerlos en cuenta en la gestión global de su economía, optimizando su utilización y teniendo en cuenta la conservación de sus recursos, se pone de manifiesto en el caso particular de las arcillas con el programa que desde el año 1938, ha mantenido el Federal Bureau of Mines, al amparo del cual se han realizado numerosos ensayos cerámicos en varios millares de muestras. Este programa, se inició en el Norris Research Laboratory (U.S. Bureau of Mines, Norris, Tennessee), para pasar, en el año 1966, a dirigirse desde el Tuscaloosa Metallurgy Research Center en Tusculosa (Alabama).

Una característica muy interesante de este programa es que se trata de una coordinación de esfuerzos entre las investigaciones geológicas llevadas a cabo por los diversos estados y el Bureau of Mines. Esta coordinación se realiza a través de los centros de operación de Pittsburgh, Denver y Spokane mediante unos acuerdos de cooperación suscritos entre el Bureau of Mines y los servicios geológicos de los estados. Este tipo de acuerdos también pueden realizarse con operadores privados previa autorización del Director del Bureau of Mines.

El programa tiene, como objetivo principal, evaluar las arcillas y otras materias primas cerámicas del país para mejorar la utilización y conservación de las materias primas nacionales. Además, se desarrollan y mejoran los métodos de ensayo utilizados en la evaluación de materias primas.

Los ensayos que se realizan sobre las muestras remitidas al Tuscaloosa Metallurgy Research Center se llevan a cabo en tres fases:

- Fase 1. Ensayos cerámicos preliminares, mediante los cuales se evalúan las propiedades generales
- Fase 2. Ensayos cerámicos ampliados, se realizan sobre las muestras que dan dado resultados prometedores en la fase anterior.
- Fase 3. Ensayos varios. Comprende varios ensayos especiales que se realizan cuando son expresamente solicitados.

En los párrafos que a continuación siguen, se describirán los ensayos que se realizan en cada una de las fases.

#### 7.3.1.- Fase 1. Ensayos cerámicos preliminares

Para realizar los ensayos correspondientes a esta fase es necesaria una cantidad de muestra de aproximadamente 1 kg. Sin embargo, las muestras que se recogen en el campo son de unos 9-10 kg para tener suficiente material en el caso de obtener resultados prometedores en esta fase y, por lo tanto, se realicen los correspondientes a las siguientes. Las muestras recibidas son convenientemente identificadas según el código del programa de trabajo. El proceso que se sigue con la muestra es el siguiente (figura nº 8):

## ENSAYOS CERAMICOS PRELIMINARES

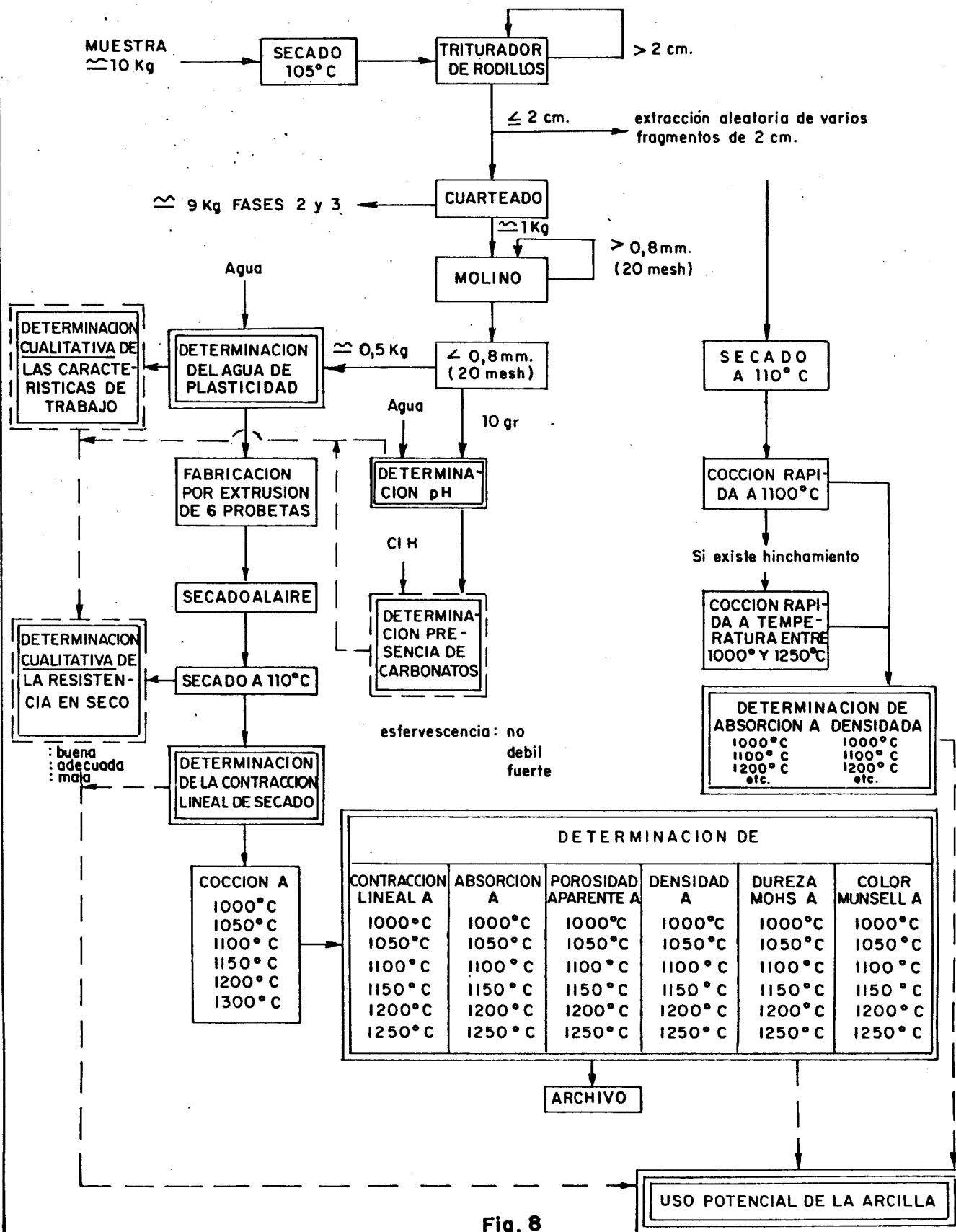


Fig. 8

- Secado a 105°C
- Trituración a tamaños menores de 2 cm.
- Extracción aleatoria de varios fragmentos de aproximadamente 2 cm. de diámetro para realizar los ensayos preliminares de hinchamiento.
- Molido el resto del material a tamaños menores de 0,84 mm.
- Cuarteado de la muestra para obtener una porción de material de aproximadamente 1 kg
- Determinación del agua de plasticidad en tanto por ciento por mezcla del material molido con cantidades crecientes de agua. Simultáneamente se indican las características de trabajo determinadas cualitativamente.
- Fabricación por extrusión de seis probetas de 2,5 x 5 x 1 cm.
- Secado de las probetas al aire durante 24 horas
- Secado de las probetas en estufa a 110°C durante 24 horas
- Determinación de la contracción lineal de secado
- Determinación de la resistencia de las probetas por examen -- visual y clasificandola como:buena, adecuada, o mala.
- Cocción de cada una de las seis probetas a 1000°C, 1050°C, -- 1100°C, 1150°C, 1200°C y 1200°C, respectivamente, en un ciclo de 24 horas y manteniendo el horno a cada una de esas temperaturas durante una hora. Las probetas se enfrian en el horno.
- Determinación de la contracción durante la cocción (en porcentaje) a cada una de las temperaturas.
- Determinación de la absorción (en %), porosidad aparente (en %) y densidad ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ). Para ello se pesan las probetas; se hieren en agua durante 5 horas, y se vuelven a pesar en aire y - sumergidas en agua.

- Secado de las probetas a 105°C
- Determinación de la dureza Mohs
- Determinación del color de cocido según la escala de colores de Munsell.
- Acondicionado de las muestras para su archivo
- Determinación del pH de la arcilla tomando 10 gr de la muestra molida, que no deslien en 100 ml de agua destilada para determinar el pH de la papilla.
- Determinación del grado de efervescencia con ácido clorhídrico, clasificándose como "no", "débil" y "fuerte" efervescencia.
- Determinación preliminar de la capacidad de hinchamiento. Para ello se parte de uno de los trozos de 2 cm. de diámetro extraídos de una forma aleatoria de la salida del triturador. Se introduce uno de los trozos en una caja refractaria que se deposita en un horno precalentado a 110°C. Si se observan signos de hinchamiento se repite el ensayo con el resto de los fragmentos a temperaturas comprendidas entre 1000°C y 1250°C para determinar la temperatura óptima. Se calcula, también, la absorción (en %) y la densidad (en  $\text{gr}/\text{cm}^3$ ).
- Redacción de un informe (figura nº 9) en el que se recopilan los datos obtenidos.

### 7.3.2.- Fase 2. Ensayos cerámicos ampliados

Estos ensayos se realizan únicamente cuando los resultados obtenidos en la Fase 1 (Ensayos cerámicos preliminares) indican que se trata de un material de buena calidad, o por ser aproximadamente solicitados por el remitente. En estos

Figura nº 9

TUSCALOOSA METALLURGY RESEARCH CENTER

Evaluación Cerámica Preliminar

Número de Tuscaloosa

Fecha de recepción ..... Fecha del informe .....  
 Nombre del remitente .....  
 Identificación del remitente ..... Tipo de material .....

Propiedades en bruto

Agua de plasticidad % ..... Características de trabajo .....  
 Color ..... Contracción de secado % ..... Resistencia en seco .....  
 .....

Ensayo de cocción

Temp. °C	Color Munsell	Dureza Mohs	Contracción lineal %	Absorción %	Porosidad aparente%	Densidad gr/cm <sup>3</sup>

pH ..... Efervescencia con ClH ..... Otros ensayos .....

Ensayo de hinchamiento preliminar .....

Temp. °C	Absorción %	Densidad gr/cm <sup>3</sup>	Observaciones

Uso potencial .....  
 .....

Los datos presentados en este informe están basados en ensayos de laboratorio, estos son de naturaleza preliminar y no son suficientes para el diseño de una planta de proceso. No excluyen la utilización del material en mezclas.



casos, se realiza uno de los siguientes ensayos:

a) Extrusión de arcillas plásticas. Se realiza únicamente para las arcillas que además de ser plásticas tengan un amplio margen de cocción, ambas características determinadas en los ensayos preliminares. En este caso se procede como a continuación se indica (figura nº 10)

- Se parte del material triturado a tamaños menores de 2 cm.
- Molienda a tamaños menores de 2,38 mm (8 mesh)
- Adición de agua hasta obtener una masa plástica
- Extrusión en aparato de laboratorio de 20 probetas de dimensión: 2,5 x 2,5 x 15 cm.
- Secado al aire durante 24 horas
- Secado en estufa a 110° durante 24 horas
- Determinación del módulo de rotura
- Determinación de la contracción lineal de secado
- Cocción en horno a la temperatura recomendada por los ensayos preliminares
- Determinación de: Contracción lineal de cocido; Absorción de 5 y 24 horas; Coeficiente de saturación (cociente entre absorción de agua en 24 horas y absorción de agua en 5 horas); porosidad aparente; densidad; módulo de rotura en cocido; color Munsell; y dureza Mohs.
- Archivo de las probetas.
- Redacción de un informe (figura nº 11)

# ENSAYOS CERAMICOS AMPLIADOS

## ENSAYO DE EXTRUSION

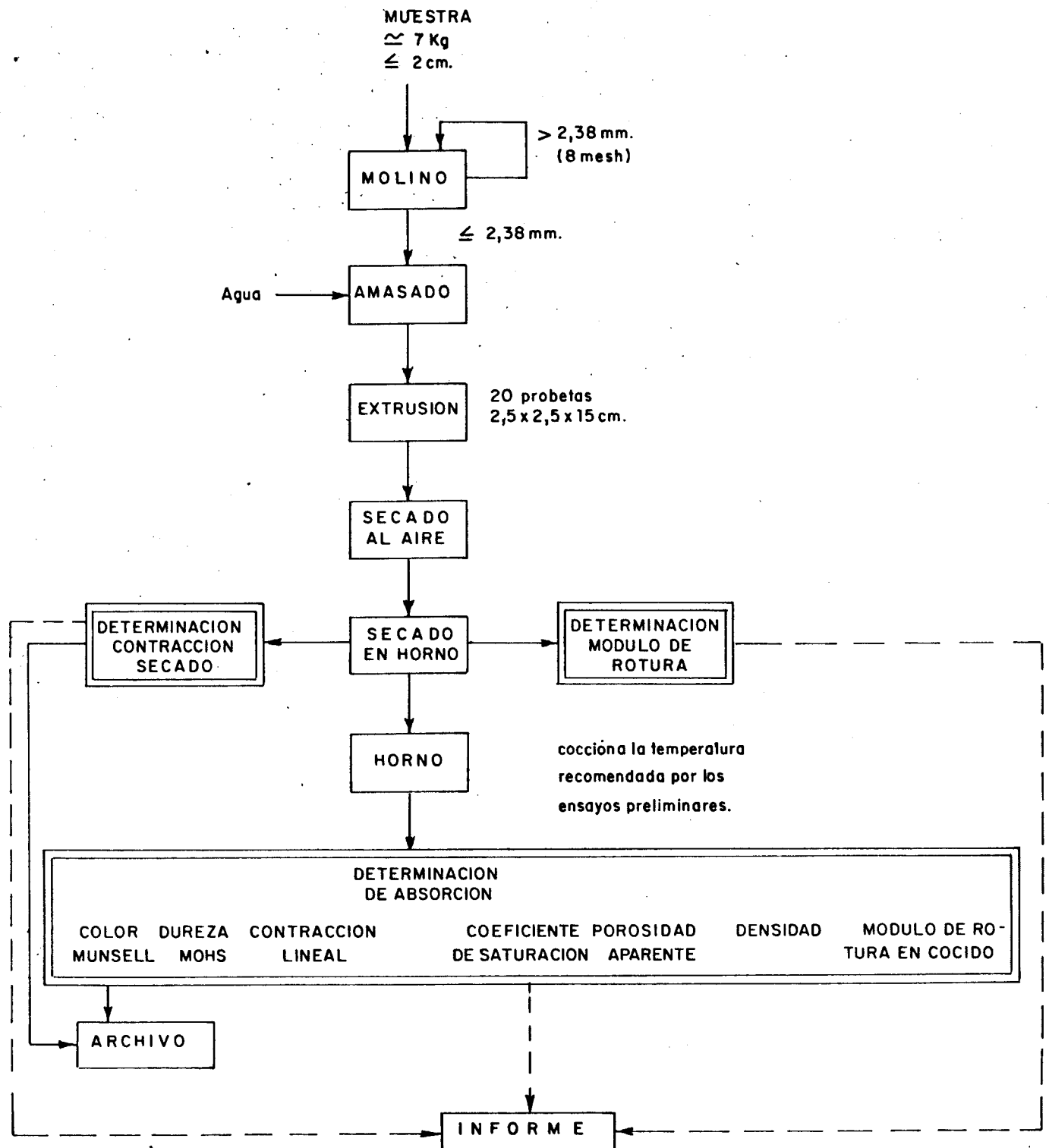


Fig. 10

Figura nº 11

## TUSCALOOSA METALLURGY RESEARCH CENTER

Evaluación de Arcillas: Ensayo de extrusión

Identificación del Remitente ..... Fecha .....

Número de Tuscaloosa .....

Tamaño de cribado .....

Agua añadida (%) .....

Secado

al aire (h) .....

en estufa (h) .....

Contracción lineal, seco (%) .....

Cocción

tiempo (h) .....

cono .....

Contracción lineal total (%) .....

Absorción, hervido durante 5 horas (%) .....

Absorción, remojado durante 24 horas (%) .....

Coeficiente de saturación .....

Porosidad aparente (%) .....

Densidad ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ) .....Resistencia a la compresión, cocido ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) .....

Dureza Mohs .....

Color Munsell .....

Observaciones .....

.....

Los datos presentados en este informe están buscados en ensayos de laboratorio, estos son de naturaleza preliminar y no son suficientes para el diseño de una planta de proceso. No excluyen la utilización del material en mezclas.

b) Prensado en seco. Este ensayo se realiza únicamente en las muestras que en los ensayos preliminares han mostrado un amplio margen de cocción pero son poco plásticas, por lo que no son aptas para la extrusión. El proceso del ensayo se -- describe a continuación (Figura nº 12)

- Se parte de 7 kg de muestra triturado a tamaños menores de 2 cm.
- Molienda a tamaños menores de 2,38 mm (8 mesh)
- Se humedece la muestra con 5-6% de agua
- Fabricación de 20 probetas, de dimensión 4,5x9x2,5 cm., por prensado a 1250 psi.
- Secado; 24 horas al aire y 24 horas en estufa
- Determinación del módulo de rotura
- Determinación de la contracción de secado
- Cocido en horno a la temperatura optima determinada en los ensayos preliminares
- Determinación de: contracción lineal total; absorción, coeficiente de saturación; porosidad aparente; densidad; módulo de rotura; dureza Mohs y color Munsell.
- Archivo de las probetas
- Informe de resultados (figura nº 13)

# ENSAYOS CERAMICOS AMPLIADOS

## ENSAYO DE PENSADO EN SECO

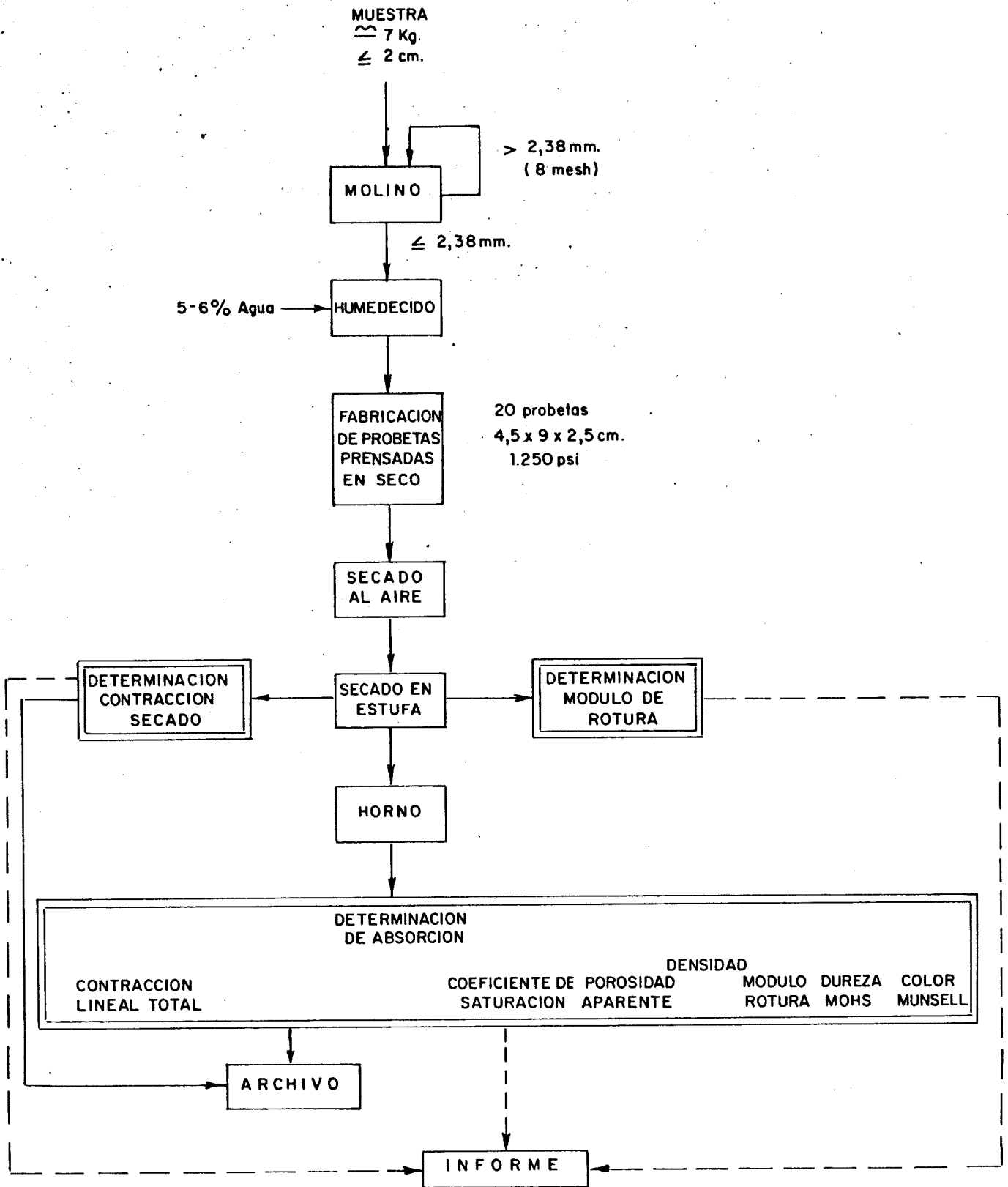


Fig. 12

Figura nº 13

## TUSCALOOSA METALLURGY RESEARCH CENTER

Evaluación de Arcillas: Ensayo de prensado en seco

Identificación del Remitente ..... Fecha .....

Número de Tuscaloosa .....

Tamaño de cribado .....

Agua añadida (%) .....

Secado

Aire (h) .....

Estufa (h) .....

Contracción lineal seco (%) .....

Cocción

Tiempo (h) .....

Cono .....

Contracción lineal, total (%) .....

Absorción, hervido durante 5 h (%) .....

Absorción, remojado durante 24 h (%) .....

Coefficiente de saturación .....

Porosidad aparente (%) .....

Densidad ( $\text{gr/cm}^3$ ) .....

Resistencia a la compresión ( $\text{kg/cm}^2$ ) .....

Dureza Mohs .....

Color Munsell .....

Observaciones .....

.....

Los datos presentados en este informe estan basados en ensayos de laboratorio, estos son de naturaleza preliminar y no son suficientes para el diseño de una planta de proceso. No excluye la utilización del material en mezclas.

c) Evaluación en horno rotatorio. Este ensayo se realiza sobre aquellas muestras que en los ensayos preliminares han mostrado unas buenas características de hinchamiento. Para poder valorar los resultados es necesario realizar el ensayo en una planta piloto continua lo que exige utilizar una muestra de gran tamaño (no menos de 90 kg). El horno rotatorio que se utiliza en los laboratorios de Tuscaloosa tiene las siguientes características:

- calentamiento por gas
- 45 cm. de diámetro
- 6 m. de longitud
- 2 cm/m de inclinación
- 15 minutos de retención

Para realizar el ensayo se prepara el material de la siguiente manera:

- Trituración a tamaños menores de 3/4 pulgada (2 cm)
- Tamizado a 3/4, 3/8 de pulgada y 4 mesh (2 cm, 1 cm y 0,5 cm respectivamente). El ensayo se realiza con los tamaños comprendidos entre 4 mesh y 3/4 de pulgada deseandose los inferiores a 4 mesh. Los tamaños óptimos son los que se sitúan alrededor de las 3/4 pulgadas.

Cuando en la trituración se produce un exceso de finos o -- las partículas son planas, la muestra se prepara moliéndola a tamaños inferiores a 20 mesh (0,84 mm) para formar, después, pellets u obtener gránulos por extrusión, los cuales después son cocidos en el horno rotatorio. Los resultados de los ensayos se resumen en un informe como el de la figura 14.

Figura nº 14

TUSCALOOSA METALLURGY RESEARCH CENTER

Evaluación de arcillas: Ensayo en horno rotatorio

Identificación del remitente ..... Fecha .....

Número de Tuscaloosa .....

MATERIA PRIMA

Ensayo de cribado (triturado para pasar la criba de 3/4")			
Pasa	Retenido	% en seco	% acumulado
3/4"	1/2"		
1/2"	3/8"		
3/8"	4 mesh		
4 mesh			

Forma de los fragmentos .....

Pérdidas de trituración % (menor 4 mesh) .....

Datos de cocción

Tamaño de la alimentación ..... lb/ft<sup>3</sup> .....

Temperatura de hinchamiento °C ..... Temperatura registrada °C .....  
(los nódulos no pesan)

MATERIAL COCIDO

(todo el material cocido se tritura con un molino de rodillos)

Ensayo de cribado: (porcentaje en peso que pasan las cribas)								
Denominación del tamaño	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 50	Nº 100
Finos								
Gruesos								

Pérdidas en peso lb/ft<sup>3</sup>: Finos ..... Gruesos .....



### 7.3.3.- Fase 3. Ensayos varios

Los ensayos que se incluyen dentro de esta fase complementan a los realizados en las fases anteriores y van especialmente dirigidos a determinar posibles usos potenciales de las muestras de arcilla. En el programa desarrollado por el Bureau of Mines, los ensayos incluidos en esta fase, solamente se realizan cuando lo solicita el remitente de la muestra.

a) Cono pirométrico equivalente CPE. Este ensayo se realiza sobre aquellas muestras que revisten características de refractariedad: pequeña contracción, alta absorción, colores claros de cocción a las temperaturas más altas de los ensayos preliminares. El ensayo se realiza con conos pirométricos - siguiendo las normas ASTM (método C24-72). Los resultados - se clasifican de la siguiente manera:

- CPE comprendido entre 15 y 28: arcilla refractaria para condiciones de trabajo suaves.
- CPE comprendido entre 29 y 31: arcilla refractaria para condiciones de trabajo normales
- CPE comprendido entre  $31\frac{1}{2}$  y 32: arcilla refractaria para condiciones de trabajo muy duras
- CPE superior a 33: arcilla refractaria para condiciones de trabajo super-duros.

b) Análisis químicos y mineralógicos

c) Ensayo de decoloración. Este ensayo se realiza comparando el poder decolorante de la muestra de arcilla con otra de características conocidas según el procedimiento de la American Oil Chemists' Society (AOCS) (métodos Cc 8a-52 y Cc 13b-45).

- d) Ensayo de absorción. Para determinar el potencial de absorción. Para determinar el potencial de absorción de agua y aceite de una muestra de arcilla se realiza el ensayo definido por la Federal Specification P-A-1056B. En el ensayo se determinan: la absorción de aceite lubricante y de agua destilada, y la solubilidad en agua destilada. La norma exige que la absorción de aceite y agua son como mínimo de 0,6 y 0,7 ml/g.
- e) Ensayos para arenas de moldeo. La posible utilización de una arcilla como aglutinante de arenas de moldeo no determina -- comparando los valores de las resistencias en verde y en seco de la muestra, con los que toman arcillas comerciales típicamente utilizadas en este uso. Los valores de estas resistencias son difíciles de normalizar ya que dependen considerablemente del metal a moldear, del tamaño de las piezas y de la práctica utilizada en cada fundición.
- f) Ensayos para lodos de sondeos. Las arcillas que muestran características de ser aptas para su utilización en la composición de lodos para sondeos se ensayan según la especificación 13A del American Petroleum Institute. Los ensayos que se realizan determinan la viscosidad y el rechazo de tamizado. La viscosidad se mide por el rendimiento de la arcilla (yield), esto es, por el número de barriles de lodo con una viscosidad de 15 centipoises que se pueden fabricar con una tonelada de arcilla; el mínimo exigido por las normas del API es de 91 barriles. El rechazo de tamizado no determina -- por el porcentaje retenido en la malla 200 ASTM, el cual como máximo ha de ser del 4%, aunque este límite puede sobrepasarse en la práctica si la arcilla tiene unas características excepcionales de viscosidad.

- g) Ensayo de pelletización. La evolución de las características de una arcilla como aglomerante de minerales para la fabricación de pellets se realiza comparándolas con las de las arcillas comunmente utilizadas en la industria. Los ensayos que se realizan determinan la resistencia a la compresión en seco, y la resistencia al choque por caída libre en húmedo.
- h) Distribución granulométrica. Se realiza por tamizado en húmedo para tamaños superiores a 325 mosh. Para los tamaños inferiores se utiliza la pipeta de Andreasen.

#### 7.4. CRITERIOS UTILIZADOS PARA EVALUAR LA POSIBLE UTILIZACION DE ARCILLAS EN ALGUNOS USOS CERAMICOS.

Para dar una idea orientativa sobre el orden de magnitud en que se han de mover los valores de los parámetros medidos en las arcillas para que sean utilizables en los principales usos cerámicos, se adjuntan los siguientes cuadros, - números 50, 51 y 52.

Cuadro nº 50.- CRITERIOS USADOS PARA EVALUAR ARCILLAS PARA PRODUCTOS ESTRUCTURALES

PROPIEDAD	LADRILLO COMUN	LADRILLOS DE FA CHADA Y DECORATIVOS	BOVEDILLAS L. HUECOS	AZULEJOS	TUBOS DE DESAGUE	TEJAS	BALDOSAS	TUBOS DE CHIMENEA	TERRA COTA	TUBOS
Crudo										
Trabajabilidad	de poco plástica a plástica	de poco plástica a plástica	plástica a muy plástica y suave	plástica a muy plástica y suave	plástica a muy plástica y suave	plástica a muy plástica y suave	plástica a muy plástica y suave	plástica a muy plástica y suave	muy plástica y suave	muy plástica y suave
Agua de plasticidad %	15 - 40	15 - 40	0 - 35	0 - 35	15 - 40	0 - 35	0 - 35	15 - 40	18 - 35	15 - 40
Resistencia en crudo - humedo - seco	de baja a alta idem	de baja a alta idem	de media a alta idem	de media a alta idem	baja a alta idem	baja a alta idem	de media a alta idem	de media a alta idem	de media a alta idem	de media a alta idem
Características de secado	sin alabeos o roturas	sin alabeos o roturas	sin alabeos o roturas	sin alabeos o roturas	sin alabeos o roturas	sin alabeos o roturas	sin alabeos o roturas	sin alabeos o roturas	sin alabeos o roturas	sin alabeos o roturas
Contracción de secado %	0 - 12%	0 - 12	0 - 8	0 - 8	0 - 8	0 - 8	0 - 8	0 - 8	8	0 - 5
Cocido										
Temp. Maduración °C	930 - 1100°C	980 - 1200	980 - 1150	980 - 1150	980 - 1100	980 - 1200	980 - 1200	980 - 1300	1100 - 1200	980 - 1150
Dureza	Muy dura a dureza de acero	Dureza de acero	Dureza de acero	Dureza de acero	Muy dura	Dureza de acero	dureza de acero	muy dura	dureza de acero	dureza de acero
Aborción %	20	15	15	0 - 10	0 - 12	0 - 10	0 - 20	0 - 20	8 - 25	0 - 8
Contracción	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 8	0 - 8	0 - 8	0 - 8	0 - 8	0 - 10
Color	Rojo, rojo oscuro, rojo pardo	Rojo, ante crema, etc	No crítico	Rojo, ante crema, etc	No crítico	Rojo, ante marrón oscuro	Rojo, ante marrón oscuro	No crítica	Rojo, ante, gris casi blanco	generalmente rojo
Eflorescencias	ligeras	No	ligeras	No	ligeras	No	No	No	No	No

Cuadro nº 51

CRITERIOS PARA EVALUAR ARCILLAS CERAMICAS

PROPIEDADES	CERAMICA BLANCA	GRES	ALFARERIA	ARTISTICA
<u>Crudo</u>				
Trabajabilidad	Altam. plástica y suave	Altam. plastica suave	Muy plástica y suave	Muy plástica y suave
Agua de plasticidad %	No crítica	No crítica	No crítica	No crítica
Resistencia en crudo				
- humedo	media	por encima de media	media	por encima de media
- seco	idem	idem	idem	idem
Características de secado	Sin defectos en secado controlado	Sin defectos en secado normal	Sin defectos en secado normal	Sin defectos en secado normal
Contracción de secado %	No crítica	No crítica	No crítica	No crítica
<u>Cocido</u>				
Temperatura	980-1370	1150-1250	980-1200	980-1150
Contracción %	No crítica	No crítica	No crítica	No crítica
Absorción (sin vidriado) %	0 - 2	0 - 2	0 - 5	No crítica
Absorción (con vidriado) %	0	0	0	0
Color	blanco, azul amarillo, etc	ante y gris	Rojo, marron y ante	Variados

Cuadro nº 52 CRITERIOS PARA EVALUAR ARCILLAS PARA AGREGADOS LIGEROS

PROPIEDAD	PROCESO EN HORNO ROTATORIO	PROCESO DE SINTERIZACION
Crudo		
Características de secado	Rápido y mostrando, solo una ligera desintegración cuando se realiza el ensayo de hinchamiento	No crítica
Resistencia en seco	Debe ser suficiente para obtener un tamaño idóneo cuando se tritura para alimentar al horno	No crítica
Características de trituración	El material 8 mesh no debe superar el 20%	No críticas excepto cuando las partículas tienden a ser delgadas y planas
Cocido		
Margen de cocción	980 - 1200°C	Vitrificación entre 1200° y 1250°C
Margen de hinchamiento	Mínimo 40°C y preferible 100°C	No crítico
Densidad	1200 - 725 kg/m <sup>3</sup>	1200 - 725 kg/m <sup>3</sup>
Expansión	Gradual, decrece con el margen de hinchamiento	Ligera
Absorción %	0 - 18 a la mejor temperatura - de hinchamiento	0 - 6
Color	Se prefieren rojo claro y gris claro, aunque no es crítico	Rojo claro y gris claro, aunque no es crítico
Resistencia	Debe determinarse con los ensayos del hormigón	Debe determinarse con los ensayos del hormigón

8.- BIBLIOGRAFIA.

- F. DIMANCHE ET AL. (1974).- The Kaolin: Mineralogy deposits.  
Uses. Miner. Sc. Eupu.
- M. PEREIRA (1971).- Aspectos do aproveitamento economico das -  
argiles. Ier. Congr. H-L-A.
- T.A. KLINEFELTER ET AL.- Testing of clays for light weight agre  
gate. American Ceramic Society.
- - - - - Testing of southern clays for light weight aggregate.  
American Ceramic Bull.
- G. SCHWERDTNER ET AL.- Geowusenschaftliche problem bei der er-  
kundung, untersuchung und nutzung von kolin und ton-  
lagerstätten.
- M. SHAYNA (1975).- Clays of Manitoba and specific clays used by  
red river brick and tile for brick products. Indus--  
trial Minerals.
- J.J. MEZURE, J. SEGUIER (1976).- La geologie au service de l'in  
dustrie des tuiles et briques. Example d'assistance -  
pour una recherche d'argile. Industrie Ceramique.
- J.M. GLEZ. PEÑA (1967).- Estudio mineralógico de un grupo de ar  
cillas que poseen gran poder absorbente. Anales Eda-  
fología.
- D. GASPAR TEBAS (1951).- Arcillas y ladrillos: I-Arcillas.  
I.T.C.C.

J.H. BREDELL.- pH as a guide to the genesis and quality de Transval refractory clays.

B. MATTIAT (1970).- Eine methode zur elektronenmikros-Kopischen untersuchung des mikrogefüges in tonigen sedimenten. Hanover 1970.

E.M. SERGEEV (1971).- Les forces de cohesion et l'eau liée dans les argiles. BRGM section II nº 1.

E. DELORME - G. DEL POZO (1975).- Características y clasificación del caolín para la industria. Cerámica y Vidrio Vol. 14, nº 3.

A. STOTT R.H.S. ROBERTSON (1974).- Mineralogical analysis of some sepiolitic clays. Estudios Geológicos. Vol. 30 nº 4, 5 y 6.

J. VIEIRA DE SOUZA.- Estudio tecnológico de algunas argilas a caulins do recôncavo do Estado da Bahia. Depto. N.C. Produção mineral.

P. SOUZA SANTOS (1975).- Tecnología de Argilas. Vol-1. Fundamentos. Edgard Blücher.

- - - - - (1975).- Tecnología de argilas. Vol-2. Aplicações. Edgard Blücher.

P. GOMEZ RUIMONTE (1961).- Estudio por rayos X de caolines españoles, y su utilización en la porcelana. IGME



B. VELDE (1977).- Clays and clay minerals in natural and synthetic systems. Elsevier.

H.H. RIEKE III - C.V. CHILIN GARIAN (1974).- Compactation of arenaceous sediments. Elsevier.

INDUSTRIAL MINERAL (1976).- Brazilian kaolin aims at world paper market. Industrial Mineral n° 107.

J. JOSEPH (1978).- Us active clays - demand sets the pace. Industrial Mineral n° 129.

INDUSTRIAL MINERAL (1977).- Clay sold or used by producers in the U.S. in 1977. Industrial Mineral n° 132.

- - - - - (1978).- Bentonite, sepiolite, attapulgite, etc. swelling market for active days. Industrial Mineral n° 126.

- - - - - (1978).- Clay's in 1976. (Clays sold or used by producers in U.S. in 1976). Industrial Mineral n° 127.

- - - - - (1976).- Kaolin and paper. A european forecast. Industrial Mineral n° 108.

- - - - - (1976).- Pottery and whiteware-2. Raw materials and the UK industry. Industrial Mineral n° 111.

- - - - - (1976).- Kaolin is not only a clay. Industrial Mineral n° 106.

INDUSTRIAL MINERAL (1976).- Ball and plastic clays ceramic bound.  
Industrial Minerals nº 107.

- - - - - (1976).- AGS: French clays and chamottes for international markets. Industrial Mineral nº 106.

E. GALAN HUERTOS - J.L. MARTIN VIVALDI (1973).- Caolines españoles: Mineralogía y génesis. Cerámica y Vidrio.

- - - - - (1973).- Caolines españoles: Geología, Mineralogía y génesis. Parte II- Clasificación de los depósitos de caolines españoles según su ambiente genético. Cerámica y Vidrio vol-12 nº 4.

- - - - - (1973).- Caolines españoles: Geología, Mineralogía y génesis. Parte III- Clasificación de los depósitos de caolines españoles según su ambiente genético. Cerámica y Vidrio, vol. 12, nº 6.

- - - - - (1973).- Caolines españoles: Parte IV. Descripción de los depósitos estudiados. Depósitos cretácicos wealdenses. Cerámica y Vidrio.

- - - - - (1974).- Caolines españoles: Parte V. Depósitos cretácicos utrillas. Cerámica y Vidrio.

- - - - - (1974).- Caolines españoles: Parte VI. Depósitos paleozoicos neogenos y cuaternarios. Cerámica y Vidrio.

- - - - - (1975).- Caolines españoles: Parte VII. Depósitos hidrotermales. Cerámica y Vidrio.

- E. GALAN HUERTOS - J.L. MARTIN VIVALDI (1975).- Caolines españoles: Parte VIII. Depósitos residuales y volcánicos, tipologías, conclusiones. Cerámica y Vidrio.
- E. DELORME - G. DEL POZO (1975).- Características y clasificación del caolín para la industria.
- E. GIPPINI PEREZ (1969).- Contribución al estudio de la composición óptima de las pastas cerámicas. Ito. Eduardo Torroja.
- W.E. WORRAL (1975).- Clays and ceramic raw materials. John Wiley.
- A. BAUDRAN (1974).- Argile et ceramique. Industrie Ceramique.
- C.N.R.S. (1962).- Genese et synthese des argiles. C.N.R.S.
- A. TOROK - T.D. THOMPSON (1972).- Activated bleaching clay for the future.
- G. LANRIOT (1968).- L'argile: constituant principal des boues et des formations.--
- J.M. HUBER CORPORATION.- Kaolin clays and their industrial uses.
- BUREAU OF MINES (1948).- Methods used in evaluating adsorbent clays. Bureau of Mines.
- R. ALVAREZ RODRIGUEZ (1971).- Valoración del caolín. I. Congr. H.L.A.
- M. KUZVARTH - J. NEUZIL (1972).- Genesis of kaolin. An example of the deposits in Czechoslovakia. L.U.G.S.

- J. KRAUSS - I. HORVATH (1972).- To the problem of fire-clay mineral. L.U.G.S.
- E. GALAN HUERTOS - J. ESPINOSA (1974).- El caolín en España: Características y ensayos cerámicos. R.S. Cerámica y Vidrio.
- A. BUSH (1974).- National self-sufficiency in light weight aggregate resources. I Congr. Inter. Rocas Industriales.
- H.P. HAMLIN (1960).- Evaluating ceramic clays for possible commercial utilization. University of Kentucky.
- T.C. TEATER (1960).- Miscellaneous clay and shale analyses for 1957-1959. University of Kentucky.
- R.V. COLLIGAN (1968).- Marketing of domestic wet-process-sed kaolin products. A.I.M.E.
- W. RUAN (1978).- Properties of ceramic raw materials. Pergamon.
- J. ESPINOSA - E. GALAN (1974).- Normativas de ensayos para los caolines cerámicos propuestas por el grupo de trabajo de los caolines españoles. S.E.C.V.
- EXPANDED SHALE CLAY AND SLATE (1972).- Fire resistance of expanded shale clay and slate structural concrete floor slabs. Expanded shale clay and slate.
- D. PAETSCH.- Sobre el control de las materias primas en cerámica. Boll. Soc. Esp. Cer. Vidrio.

- R.H.S. ROBERTSON (1974).- Hormitic clays (Attapulgitte, sepiolite ..) in the Mediterranean basin. 1st. Ind. Min.
- C.E. HOFSTANDT - R. FAHN (1976).- Bentonite a valvable and versatile mineral and raw material. 2nd. Ind. Min.
- H.H. MURRAY (1975).- Kaolin: past. present and future. 2nd Ind. Min.
- IGME.- Proyecto de investigación de las formaciones caoliníferas en la Cordillera Ibérica. IGME.
- J.M. GLEZ. PEÑA (1974).- Relación entre las características físicas del componente arcilloso y el comportamiento de las pastas cerámicas. Est. Geológicos, vol 30, nº 4, 5 y 6.
- J. YANNICELLI (1978).- Kaolin: Production reaches new high in 77 E/MS, vol 179, nº 3.
- K.I. LILES - H. HEYSTEK (1972).- The bureau of mines test program for clay and ceramic raw materials. Bureau of mines Informat. Cient.
- J.L. MARTIN VIVALDI ET AL (1971).- Las rocas arcillosas españolas: su investigación científica y técnica.
- N. FUJII (1972).- Genesis of the flint clay deposits at the Iwate mine. Northeast Japan. J.U.G.S.
- J.L. BURNETT (1964).- Prospecting for expansible shale. Mining Engineering.

- J.L. MARTIN VIVALDI (1969).- Kaolin deposits of Spain. XXIII. Geol. Int. Congr.
- M.J. AGUILAR TOMAS.- Parámetros geológicos en relación con los yacimientos de caolín en el dominio de la C. Ibérica.
- A. ESCARDINO BENLLOCH ET AL (1977).- Arcillas cerámicas de la región valenciana. Estudio de algunas arcillas empleadas en la fabricación de azulejos en las provincias de Castellón y Valencia. Cerámica y Vidrio, vol. 16, nº 2.
- V. ALEIXANDRE FERRANDIS ET AL (1974).- Estudio físico químico y tecnológico de un grupo de arcillas para ladrillería. Cerámica y Vidrio, vol. 13, nº 6.
- S. MARTIN PEREZ (1977).- Tecnología de las arcillas. Cerámica y Vidrio, vol 16, nº 5.
- B.M. COOPE (1979).- Kaolin a review of production and processing. Industrial Minerals nº 136.
- J.M. FERNANDEZ BECERRIL ET AL (1973).- Estudio de concentración de los caolines de la mina M<sup>a</sup> José. Bol. IGME T-LXXXIV -III.
- CERAMICA Y VIDRIO (1974).- Una instalación moderna de tratamiento de caolín. Cerámica y Vidrio, vol. 13, nº 2.
- H.H. MURRAY (1977).- An overview of the kaolin deposits of the world. AIME.

F.H. CLEWS (1971).- Clays and ceramic products (Non Metallic - Minerals and Rocks). Longman.

IGME.- Arcillas (Estudio económico y termológico para explotación y aprovechamiento de las rocas industriales). IGME.

M.E. TYRRELL - L.M. DIXON (1972).- Ocurrence: Test data and - evaluation of clay for marking structural clay products. Clay resources bull nº 3.

M.E. TYRRELL (1969).- Ocurrence: Test data and evaluation of - clay for marking light weight aggregate. Clay resources Bull nº 2.

J. GOMEZ DE LLARENA (1955).- Un yacimiento de caolín sedimentario en la cuarcita armoricana de la S. del Pedroso - (Asturias). IGME.

INDUSTRIAL MINERAL (1978).- Sarca. New source of french chamottes. Industrial Minerals nº 124.

WORLD MINING (1977).- How better feed mixing cuts bentonite consumption at LKAB pellet plants. World Mining vol. 30, nº 9.

INDUSTRIAL MINERAL (1975).- North-west USA: some industrial Minerals operations (Wyoming). Industrial Minerals nº96.

T.E. WAYLAND.- Geologic occurrence and evaluation of bentonite deposits.

J.L. GILLSON (1968).- Bentonite.

D. PAES DE LIRA FILHO (1973).- Perfil analítico da Bentonita.  
Dpto. Nal. de Produção Mineral.

EXPANDED SHALE CLAY AND SLATE (1961).- Concrete masonry guide  
specifications. Expanded shales clay and slate.

- - - - - (1971).- Fire resistance of expanded shale clays and  
slate concrete masonry. Expanded shale clay and slate.

- - - - - (1961).- Guide specifications for structural light -  
weight concrete. Expanded shale clay and slate.

J. PUIG MONTRAVETA - F. SANCHEZ PIREZ. (1974).- Los cementos alu-  
minosos y sus aplicaciones refractarias.

J. COMA GUILLEN - C. FELGUEROSO.- Caso concreto de aplicación  
de los métodos geológicos a la evaluación de reser-  
vas de materias primas para una fábrica de cemento.  
Jornadas Minero Metalúrgicas.

S.W. HUDD (1960).- Industrial Minerals and rock (3<sup>a</sup> edition).  
A.I.M.E.

- - - - - (1975).- Industrial Minerals and rocks(4<sup>a</sup> edition).  
A.I.M.E.

G. ASHBY (1976).- Minerals in the foundry industry. I. Ind.Min.  
Corp.

E. BORTA GARCIA (1967).- Attapulgita: Propiedades y aplicacio-  
nes industriales. 3 J.M.M.



- T.A. KLINEFELTER.- Raw materials for white ware. Ceramic Bull.
- W.A. VOGELY (1976).- Economic of the mineral industries. AIME.
- F.H. NORTON (1972).- Refractarios. BLUME.
- F. y S.S. SINGER (1972).- Cerámica industrial. V-I: principios generales de la fabricación de cerámica. URMO.
- - - - - (1971).- Cerámica industrial. V-II: procesos de la fabricación de cerámica. URMO.
- - - - - (1971).- Cerámica industrial. V-III: procesos de la fabricación de la cerámica. URMO.
- A.J. OWEN (1979).- Refractories. Industrial Mineral nº 137.
- J.A. TINDALL (1979).- Ceramics. Industrial Mineral nº 137.
- A. GARCIA VERDUCH (1975).- Consideraciones sobre la ciencia cerámica. Cerámica y Vidrio, vol-14 nº 4.
- A. LAURS (1977).- El cuarteo y desconchado del esmalte. Cerámica y Vidrio nº 1, vol 16.
- A. CREUS SOLE (1976).- Regulación completa de un horno túnel y su influencia sobre el horno de energía. Cerámica y Vidrio, vol 15 nº 1.
- F. SORIA SANTAMARIA (1976).- Estado actual de la tecnología del cemento y su repercusión en la industria de los materiales refractarios. Cerámica y Vidrio, vol 15 nº 5.

D.A. ESTRADA (1976).- Defectos más corrientes en la fabricación de ladrillos. Sus orígenes y remedios industriales. Cerámica y Vidrio. Vol 15, nº 5.

J. LAHUERTA (1974).- Control de calidad en la cerámica de construcción. Cerámica y Vidrio, vol 13- nº 6.

A. GARCIA VERDUCH (1974).- El empleo del cuarzo en las composiciones de cerámica blanca. Cerámica y Vidrio, vol-13 nº 5.

F. PUERTA CABAÑES (1977).- Monococción y cocción rápida para la fabricación de pavimentos cerámicos. Cerámica y Vidrio, vol 16, nº 2.

INDUSTRIAL MINERAL (1978).- Refractories: 1.- Changing patterns of consumption. Industrial Mineral nº125.

- - - - - (1978).- Refractories: 2.- Producer's progress. Industrial Minerals nº 128.

- - - - - (1976).- Pottery and whiteware 1.- Materials and manufacture. Industrial Mineral nº 111.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.- 1978 annual book of ASTM standards. American society for testing and materials.

P. DAURO (1974).- Problemes communs et particuliers aux diverses branches de l'industrie ceramique. L'industrie ceramique.

- E. GALAN (1975).- Studio de caratterizzazione delle materie -  
prime refrattarie.
- J. LABANJAT (1954).- Evolución de la fabricación y control de  
los productos cerámicos de construcción en Francia.
- S. FERNANDEZ MURO - J.L. ARREDONDO (1973).- Porcelanas electro-  
técnicas de alta resistencia mecánica.
- V. ALEIXANDRE FERRANDIS (1974).- Importancia de la cerámica.
- A. GARCIA VERDUCH (1973).- Algunos aspectos de la investigación  
cerámica actual.
- F. ARREDONDO.- Tendencias modernas en la fabricación de mate-  
riales cerámicos.
- J.H. CHESTERS (1973).- Refractories. Production and propoerties  
Iron and Steel Institute.
- F.G. BRACHET (1974).- Les produits refractaires nonfaconnes.  
L'industrie ceramique.
- D.R. WILLIAMSON - L. BURGIN (1959).- Refractory materials. Mine-  
ral Industries Bull.