

BOLETIN GEOLOGICO

Vol. XIV, Nos. 1-3 1966



REPUBLICA DE COLOMBIA
MINISTERIO DE MINAS Y PETROLEOS
SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL

BOLETIN GEOLOGICO

VOLUMEN XIV ENERO - DICIEMBRE 1966 Nos. 1 - 3

CONTENIDO:

	Págs.
SUESCÚN G., DARÍO et al. — Estudio de las Arcillas Industriales de la Zona Central de Antioquia 3 a	53
Con anexo de:	
ELLWANGER, REINALDO. — Informe sobre los Ensayos de Arcillas hechos en el Laboratorio de la Facultad de Minas 55 a	132

*La responsabilidad de las ideas emitidas en este boletín
corresponde a sus autores.*

ESTUDIO DE LAS ARCILLAS INDUSTRIALES DE LA ZONA CENTRAL DE ANTIOQUIA

ELABORADO POR LA
FACULTAD NACIONAL DE MINAS
MEDELLIN - COLOMBIA
1965

COLABORACION

Darío Suescún G. — Director del Estudio.
Reinaldo Ellwanger — Analista Técnico.
Héctor Rico H. — Ingeniero Jefe de Campo.
Eduardo Gómez R. — Ingeniero de Campo.
Henry Ospina L. — Ingeniero de Campo.

Gerardo Botero A. — Asesor del Estudio.

Ayudantes en el estudio:

Octavio Gartner M.
Lino Arbeláez Z.
Humberto Ortega O.
Mario Tabares G.
Camilo Alvarez R.

SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL
BOGOTÁ, D. E. 1966

CONTENIDO:

	Págs.
I. Resumen — Summary	6
II. Introducción	7
III. Fisiografía	11
IV. Meteorización	16
V. Relaciones Geológicas	19
VI. Generalidades sobre Arcillas	30
VII. Arcillas de Antioquia Central	37
VIII. Características de las Arcillas Analizadas	39
IX. Detalle de Yacimientos	40
X. Sistemas de Beneficio y Minería	46
XI. Aplicación Industrial	48
XII. Transporte a las Areas de Consumo	50
XIII. Conclusiones y Recomendaciones	51
XIV. Bibliografía	53

FIGURAS Y PLANCHAS

Figuras:

Nº 1. Localización del área	
Nº 2. Planta tipo para lavado de arcillas	49
Nº 3. Planta tipo para lavado de arcillas	49
Nº 4. Conos pirométricos	49

Plancha:

I. Localización de Yacimientos	37
--	----

I. RESUMEN

El presente estudio sobre las reservas de arcillas de interés industrial, localizadas en la zona central del Departamento de Antioquia, es el resultado de una investigación convenida entre el Ministerio de Minas y Petróleos y la Universidad Nacional (Facultad de Minas de Medellín).

Los factores determinantes en la formación, transporte y depositación de las arcillas (meteorización, tectonismo, drenaje, clima) son discutidos ampliamente. Un bosquejo geológico del área antecede a la descripción detallada de los yacimientos de arcillas más importantes, con indicación de las características físicas, químicas y mineralógicas de cada muestra analizada. Industrialmente se utilizan las arcillas como material de construcción o en cerámica, especialmente en Medellín, que es el centro de consumo.

Al final de este estudio viene un resumen sobre los resultados de investigaciones de las arcillas hechas en los laboratorios de la misma Facultad de Minas.

S U M M A R Y

The present study regarding the clay resources of industrial interest located in the central part of the Department of Antioquia is the result of an investigation convened between the Ministry of Mines and Petroleum and the National University (Faculty of Mines in Medellín).

The determining factors in the formation, transport and deposition of clays (weathering, tectonics, drainage, climate) are discussed fully. A review of the geology of the area precedes a detailed description of the more important clay deposits, which includes the physical, chemical and mineralogical characteristics of each sample analyzed. The clays are used industrially as materials for construction and in ceramic industries particularly in Medellín, which is also the center of consumption.

At the conclusion of this study is a resume of the results of laboratory investigations of the clays conducted in the laboratories of the same Faculty of Mines.

II. INTRODUCCION

a) *Objeto del Informe.*

Se busca con esta investigación hacer una clasificación de las diversas arcillas analizadas, agrupándolas de acuerdo con sus características físicas, químicas y mineralógicas e indicando su aplicación industrial.

Igualmente fue objeto del estudio la evaluación de los yacimientos de arcillas existentes en Antioquia Central, su localización y accesibilidad. Las arcillas provenientes de la descomposición de las rocas ígneas y metamórficas, muy abundantes en la región, fueron cuidadosamente analizadas, tratando de buscarles una aplicación industrial.

b) *Localización y extensión.*

El área de estudio está delimitada así: (Fig. 1) al sur, los límites de los Departamentos de Antioquia y Caldas; al occidente, los ríos San Juan y Cauca; al norte, el paralelo 1.265.000 de la red geodésica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, con origen en Bogotá (1.000.000 N y 1.000.000 E); al oriente, el meridiano 890.000 de la misma red. Su extensión total es de 12.800 kilómetros cuadrados y dentro de ella están situados los 61 Municipios siguientes: Sabanalarga, San Andrés, Yarumal, Angostura, Guadalupe, Carolina, Gómez Plata, Santa Rosa, Entreríos, San Pedro, Belmira, Liborina, Olaya, Sopetrán, San Jerónimo, Ebéjico, Medellín, Bello, Copacabana, Girardota, Don Matías, Barbosa, Santo Domingo, Cisneros, Alejandría, Concepción, San Vicente, Guarne, Peñol, Guatapé, Granada, Cocorná, Santuario, Marinilla, Rionegro, Carmen de Viboral, La Unión, La Ceja, El Retiro, Itagüí, La Estrella, Caldas, Heliconia, Armenia, Angelópolis, Titiribí, Amagá, Venecia, Fredonia, Santa Bárbara, Montebello, Abejorral, Sonsón, Nariño, Tarso, Pueblo Rico, Jericó, Támesis, Jardín, Valparaíso y Caramanta.



c) *Vías de comunicación.*

Cruzan el área dos carreteras troncales: La central del norte que va de Cali a Cartagena y la transversal Bogotá-Urabá. De estas troncales parten carreteras secundarias que comunican con todos los Municipios, excepto Sabanalarga. El total de carreteras dentro de la zona es de 1.900 kilómetros, cifra que da un promedio de 0,15 km. de vías por cada kilómetro cuadrado de terreno. Solamente 270 kms. están actualmente pavimentados; los restantes son transitables en todo tiempo.

El Ferrocarril de Antioquia atraviesa el área entre Pintada-Medellín y Cisneros, con una longitud de 230 kilómetros.

Esta red de vías facilita el transporte de las arcillas hacia el centro de consumo que es Medellín, recorriendo distancias hasta de 115 kilómetros, entre Pantanillo (Abejorral) y la capital.

d) *Métodos de investigación.*

El 14 de junio de 1963 se iniciaron los trabajos de campo con la colaboración de los ingenieros Darío Suescún G., Héctor Rico H. y Eduardo Gómez R. Se hizo primero un reconocimiento general del área recorriendo todas las vías transitables, para luego levantar en detalle las secciones de los yacimientos principales. Igualmente un equipo de perforación facilitado por el Ministerio de Minas colaboró en la evaluación del yacimiento de La Unión. Las muestras tomadas en el campo fueron analizadas por el ingeniero Reinaldo Ellwanger en los laboratorios de Petrología, Sedimentología y Química de la Facultad de Minas. Un equipo DELTATHERM para análisis térmico diferencial entró en funcionamiento antes de finalizar el presente estudio. Para la elaboración de mapas y secciones se utilizaron las planchas 1:25.000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, el mapa Geográfico y Minero del Departamento de Antioquia, elaborado en 1943 por la Planta Metalúrgica de Medellín, el mapa anexo al Terciario Carbonífero de Antioquia de E. Grosse y las medidas tomadas en el terreno con cinta y brújula.

e) *Agradecimientos.*

Colaboraron en la realización de esta investigación las siguientes entidades y personas:

El Ministerio de Minas y Petróleos, dirigido por el ingeniero Jesús A. Bueno, facilitó un equipo de perforación que hizo 5 pozos

en la cúpula de La Unión. El doctor Gerardo Botero Arango asesoró y coordinó en forma permanente los estudios de campo y de laboratorio. Locería Colombiana entrenó personal en su laboratorio experimental de Sabaneta. El personal asignado a este estudio, especialmente los laboristas, tuvo valiosa intervención.

f) *Estudios anteriores.*

Aunque la zona ha sido citada en varios estudios geológicos publicados, ninguno de ellos tuvo como objetivo el análisis de las arcillas. Locería Colombiana ha hecho exploraciones y análisis muy completos, pero no han sido publicados.

El primer trabajo detallado que se hizo para la evaluación de los diversos sedimentos, entre ellos las arcillas, fue el Terciario Carbonífero de Antioquia, cuyo autor es Emil Grosse. En él se describen los distintos estratos arcillosos que se encuentran en la cuenca sedimentaria del río Cauca. El fin principal del trabajo fue calcular las reservas de carbón.

En 1938, el doctor Julián Cock publicó el “Estudio de una Empresa Siderúrgica en Medellín”, en el cual se presentan los resultados de los análisis efectuados a los suelos lateríticos provenientes de la descomposición de las serpentinas, abundantes en el Valle de Aburrá.

En la revista “Minería”, número 101-102-103 y 104 se publicó (1940) un estudio de José Royo y Gómez titulado “Materias primas para cerámica en Antioquia”.

El Informe número 1349 del Servicio Geológico Nacional, titulado “Arcillas y Caolines del Municipio de La Unión-Antioquia”, cuyo autor es el geólogo Eduardo Nicholls V., presentó los resultados de los análisis efectuados a 52 muestras de arcillas de ese Municipio, incluyendo análisis químicos hechos a 16 de ellos.

Los únicos estudios geológicos detallados que se han hecho dentro del área cubren unos 7.500 kilómetros cuadrados y son los siguientes:

1) El Terciario Carbonífero de Antioquia (1926), con mapas a escala 1:50.000, correspondientes a la vertiente occidental de la Cordillera Central, entre La Pintada y Olaya. Autor: Emil Grosse.

2) Contribución al Conocimiento de la Geología de la zona Central de Antioquia (1963), trabajo hecho por el doctor Gerardo Botero A. a escala 1:25.000 y publicado a escala 1:50.000. Los mapas comprenden a Medellín y municipios vecinos.

3) Estudios Geológicos en Santa Rosa de Osos y municipios vecinos (inédito), ejecutado por el profesor Héctor Rico H. por contrato celebrado entre la Facultad de Minas y el Departamento de Antioquia.

4) Mapa Geológico de la Plancha I-8, publicada por el Inventario Minero Nacional en 1965, que es una reducción a escala 1:200.000 de los 2 trabajos anteriores.

III. FISIOGRAFIA

Siguiendo las divisiones propuestas por Lobeck se describen la climatología y geomorfología de la región, subdividiéndolas según los factores determinantes de la meteorización y la formación de arcillas.

A) *Climatología.*

Fenómenos climatológicos muy variados y acentuados se presentan en el área estudiada, dependientes principalmente del régimen de lluvias y de la temperatura.

1) *Pluviometría.*

De acuerdo con G. Botero A. (1963), "la base a fondo de la climatología del Centro de Antioquia es la emigración anual de la zona intertropical de bajas presiones, que cruza el Ecuador en ambos sentidos, dando como resultado dos estaciones lluviosas y dos estaciones secas, causadas las últimas por las zonas de altas presiones (anticiclónicas) que siguen a las de bajas presiones (ciclónicas)". Generalmente las estaciones lluviosas son de marzo a mayo y de septiembre a noviembre.

En la distribución de las lluvias influyen factores diversos: los vientos, las variaciones de temperatura y presión, el sistema montañoso de Antioquia, etc., factores que, sumados a la escasez e inexactitud de las observaciones, impiden deducir generalidades en el régimen de lluvias.

Considerando los registros pluviográficos suministrados gentilmente por el Servicio Hidrológico de las Empresas Públicas de Medellín (Cuadro N° 1), datos que son dignos de todo crédito, y los informes del Anuario Estadístico de Antioquia, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

CUADRO Nº 1
REGISTROS PLUVIOGRAFICOS

Estación	Municipio	Elevación mts.	Período años	Promedio mm.
Aragón	Santa Rosa	2.600	6	1.854
Aurra	San Pedro	2.550	13	1.144
Río Grande (Bocacero)	Santa Rosa	2.100	10	2.532
Botón	Santa Rosa	2.500	6	1.770
Caldas	Caldas	1.940	15	2.324
Chaquiro	Santa Rosa	2.250	6	1.758
Chorrillos	Medellín	2.420	17	1.500
Chuscal	El Retiro	2.310	15	1.948
Fabricato	Bello	2.440	15	1.651
Guadalupe	Gómez Plata	1.600	7	3.058
La Fe	El Retiro	2.190	16	1.855
La Mosca	Guarne	2.195	15	1.758
La Severa	Guarne	2.218	16	1.653
Las Palmas	El Retiro	2.485	16	1.845
Mazo	Medellín	2.555	16	1.721
Medellín	Medellín	1.549	57	1.427
Mesopotamia	La Unión	2.400	6	3.392
Prado	Medellín	2.065	15	1.994
Retiro	El Retiro	2.220	15	2.085
Río Abajo	Rionegro	2.075	6	1.824
Riochico	Entrerrios	2.250	6	1.823
Rionegríto	Santa Rosa	2.400	6	2.542
Rionegro	Rionegro	2.155	15	1.920
San Andrés	Don Matías	2.400	6	1.855
San Pedro	Belmira	2.445	15	1.528
Tabor	Santa Rosa	2.500	6	2.982
Teresita	Yarumal	2.750	6	2.775
Vasconia	Guarne	2.555	16	2.123
Villahermosa	Medellín	1.722	16	1.427
San Cristóbal	Medellín	1.908	15	1.520

a) En los valles de los ríos Cauca y su afluente El Aurra el promedio de lluvias es menor de 1.200 mm. por año. Para Antioquia el promedio de 1960 a 1963 fue 1.156 mm. por año.

b) La precipitación pluvial aumenta siguiendo el curso del río Medellín con promedios que fluctúan entre 1.200 mm. y 2.200 mm. Dentro de estos mismos límites de lluviosidad se puede considerar la cuenca del río Grande desde los nacimientos hasta su confluencia con el río Chico y la cuenca del río Negro desde su

origen hasta El Peñol. Ambas cuencas ocupan amplias mesetas, sensiblemente a igual altura, separadas por el río Medellín.

c) En el ramal occidental de la cordillera Central, que es el divorcio de aguas de los ríos Cauca y Porce, y cruza el área entre Sonsón, Alto San Miguel, Palmitas y Belmira, hay abundante condensación de las nubes provenientes del valle del río Cauca. Los promedios de lluviosidad son mayores de 2.200 mm. El suroeste de Antioquia y el extremo noreste del área estudiada tienen también abundante lluviosidad.

2) *Termometría.*

Por regla general la temperatura aumenta un grado centígrado por cada 180 metros de disminución en la altura. Varía con el transcurso del tiempo, la topografía, la nubosidad, la situación geográfica, etc.

La división por zonas climáticas puede hacerse según la altura o la temperatura media, en la siguiente forma:

a) Zona cálida (menos de 600 metros) en la cuenca del río Cauca, con temperatura media de 27°C en Antioquia.

b) Zona templada (600-1850 metros) en la cuenca del río Porce y las vertientes de la cordillera Central hacia los ríos Cauca y Magdalena, con temperatura media de 22°C en Medellín.

c) Zona fría (1850-3100 metros), comprende la parte del Macizo Oriental (Botero 1963) que está al oeste del frente de erosión del río Magdalena, excluyendo el valle del río Porce. La temperatura media es de 18°C en Rionegro.

d) Páramos (más de 3.100 metros) situados en Belmira y Sonsón, cubren el 2,3% del área total.

B) *Geomorfología.*

Dentro de las regiones naturales descritas por Vila (1944), el área en estudio ocupa parte del Macizo Antioqueño y parte de la región Caldense. Aceptando la subdivisión en provincias propuestas por Botero (1963), hace parte del Macizo Oriental, del Cañón del río Cauca y de la Provincia Volcano-Sedimentaria.

El Macizo Oriental ha sido formado en las distintas etapas de la orogenia andina iniciada en el Cretáceo. Está situado en la cordillera Central y formado de rocas metasedimentarias intruídas por el Batolito Antioqueño.

El Cañón del río Cauca que separa los Macizos Oriental y Occidental es una fosa tectónica de formación reciente con gran actividad erosiva. Es amplio cuando ha erodado rocas sedimentarias y volcánicas que son menos resistentes, y estrecho donde ha excavado rocas metamórficas.

La Provincia Volcano-Sedimentaria fue llamada por Vila Región Caldense y se extiende hasta el suroeste antioqueño. Se caracteriza por la abundancia de rocas volcánicas y sedimentarias, cuya erosión profunda presenta un aspecto peculiar.

1) *Relieve.*

La Cordillera Central tiene alturas de 3.000 a 3.500 mets. en el sur del Departamento de Antioquia, entre los nacimientos del río Arma y Sonsón. Tiene alturas un poco inferiores hasta Vallejuelo (La Unión), donde gira hacia el noroeste hasta el Cerro San Miguel (El Retiro), siguiendo paralelo el curso del río Cauca. En Vallejuelo se desprende hacia el norte un ramal, llamado del Naciente o Levante por Uribe Angel (1885), que separa las cuencas de los ríos Nare y Samaná Norte.

En el Cerro San Miguel la cordillera Central se trifurca:

a) El ramal denominado Central separa las aguas de los ríos Porce y Nare; tiene alturas promedias de 2.500 a 3.000 metros hasta Concepción. De aquí hacia el noreste las alturas son de 2.000 a 2.500 mts. La dirección general del ramal Central es noreste.

b) El ramal del Ocaso u occidental, con dirección sur-norte y alturas entre 2.500 y 3.000 mts., es la divisoria de aguas de los ríos Cauca y Porce. Sus máximas alturas son el Alto Boquerón (Medellín), con 3.150 metros, y el Alto El Yerba] (Belmira), con 3.220 mts.

c) Un ramal que separa las aguas de la quebrada Sinifaná y el río Poblano, es el más corto (20 kms.) ; tiene dirección general hacia el suroeste y sus alturas máximas son de 2.500 mts. en Cerro Bravo (Fredonia). Limitadas por este sistema de montañas existen vastas mesetas o altiplanicies producidas por la diferencia de resistencia a la meteorización entre las rocas plutónicas (en la altiplanicie) y las rocas metamórficas de las cordilleras.

2) *Drenaje.*

La mayor parte del área considerada en este Informe (75%) es drenada por el río Cauca y su afluente El Porce. El 25% res-

tante tributa sus aguas al río Nare y su afluente El Samaná Norte, pertenecientes a la región hidrográfica del Magdalena.

La gran diferencia de niveles entre los valles de los ríos Cauca y Magdalena y las montañas vecinas, complementada con la poca distancia horizontal que los separa, hace que los ríos de la región tengan fuertes pendientes con saltos, raudales, valles profundos y estrechos, sin que se haya logrado establecer el perfil de equilibrio.

Aproximadamente 4.600 kms. cuadrados de la región estudiada son drenados por el río Medellín, que toma el nombre de Porce al recibir las aguas del río Grande. Tiene una dirección general norte-sur hasta Bello, donde gira hacia el noreste. Su profundo valle ha cortado la provincia geomorfológica del Macizo Oriental, dejando sus afluentes a sus antiguos niveles, con saltos y pendientes fuertes (quebradas La García y Ovejas). El nivel base de erosión para su cuenca es el de 375 mts. (Cuadro N° 2).

CUADRO N° 2

PERFIL DEL RIO MEDELLIN - PORCE

Lugar	Elevación mts.	Distancia horizontal (kms.) entre sitios
Nacimiento	2.900	0
Caldas	1.750	11
Itagüi	1.550	10
Medellín	1.490	12
Bello	1.440	9
Copacabana	1.395	5
Girardota	1.355	8
Barbosa	1.280	16
Popalito	1.250	9
Est. Botero	1.050	10
Río Guadalupe	690	45
Río Riachón	375	22
Total . . .		157 kms.

IV. METEORIZACION

Las condiciones climatológicas y geomorfológicas descritas en el capítulo anterior influyen considerablemente en la profunda meteorización que presentan los diversos tipos de rocas existentes en el centro y sur de Antioquia.

La situación geográfica del área entre los paralelos 5°30' y 7° de latitud norte, en el sistema montañoso de los Andes, con predominio de rocas ígneas y metamórficas de composición esencialmente feldespática, determinan los efectos acentuados de desintegración y alteración que son comúnmente observados en el campo. Por regla general la meteorización es más intensa en la superficie y disminuye progresivamente con la profundidad hasta valores máximos conocidos de 78 metros (Perforación P-43. Represa de Miraflores).

La meteorización o intemperismo es la adaptación de las rocas que estaban en equilibrio en la litosfera, a las nuevas condiciones reinantes al ser expuestas a los agentes atmosféricos. Incluye el término un conjunto de procesos físicos y químicos que afectan constantemente los materiales de la superficie terrestre hasta convertirlos en suelo.

Varios factores influyen en la meteorización de las rocas, bien sea para la desintegración mecánica, para la descomposición química o para ambos procesos: cambios de temperatura, congelación del agua, crecimiento de raíces de plantas, trabajo del hombre y de los animales, infiltración del agua lluvia, acción del viento, presencia de grietas y fisuras; relieve y drenaje, micro-organismos, resistencia de los silicatos; estructura, textura y composición de las rocas; ácidos orgánicos, oxígeno del aire, CO₂, etc.

El estudio detenido de la meteorización es de especial importancia para hallar el origen de los yacimientos de arcillas, tanto residuales como transportadas. La erosión, transporte, sedimentación y litificación de los productos finales de la meteorización, originan las rocas sedimentarias que se forman en las cuencas principales.

A) *Meteorización física o desintegración.*

Es producida por los agentes físicos naturales que actúan sobre las rocas, según sea su textura y estructura, dando como producto final un conjunto de fragmentos de diverso tamaño.

La condición primordial para que exista la desintegración es la preexistencia de diaclasas dispuestas en forma ortogonal. Son especialmente abundantes en el Batolito Antioqueño, producidas

muy probablemente por contracciones resultantes del enfriamiento. Según Pomerol (1961) las fisuras de las plutonitas se deben a las presiones orogénicas ejercidas sobre los batolitos después de su emplazamiento y son más frecuentes en las márgenes y techos.

Las diaclasas que están a veces ocultas, se pueden determinar por los alineamientos preferidos de los cursos de los ríos, observados mediante fotografías aéreas. Generalmente se notan dos direcciones dominantes, aproximadamente perpendiculares entre sí.

El conjunto de diaclasas permite la infiltración de aguas lluvias y el crecimiento de las raíces de las plantas. Los ácidos que éstas segregan y la presión que ejercen en las paredes, ayudan a ensanchar las grietas por donde circulan los agentes meteorizantes.

Como consecuencia se inicia la alteración de los vértices de los poliedros formados por el conjunto de diaclasas. Esta alteración produce las exfoliaciones, muy típicas en el Batolito Antioqueño.

B) Meteorización química o descomposición.

La resistencia de las rocas a la meteorización es variable y depende de varios factores, entre ellos la composición y la textura. Las rocas afaníticas son mucho más resistentes que las granulares, probablemente debido a que son más compactas e impiden el paso de los agentes químicos.

Los análisis químicos de los diversos tipos de rocas de Antioquia central expresados en moles, tomados de Anales N° 57 de la Facultad de Minas (Cuadro N° 3), son:

CUADRO N° 3
INDICE POTENCIAL DE METEORIZACION

	Micacita	Nees Cuazo- diorita	Anfibolita	Serpentina	Roca verde	Tonalita B. Ant.	Granito sódico Amagá	Riolita sódica Altavista
ROCA N°	731	400	655	650	536	689	681	1.111
SiO ₂ . . . . .	.948	1.120	.787	.643	.869	.970	1.173	1.147
Al ₂ O ₃ . . . . .	.224	.167	.181	.027	.170	.176	.140	.174
Fe ₂ O ₃ . . . . .	.032	.015	.033	.033	.019	.012	.012	.014
MgO . . . . .	.045	.046	.108	1.024	.140	.083	.030	.016
CaO . . . . .	.003	.033	.229	.011	.132	.112	.004	.035
Na ₂ O . . . . .	.016	.029	.040	.008	.086	.077	.083	.068
K ₂ O . . . . .	.039	.028	.011	—	.014	.015	.036	.008
H ₂ O . . . . .	.149	.045	.042	.487	.165	.036	.056	.040
I.P.M.	3.52	6.33	24.9	31.8	14.5	17.4	6.56	5.95

Con estos valores se puede determinar el índice potencial de meteorización aplicando la siguiente igualdad propuesta por Reiche (1948):

$$\text{I.P.M.} = \frac{100 \times \text{Moles (MgO + CaO + Na}_2\text{O + K}_2\text{O - H}_2\text{O)}}{\text{Moles (SiO}_2\text{ + Al}_2\text{O}_3\text{ + Fe}_2\text{O}_3\text{ + MgO + CaO + Na}_2\text{O + K}_2\text{O)}}$$

Un alto índice potencial de meteorización indica que la roca es inestable; las rocas más resistentes a la meteorización tienen un índice próximo a cero o negativo.

La composición modal de las rocas es un factor interno de importancia en la meteorización química; de la proporción de minerales alterables y su disposición (textura) depende la rapidez de la descomposición.

El mismo autor ha determinado los índices potenciales de meteorización para los minerales más comunes en las rocas, con deducciones semejantes a las establecidas por Goldich en su serie de estabilidad. En el Cuadro N° 4 se pueden observar los valores promedios de los índices de minerales, comparados con el análisis modal de cada roca del Centro de Antioquia.

CUADRO N° 4

ANÁLISIS MODALES DE ALGUNAS ROCAS DE ANTIOQUIA

Mineral	Índice	Cuarcita	Neis	Anfibolita	Serpentina	Tonalita	Granito sódico
ROCA N°		729	718	655	665	689	681
Olivino	54	—	—	—	34,9	—	—
Hornblenda	36	—	—	72,5	—	9,8	1,0
Biotita	22	—	14,8	—	—	17,2	11,4
Andesina	14	—	34,0	26,0	—	48,4	23,2
Ortosa	12	4,6	—	—	—	—	18,3
Moscovita	11	7,9	14,4	—	—	—	—
Cuarzo	—	82,5	39,0	—	—	24,2	45,5

De estos minerales, los de la parte inferior de la columna son resistentes a la descomposición; los de la parte superior son los primeros minerales que se alteran, por ser a su vez los primeros que se forman durante el proceso de cristalización.

Varios procesos de meteorización actúan sobre los minerales que forman las rocas, unos en mayor escala que otros: disolución, oxidación, hidratación y carbonatación.

La serpentización del olivino es producida por hidratación, con aumento de volumen que origina fracturación en la roca. La meteorización de la serpentina por fenómenos de hidratación, disolución y oxidación, deja un suelo laterítico, con pequeñas cantidades de sílice y alúmina.

La hornblenda y la biotita tienen comportamiento similar durante la meteorización; la presencia de hierro y magnesio facilita la acción de las aguas cargadas de ácidos orgánicos, dando como productos de la reacción bicarbonatos solubles, limonita, arcilla y sílice. La cloritización es común para ambos minerales, como resultado de la acción hidrotermal.

La andesina, como las otras plagioclasas, bajo la acción de aguas meteóricas ligeramente carbonatadas, se altera originando minerales arcillosos, ácido silícico y bicarbonato de calcio y sodio.

La ortosa, uno de los últimos minerales en cristalizar, es muy sensible a los fenómenos deutéricos y origina por hidratación y carbonatación los mismos productos de las plagioclasas, excepto los bicarbonatos, que en este caso son de potasio.

La caolinización se efectúa en medio ácido y a partir de rocas que tengan feldespatos potásicos o sódicos como microclina, ortosa y albita. En el caso de la cúpula de La Unión, la roca original es muy probablemente una segregación ácida del Batolito Antioqueño.

La moscovita es muy poco alterable. Se cree que se forma como fase intermedia durante el proceso de caolinización, y en consecuencia puede ocurrir que un granito alterado tenga mayor proporción de moscovita que la roca original. El cuarzo es el mineral más resistente a la meteorización y es la causa del aspecto arenoso que ofrecen las rocas que lo contienen, cuando se hallan en estado avanzado de descomposición (carretera Caldas-Amagá).

Como se puede deducir de lo anterior, los productos de descomposición de las rocas son de dos clases: 1) Bicarbonatos solubles de sodio, potasio, calcio, hierro y magnesio que son transportados por los ríos en solución; 2) Alumino-silicatos hidratados, insolubles (arcillas) que forman los depósitos residuales o son transportados en suspensión para formar las rocas sedimentarias.

V. RELACIONES GEOLOGICAS

Las rocas expuestas en el área estudiada (Plancha II) son de muy variadas características y van desde los tipos sedimentarios consolidados en cuencas de origen continental y no consolidados localizados en valles de reciente formación, hasta rocas

ígneas intrusivas y extrusivas, pasando por amplias áreas de rocas metamórficas, totalmente inter-relacionadas unas con otras mediante un tectonismo intenso y complicado que ha prefigurado una geomorfología especial en el Departamento de Antioquia.

Casi todas las variedades de las series sedimentarias están presentes, tales como conglomerados, areniscas, arcillolitas y estratos de carbón. Las rocas ígneas están representadas por un gran cuerpo intrusivo tonalítico en la zona central estudiada y amplísimas extensiones cubiertas por espilitas o rocas verdes de carácter extrusivo, lo mismo que algunos derrames volcánicos de tipo andesítico. Las rocas metamórficas tienen expresión en extensas áreas donde afloran orto-anfibolitas, serpentinas, filitas y neises como los tipos más dominantes.

Desde el punto de vista de la Geología Histórica, la clasificación de las rocas presentes, aplicando el nombre a grupos amplios, puede resumirse en:

Paleozoico para los grupos metamórficos;

Cretáceo para los ígneos tonalíticos y las rocas verdes;

Mioceno-oligoceno para los sedimentarios y algunos extrusivos, y

Plio-pleistoceno para los derrames volcánicos y los depósitos sedimentarios no consolidados.

A) *Estratigrafía y Petrografía.*

Los diversos tipos de rocas se pueden agrupar en 13 formaciones cuyas características en resumen son las siguientes:

1) Metasedimentos (Ms). Es la formación geológica más antigua del área, asignada al paleozoico por varios geólogos mediante correlación litológica con los metasedimentos ordovicianos de Cristalinas, al este de Antioquia. Tiene una dirección general N-30-W cruzando diagonalmente el área; es de probable origen marino y predominan en ella filitas y micacitas, aunque no es raro encontrar cuarcitas, neises y mármoles. Se presenta basalmente como neis lenticular micáceo, mostrando feldepatos del tipo andesina entre 20% y 45%, cuarzo del 25% al 50% y micas (biotita-moscovita) entre 10% y 30%. Por alteración de las filitas se obtienen en algunos lugares arcillas de buenas características (muestra N^o 77).

2) Anfibolitas (Ma). Esta formación tiene amplia expresión en la parte central del Departamento de Antioquia y forma con los metasedimentos el grupo Ayurá-Montebello. El hecho de encontrarse en una faja paralela con los metasedimentos, entre éstos y el Batolito Antioqueño, ha servido de base a algunos autores para decir que “las anfibolitas representan el frente básico producido por una granitización relacionada con el Batolito”.

Macrocópicamente son rocas negras, marcadamente metamórficas por el bandeo de los feldespatos y de la hornblenda, en segregación diferencial, dándole textura esquistosa o néisica. Los minerales dominantes son: hornblenda entre 49% y 80% y plagioclasa del tipo andesina, entre 13% y 50% del total de la roca; estos minerales constituyen el par estable y característico de la facies clásica de anfibolita, formada por metamorfismo regional de grado medio.

El origen ígneo que se les ha atribuido se confirma por el contenido de TiO_2 (1,13% promedio) y por la presencia de diques o silos de anfibolitas intrusivos en filitas, metamorfoseados al mismo tiempo con las rocas encajantes. La edad por consiguiente es posterior a la de los metasedimentos, probablemente paleozoica.

Por meteorización de estas anfibolitas se producen arcillas de colores amarillos, pardos y rojizos (muestra N° 44), pero en general, son resistentes a la alteración.

3) Serpentinias (S). Varios diques de rocas ultrabásicas se presentan en el área, siguiendo una dirección promedio N-25-W. El color varía entre gris y verde oscuro y en su composición mineralógica predominan antigorita y serpofita (hasta 95%); en menor cantidad se encuentran olivino, óxidos de hierro, cromita, tremolita y clorita. El dique occidental fue descrito por Grosse y clasificado como harzburgita, por la presencia de dialaga y broncita.

Su edad continúa siendo una incógnita, pues intruyen los metasedimentos y las anfibolitas, no tienen relación directa con las rocas verdes cretáceas (contacto fallado) ni con el Batolito Antioqueño. Las inyecciones ultrabásicas tienen íntima relación con las etapas iniciales de tectonismo; están localizadas en zonas orogénicas y siguen la dirección de los ejes tectónicos. La movilidad de las serpentinias durante los fenómenos tectónicos les permite acomodarse a multitud de condiciones estratigráficas.

Se alteran hidrotermalmente a clorita, actinolita, esteatita y talco. Pero lo más característico de ellas es su meteorización a lateritas rojizas ricas en hierro, con pequeñas cantidades de sílice, alúmina, cromo y níquel, llegando a formar yacimientos de hierro

en las áreas nororiental de Medellín y vecindades de Bello. Estos yacimientos no son aprovechables por estar situados en zonas urbanizadas.

4) Batolito Antioqueño (Iba). El cuerpo principal de este batolito ocupa la mayor parte de la zona oriental del área, pero es necesario incluir bajo esta denominación los batolitos satélites de Ovejas y Sonsón, y las cúpulas de La Unión, El Buey, Montebello y Belmira.

La textura en general es granular media a gruesa, pero en las zonas de contacto varía desde granular fina hasta porfirítica. Su color es claro, moteado de negro por los abundantes minerales ferromagnesianos. La composición mineralógica es relativamente homogénea, con un promedio de 56% de plagioclasa (andesina), 18% de cuarzo, 11% de biotita, 9% de hornblenda, 6% de ortoclasa. La clasificación de las muestras, según los análisis conocidos hasta el presente, es la siguiente: tonalitas 55%; granodioritas 37%; dioritas 4%; granitos 4%. En la clasificación CIPW pertenece a la Clase II.

Es intrusivo en todas las formaciones que lo rodean, formando aureolas de contacto. La edad determinada por el método potasio-argón en la Universidad de Columbia, Estados Unidos, dio como resultado 79 millones de años ± 3 , lo cual lo sitúa en el Cretáceo Superior (Campaniano-santoniano). Recientemente fueron hechos 6 análisis más en la Universidad de Sao Paulo (Brasil), con resultados que confirman su emplazamiento en el Cretáceo Superior.

La meteorización del batolito produce diversos tipos de arcillas, de acuerdo con la plagioclasa dominante en la roca original: en la cúpula de La Unión (muestras 16 a 21) se observaron las mayores concentraciones de arcillas caoliníticas blancas originadas por la profunda alteración de rocas ácidas. De Sonsón (muestra 72), Santa Rosa (muestra 37) y de Carolina (muestra 38), se analizaron arcillas producidas por meteorización del batolito, cuyas características se describen más adelante.

5) Aureolas de Contacto (C). En varias zonas se presentan fenómenos de contacto producidos por asimilación de las rocas encajantes. Los más importantes se encuentran al sureste de Medellín, donde se notan distintos efectos: a) La asimilación de la anfíbolita por el magma ácido del batolito produce un tipo de rocas híbridas, superficialmente alteradas, formando estructuras de columna por meteorización diferencial; los constituyentes principales son: plagioclasa cálcica (labradorita), hornblenda en cristales

grandes y clinopiroxenos; se clasifican como gabros hornbléndicos; b) Por acción de un magma serpentinoso sobre las anfibolitas se producen efectos cataclásticos, desplazamiento de cristales en forma lenticular y flujo de la masa alrededor de ellos. Las aureolas del batolito de Altavista se omitieron.

6) Sedimentos cretáceos (Ks). Los sedimentos cretáceos hallados hasta ahora en el área son de 2 tipos: a) El de Abejorral, compuesto de conglomerados basales, lutitas y arcillas (muestras 39 y 40), con fósiles mal conservados, probablemente albianos; b) Los sedimentos intercalados con las rocas verdes, compuestos principalmente de esquistos silíceos negros, filitas grafitosas, liditas, cuarcitas negras de grano fino, conglomerados intraformacionales, calizas negras, depositados en un medio nerítico y euxínico; el espesor es muy variable por ser una formación litoral, muy irregular; la edad es probablemente Cretácea Superior, posterior al Batolito Antioqueño; su importancia disminuye hacia la parte superior de las Rocas Verdes.

7) Rocas Verdes (Rv). Dos fajas de Rocas Verdes, aproximadamente paralelas y con la misma dirección de las serpentinas (N-25-W), cruzan el extremo occidental del mapa. Su asociación con serpentinas y sedimentos, sugiere la existencia de un eugeo-sinclinal, con sus etapas de sedimentación y volcanismo. Han sido llamados porfiritas, diabasas, espilitas y ofiolitas por varios autores.

El color verde característico es producido por cloritización de ferromagnesianos; la textura es félsica o porfirítica; los minerales dominantes son: plagioclasa sódica, indicando espilitización. Fenocristales de augita y amígdulas rellenas de calcita o cuarzo.

Los derrames volcánicos fueron submarinos y en parte subaéreos por la ausencia de intercalaciones de sedimentos en la parte superior de la formación. La edad es Cretácea Superior, posterior al Batolito Antioqueño, como lo indican los diques de roca verde (conductos alimentadores de los derrames) que cortan apófisis del Batolito en la carretera Versailles-Montebello.

La meteorización de las rocas verdes produce arcillas amarillas y rojizas con grietas rellenas por limonita de color carmelita oscuro (muestras 42 y 43).

8) Batolito de Alta Vista (Iav). Varios cuerpos de rocas ígneas situados al occidente del Batolito Antioqueño, se incluyen bajo este nombre. Grosse los estudió muy detalladamente, asignándoles los siguientes nombres: diorita tipo Boquerón, diorita tipo Heliconia y diorita anfibolítica, con sus diversas facies.

Este plutón, que es típico de la epizona, tiene gran variedad petrográfica, en contraste con el Batolito Antioqueño; es más ácido que éste (Clase I de la clasificación CIPW) y proviene de un magma sódico, relativamente pobre en cuarzo.

El color de la roca varía de gris claro a gris oscuro; la textura es de grano fino o porfirítico; la composición mineralógica promedio es: plagioclasa (oligoclasa) 52%, hornblenda 35%, cuarzo 5%, biotita 5%.

Es intrusiva en las Rocas Verdes y en el grupo Ayurá-Montebello. Según Grosse, "la intrusión de estas masas enormes tuvo lugar, probablemente, como también en otras regiones andinas, junto con el plegamiento principal postcretácico-eoterciario de los Andes".

Las alteraciones de estas rocas son variadas, dando como producto final arcillas que son aprovechadas para la elaboración de materiales de construcción en los galpones situados al oeste del río Medellín (muestras 11-71-78).

9) Terciario Carbonífero (Tc). Está localizado en la zona sur-occidental del mapa, en el valle del río Cauca y ocupa cuencas tectónicas relativamente pequeñas, siguiendo una dirección general N-15°-W.

Las rocas dominantes de esta región, de carácter netamente sedimentario continental, en parte están intruídas por rocas más recientes o cubiertas por formaciones neoterciarias volcánicas muy potentes, y en parte descansan sobre rocas ígneas y metamórficas muy antiguas.

Es la formación más importante para este estudio, por tener potentes estratos de arcillas. La sucesión de estratos es concordante y esencialmente consta de conglomerados, areniscas, arcillas pizarrosas y mantos de carbón cuya sucesión estratigráfica permite hacer una subdivisión, conforme a E. Grosse, en 3 pisos.

a) *Piso inferior*, con promedio de 250 metros de espesor, aunque puede llegar a ser tan delgado como 60 metros al oriente de Fredonia; consta generalmente de conglomerados de grano fino a grueso y de colores claros; areniscas blancas, con frecuencia conglomeráticas y delgados bancos de arcillas pizarrosas que, por su poca potencialidad individual, no se tuvieron en cuenta para su posible explotación en caso favorable de su calidad; los mantos de carbón de este piso son de espesores muy reducidos y no son aptos para su explotación.

El basamento del piso inferior es marcadamente discordante y se presenta como rocas plutónicas o filitas antiguas y el Ter-

ciario se inicia generalmente con un conglomerado basal. En algunas localidades puede apreciarse una conformidad aparente entre el Terciario y las rocas del basamento, pero ello es debido a plegamientos posteriores. Las arcillas están bien estratificadas, son de carácter pizarroso, colores gris a verdoso o azulado que, por meteorización, pueden pasar a color amarillo hasta pardo, a veces concrecionarias algo calcáreas, y frecuentemente arenosas. Las arcillas colocadas en el yacimiento o en la cubierta de las vetillas de carbón se pueden presentar de color negro y muy carbonáceas, pero ello es más bien una solapa de los mismos mantos de carbón.

En resumen, las arcillas del piso inferior no se tuvieron en cuenta desde el punto de vista comercial, debido al poco espesor de tales estratos.

b) *Piso medio*, en el cual es bien marcado el predominio de arcillas que alternan con potentes bancos de arenisca, siendo muy escasos los conglomerados y, en contraste, muy abundantes los mantos de carbón tanto de espesor explotable (mayores de 0,60 mts.), como las vetillas más delgadas.

El espesor promedio de este piso es de 250 m y consta de:

Areniscas claras a blancas, de grano grueso a fino, con cementos caoliníticos y arcillosos, ocasionalmente con clásticos redondeados de cuarzo lechoso. Las de grano fino varían en ocasiones a arcillas arenosas.

Arcillas pizarrosas de color gris, a veces verdoso, en espesores comunes entre 3 y 5 metros, pero en ocasiones llegan a tener de 10 a 14 mts. sin intercalaciones arenosas. Es común encontrar en ellas concreciones de siderita arcillosa hasta de 10 cms. de diámetro y suelen llevar hojas fósiles. Algunos sitios presentan arcillas amarillentas a rojo ladrillo y aun violáceas, y no es raro encontrarlas endurecidas con fracturas concoidal, debido a incendios en las vetas de carbón acompañantes. Las arcillas carbonáceas hasta bituminosas, acompañan por lo general a los mantos grandes de carbón.

Los carbones asociados al piso medio son lignitos transformados por tectonismo y pirometamorfismo a hullas grasas subbituminosas, con dureza de 2,5 y peso específico *in situ* de 1,33, formando mantos explotables que llegan a alcanzar hasta 2,50 m de espesor normal. El análisis promedio de estos carbones es:

Carbono fijo	41,92% a 59,20%
Volátiles	29,70% a 47,94%
Humedad	3,65% a 11,37%
Ceniza	1,20% a 6,20%
Azufre	0,40% a 1,20%
Poder calorífico	5.071 a 6.271 calorías

c) *Piso superior*; se caracteriza por la carencia de conglomerados y de mantos explotables de carbón. Las areniscas son de color gris azulado que por alteración se tornan de color amarillo grisáceo y rojo ladrillo; arcillas pizarrosas de color gris verdoso y violáceo predominan en este piso.

El espesor total de la formación es de 1.500 m, siendo el piso superior el más grueso (1.000 m). La edad Oligoceno-Mioceno fue determinada por Van der Hammen, mediante estudios palinológicos.

Varias muestras representativas de las arcillas de esta formación fueron analizadas: números 1 a 4 de Amagá; números 5 a 10 de Sopetrán; números 12 a 15 de Angelópolis.

10) Neoterciario Volcánico (Vc). Más comúnmente llamados estratos de Combia, son muy abundantes en el suroeste de Antioquia y se componen principalmente de aglomerados, tufas y derrames basálticos, superpuestos al Terciario Carbonífero.

Los aglomerados son gruesos, con cantos hasta de 30 cms. de diámetro, angulares, compuestos de rocas volcánicas, cementados con tufas; las tufas de color gris amarillento se forman de partículas de cuarzo, feldespatos, augitas y hornblendas; los derrames basálticos, de texturas vesiculares y fluidales, están intercalados con las tufas y aglomerados; son rocas densas, negras, con fenocristales de plagioclasa (labradorita y anortita), augita y olivino.

El origen de los estratos de Combia fue el resultado de erupciones volcánicas y de fisura de gran magnitud, con centros en Cerro Bravo, Cerro Tusa, Morro Alegre, Sillón y Milindres, que son cuellos volcánicos. Se pueden correlacionar con la formación Honda y Mesa del valle del Magdalena, asignadas al Mioceno y Plioceno.

La alteración de estas rocas origina arcillas que en algunos lugares son aprovechadas para la elaboración de materiales de construcción (muestras 74-81-82-83 y 84).

11) Andesitas intrusivas (Ad). Intruyendo al Terciario Carbonífero y al Neoterciario volcánico, se encuentran varios cuerpos

de andesita de formas irregulares, distribuidos en el suroeste antioqueño. Forman salientes muy notorias que resaltan por su mayor resistencia a la meteorización y representan los focos de actividad volcánica que dieron origen a la formación Combia.

La andesita es de color gris claro con fenocristales de plagioclasa, agujas negras de hornblenda y biotita alterada a clorita. No presenta efectos de contacto con las rocas encajantes y no tiene el carácter verdadero de las rocas plutónicas por haber cristalizado a poca profundidad; la textura es porfirítica.

La edad es probablemente posterior a la de los Estratos de Combia o contemporánea con ellos. El hecho de no encontrar andesitas en la formación Combia se puede explicar por la diversidad de productos que arrojan los volcanes, siendo los más antiguos los que originaron tales estratos, y los más modernos (andesitas) los que rellenaron los cuellos volcánicos.

12) Aluviones (Qa). Están distribuidos en los valles de los ríos Porce, Grande, Chico, Guadalupe, Nare, Cauca, Poblano y Aurra; incluyen terrazas escalonadas que representan diversas etapas de rejuvenecimiento en el ciclo de erosión de los ríos.

Son acumulaciones de cascajo, arena y arcilla provenientes de la meteorización, erosión y transporte de las rocas vecinas; los guijarros están redondeados cuando son de cuarzo o rocas ígneas; los de rocas metamórficas son discoidales.

En algunos lugares como el Llano de Ovejas (muestras 22 a 24) y Rionegro (muestras 25 a 28 y 31 a 36), se explotan arcillas aluviales. Otros aluviones han sido destruidos por el laboreo de minas auríferas, como se verá más adelante.

La edad asignada en general a los aluviones y terrazas es el Pleistoceno, pero la descomposición en algunos es tan avanzada que bien puede ser Plioceno.

13) Taludes (Qt). Prácticamente están restringidos al valle superior del río Medellín, entre Ancones Norte y Sur. Se forman de bloques angulares de diferentes tamaños, que por gravedad se han depositado en las vertientes de las cordilleras. Los bloques que son un producto de la desintegración de las rocas vecinas, están cementados por arcillas que no pueden aprovecharse por la dificultad para separarlas de los bloques.

B) *Estructura.*

El área considerada podemos asimilarla a dos tipos principales:

a) El pilar positivo de la Cordillera Central, con su culminación más notoria en la penillanura del oriente Antioqueño, formado por rocas metamórficas intruídas por plutones externos de carácter tonalítico, y

b) La compleja fosa tectónica del río Cauca, muy fracturada.

La geomorfología actual está condicionada a las orogenias terciarias que, en el caso del área correspondiente a la Cordillera Central, muestra marcada influencia en el alineamiento de las fallas, cursos de aguas, salientes de los terrenos, direcciones de diques y filones, etc., en una tendencia direccional N-30°-W, especialmente en los cuerpos intrusivos y sus inter-relaciones con las rocas metamórficas intruídas. Sin embargo, es de suponer que con mayor anterioridad existió una orogenia responsable del metamorfismo dinámico de los metasedimentos tan ampliamente expuestos en el área.

El tectonismo terciario, acaecido en movimientos ascendentes repetidos, muestra fallas con ángulos muy verticales entre los diferentes cuerpos principales, lo cual permite deducir un tectonismo netamente isostático (Grosse, 1926; G. Botero, 1963).

1) Relaciones entre formaciones.

La formación Ms (1) es la más antigua del área de origen marino sedimentario; la formación Ma (2) representa un plutonismo intrusivo en Ms (1) y metamorfoseado posteriormente; S (3) es intrusivo en Ma (2) y de edad incierta; Iba (4) es intrusivo en las anteriores, formando en partes aureolas de contacto C (5); los sedimentos cretáceos Ks (6) son unos anteriores a Iba (4) y otros posteriores; Rv (7) es intrusivo en Iba (4) y concordante con Ks (6); Iav (8) es intrusivo en Ms (1), Ma (2) y Pv (7), contemporáneo con la orogenia eoterciaria; Tc (9) es de origen sedimentario continental depositado sobre las formaciones anteriores; Vc (10) es la cubierta neoterciaria volcánica de Tc (9); Ao (11) es intrusivo en Tc (9) y Vc (10); aluviones (12) y taludes (13) cubren las formaciones anteriores.

2) Diques.

Unos son leucocráticos (aplitas y pegmatitas) y otros melanocráticos (lamprófiros); se encuentran en el Batolito Antioqueño y sus rocas encajantes, con direcciones predominantes hacia el noroeste, son contemporáneas y representan las etapas finales de la diferenciación magmática.

3) Diaclasas.

La red de fracturas observadas dentro del Batolito Antioqueño muestran 2 direcciones predominantes, casi perpendiculares entre sí, coincidiendo con los diques y alineamientos principales: N-60°-W y N-20°-E.

Según Ospina (1911), las 2 direcciones de las diaclasas de las rocas paleozoicas son: N-68°E y N-22°-W.

4) Fallas.

Se notan especialmente en la compleja fosa tectónica del río Cauca y son todas del tipo de sobre-escurrimiento, con dirección predominante N-30°-W. En la parte oriental donde predominan los plutones, no son observables las fallas por el avanzado estado de meteorización y la homogeneidad de las rocas, pero probablemente existen.

Las fallas se formaron durante los varios períodos de plegamientos del Terciario, delimitando áreas de distinta competencia mecánica en ángulos que varían de 50° a 70°.

5) Alineamientos.

Es probable que los alineamientos representen efectos tectónicos y sirvan para interpretar las direcciones de los movimientos orogénicos. Han sido determinados en planos topográficos y en aerofotografías, siguiendo cursos de los ríos, divorcios de aguas, diques y diaclasas. Tienen una dirección dominante hacia el noroeste y otra secundaria hacia el noreste; son más notorios en las mesetas del Batolito Antioqueño.

C) *Origen.*

Las condiciones tectónicas descritas favorecen bastante la formación de arcillas tanto residuales como transportadas. Los procesos de gradación (meteorización, erosión, transporte y sedimentación) se activan como consecuencia de los períodos orogénicos.

La asociación de arcillas con carbón fue ampliamente estudiada en El Terciario Carbonífero. Sobre el origen de estos sedimentos el autor dice: "La montaña formada por el plegamiento eoterciario de los Andes ha sido terraplenada en su mayor parte, antes de principiar el depósito del Terciario Carbonífero, puesto que el último no solo descansa en discordancia perfecta sobre todas las formaciones más antiguas, sino también superpone los

macizos de los granitos y dioritas andinos, de los cuales el conglomerado basal contiene frecuentemente rodados”.

Durante el Oligoceno y sobre una cuenca restringida tuvo lugar la acumulación de los sedimentos continentales, provenientes de la meteorización, erosión y transporte de los materiales suministrados por las cordilleras Central y Occidental. El ambiente fue en parte lagunar y en parte torrencial. La presencia de conglomerados y areniscas conglomeráticas en el piso inferior confirman la existencia de un período activo de erosión.

Las arcillas de esta cuenca tienen pues su origen en varias fuentes: residuos muy finos (principalmente limo) producidos por abrasión de partículas mayores; arcillas transportadas en suspensión, provenientes de la meteorización avanzada de las rocas; compuestos químicos especialmente bicarbonatados, resultantes de la meteorización, que son transportados en solución.

VI. GENERALIDADES SOBRE ARCILLAS

La arcilla es un producto de la descomposición y alteración de rocas feldespáticas y consta de una mezcla de partículas de diferentes tamaños y diferentes propiedades físicas, químicas y mineralógicas.

La porción que no es plástica consta de partículas de rocas alteradas y no alteradas, de las cuales las sustancias más comunes son cuarzo, micas, feldespatos, óxidos de hierro y carbonatos de calcio y magnesio. La materia orgánica está comúnmente presente en mayores o menores cantidades; frecuentemente juega papel importante en las propiedades de las arcillas.

Los constituyentes esenciales son los silicatos de aluminio hidratados, de los cuales hay varios, pero los más importantes y comunes son:

El grupo de la caolinita y el grupo de la montmorillonita. A este último grupo pertenece la bentonita. Los minerales arcillosos típicos, como caolinita, montmorillonita, etc., tienen su estructura microscópica en forma de plaquitas, las cuales se cree son las principales responsables de la plasticidad de las arcillas cuando se humedecen con agua.

Propiedades importantes de las arcillas son :

- 1) Endurecimiento cuando se secan y estabilidad cuando se quemán.

- 2) Encogimiento durante el secado y el quemado.
- 3) Amplia variedad de colores después del quemado.
- 4) Resistencia al ablandamiento a altas temperaturas.
- 5) Aislamiento eléctrico, térmico y acústico.
- 6) Acción decolorante y clarificadora, particularmente la tierra de Fuller, que se usa para refinar aceites.

Caolín (Arcilla China).

Estos dos términos han sido usados intercambiamente para describir uno de los tipos de arcilla que quema a color blanco, y tiene un cono pirométrico equivalente de 34-35.

El nombre caolín, viene de dos palabras chinas Kao-ling, que significan caolina alta, y que describen la región de la cual fue obtenido el caolín o "china clay".

En la terminología presente se designa como caolines primarios o residuales aquellas arcillas que queman blanco, formadas por la meteorización de rocas feldespáticas, diques de pegmatita, granitos y rocas similares y que se hallan en la misma localidad de la roca madre.

Los caolines secundarios o sedimentarios, son aquellos que fueron formados por meteorización, luego transportados por el agua y redepositados en otra área.

El caolín usualmente contiene menos de 2% de álcalis y pequeñas cantidades de hierro, calcio, magnesio y titanio. A causa de su pureza, el caolín tiene un alto punto de fusión y es el más refractario de todas las arcillas.

La composición química promedia de algunos tipos de caolines es la siguiente (muestras lavadas).

	Georgia %	Carolina Norte %	Inglaterra %	Florida %	Alabama %
Sílice	45,30	46,30	47,00	46,30	44,74
Alúmina	39,14	38,78	37,72	37,70	39,47
TiO ₂	1,54	0,04	0,15	0,50	1,29
Oxido de Fe	0,27	0,38	0,96	0,30	0,55
Calcio	0,13	0,10	0,19	0,50	0,00
Magnesio	0,04	0,09	0,18	0,00	0,00
Potasio	0,15	0,34	1,57	0,20	0,00
Sodio	0,10	0,24	0,23	0,00	0,00
Pdas. al fuego	13,71	13,73	12,37	13,70	13,89
	100,38	100,00	100,37	99,70	99,94

Bentonita.

Es un silicato de aluminio hidratado, derivado de las cenizas volcánicas, con la arcilla mineral montmorillonita como su principal constituyente.

El nombre de bentonita originalmente se aplicó solo al tipo específico que se encuentra en la formación Port Benton, en las Black Hills de Wyoming y Dakota del Sur. Posteriormente todas las arcillas que tenían montmorillonita y que se habían derivado de ceniza volcánica, fueron clasificadas como bentonita.

Para propósitos prácticos es necesario subdividir la bentonita en dos tipos:

- 1) Aquellas que se hinchan enormemente cuando se mojan, y
- 2) Aquellas que se hinchan pero no más de lo que hacen otras arcillas plásticas.

El tipo 2) es ampliamente usado como arcilla para clarificar otras y para mejorar la plasticidad cuando el color no es muy importante.

La bentonita es algo variable en su apariencia exterior y en sus propiedades superficiales. Los colores más comunes de la bentonita cruda (sin tratar) son pardo pálido, crema y verde claro, pero tonos de gris, azul claro, verde rosado no son raros. El producto comercial usual es de color crema.

Quema a color rojo claro o pardo.

La bentonita del tipo 1) sufre la fusión completa alrededor de 2440°F.

El análisis químico del material libre de agua es:

	%		%
Sílice	64,32	Potasio y sodio	2,90
Alúmina	20,74	Oxido de titanio	0,11
Oxido de Fe	3,49	Azufre	0,35
Calcio	0,46	Agua de composición	5,15
Magnesio	2,26		99,78

A) Distribución.

Son las arcillas los sedimentos más comunes en la superficie terrestre y se encuentran, bien sea como productos de meteorización de rocas, sin transporte alguno (arcillas residuales) o en cuencas sedimentarias (arcillas transportadas o secundarias).

Para algunos autores las arcillas representan la mitad de los sedimentos, seguida en importancia por areniscas y calizas. El tamaño fino del grano (menor de 1/256 mm.) no permite su determinación al microscopio y es necesario recurrir al análisis térmico diferencial, a los rayos X o al análisis químico.

Las rocas sedimentarias cubren aproximadamente el 75% del área emergida, mientras que por volumen solo representan el 5% de la litosfera conocida. Un cálculo preciso de la proporción de arcilla dentro de los sedimentos es imposible debido a la variedad de tamaños de las partículas que intervienen en la formación de cada uno de ellos.

Las arcillas residuales se encuentran cubriendo la roca que les dio origen, y sus características dependen del clima, drenaje y composición. En regiones tropicales son ricas en hidróxidos de aluminio y hierro (lateritas ferruginosas y bauxíticas), dependiendo de la roca original.

B) *Clasificación.*

Las arcillas pueden ser clasificadas de acuerdo a su origen, a sus propiedades químicas y físicas, a su composición mineralógica o a sus usos. El geólogo está más interesado en la primera clasificación, y el tecnólogo ceramista en las otras tres.

La siguiente clasificación (Cuadro Nº 5) por Heinrich Ries (Clays, Occurrence, Properties and Uses) es quizá la mejor conocida y la más ampliamente usada.

CUADRO Nº 5

CLASIFICACION DE ARCILLAS POR RIES

- I. Arcillas Residuales. Formadas en el mismo lugar de la alteración de la roca, debido a los varios agentes de origen superficial o profundo.
 - A. Aquellas formadas por meteorización superficial; el proceso envuelve solución, desintegración o descomposición de los silicatos.
 1. Caolinas de color blanco y usualmente quemadas a blanco. Roca madre: granito, pegmatita, riolita, caliza, lutita, cuarcita feldespática, neis, esquisto, etc.

Forma: sábanas, tabulares, masas de buzamiento grande, bolsillos o lentes.
 2. Arcillas ferruginosas derivadas de diferentes clases de rocas.
 - B. Arcillas residuales blancas formadas por la acción de aguas ascendentes, posiblemente de origen ígneo.
 1. Formadas por aguas carbonatadas ascendentes.
 2. Formadas por soluciones sulfúricas.
 - C. Arcillas residuales formadas por acción de soluciones sulfúricas descendentes.

- D. Arcillas residuales blancas formadas por reemplazamiento, debido a la acción de aguas.
- II. Arcillas Coluviales. Representan depósitos formados por lavado de los anteriores y de carácter refractario o no.
- III. Arcillas Transportadas.
- A. Depositadas en agua.
1. Arcillas marinas o lutitas. Depósitos a menudo de gran extensión. Arcillas que queman a blanco (ball clays); lutitas que queman a pardo; arcillas impuras o lutitas, calcáreas y no calcáreas.
 2. Arcillas lacustres, depositadas en lagos o pantanos. "Fire clays" o lutitas; arcillas impuras que queman a rojo; arcillas calcáreas usualmente de carácter superficial.
 3. Arcillas de planicies de inundación. Usualmente impuras y arenosas.
 4. Arcillas de estuarios depositadas en estuarios. La mayoría impuras y finamente laminadas.
 5. Arcillas de delta.
- B. Arcillas Glaciales. Halladas en los detritos glaciares y a menudo con mucha piedra. Pueden quemar a rojo o a crema.
- C. Depósitos formados por el viento (loess).
- D. Depósitos químicos (algunas "flint clays").

2) Clasificación y nomenclatura de los minerales arcillosos.

La siguiente clasificación de las arcillas (Grim, 1953) está basada sobre la estructura y composición. A causa de que tales datos no son completos, la clasificación solo puede ser tentativa y las futuras investigaciones pueden hacer necesarias ciertas revisiones (Cuadro N° 6).

CUADRO N° 6

CLASIFICACION DE MINERALES ARCILLOSOS, POR GRIM

I. Amorfos.

Grupo del alófono.

II. Cristalino.

- A. Tipo de 2 capas (Estructura en hojas, compuesto de unidades de una capa de tetraedros de sílice y una capa de octaedro de alúmina).
1. Equidimensional.
 - Grupo de la Caolinita.
 - Caolinita, Nacrita, etc.

2. Alargada.
Grupo de la Halloysita.
- B. Tipos de 3 capas (Estructura de hojas, compuesta de 2 capas de tetraedros de sílice y una capa central dioctaedral o trioctaédrica).
 1. Red expansible.
 - a) Equidimensional.
Grupo de la montmorillonita.
Montmorillonita, Sauconita, etc.
Vermiculita.
 - b) Alargada.
Grupo de la Montmorillonita.
Montronita, Saponita, Hectorita.
 2. Red no expansible.
Grupo de la Illita.
- C. Tipos de capas mezclados regulares.
Grupo de la Clorita.
- D. Tipos de estructura en cadena.
Atapulgita - Sepiolita - Paligorkita.

3) Clasificación de Parmelee.

En el Cuadro N° 7 se clasifican las arcillas de acuerdo a los usos y propiedades importantes en la industria cerámica.

CUADRO N° 7

CLASIFICACION DE ARCILLAS POR PARMELEE

- I. Arcillas que queman a blanco o claro, no calcáreas.
 - A. Fuego abierto. Porosas a cono 15.
 1. Baja resistencia.
 2. Media y alta resistencia. Usos: alfarería.
 - B. Fuego denso. No porosas entre conos 10 y 15.
 3. No refractaria. Buen color. Resistencia media a alta. Encogimiento medio. Usos: alfarería.
 4. No refractaria. Color débil. Resistencia media a alta. Encogimiento medio. Usos: objetos de barro, crisoles, esmeriles.
 5. Refractaria. Buen color. Resistencia media a alta. Encogimiento medio. Usos: refractarios y alfarería.
 - C. Fuego denso. No porosos entre conos 5 y 10.
 6. No refractaria. Buen color, resistencia media a alta. Encogimiento medio, mínima porosidad entre conos 5 y 8. Usos: porcelana.
 7. No refractaria. Color débil, resistencia media a alta. Encogimiento medio. Usos: los mismos de 4.

8. Refractaria. No porosa a cono 5. Funde a cono 31. Mínima resistencia 325 libras por pulgada cuadrada. Usos: crisoles.
9. Refractaria. No porosa a cono 8. No funde a 1400°C. Usos: crisoles de acero.
10. Refractaria. Quemado denso a cono 8. Funde a cono 29. Usos: recipientes de vidrio.

II. Arcillas de quemado amarillo.

A. Refractarias, porosidad 5% a cono 15, no plásticas.

11. Máximo de alúmina 40%. Quemado abierto. Usos: refractarios.
12. Alúmina más de 40%. Quemado abierto. Usos: refractarios y abrasivos.
13. Silícea. Quemado abierto. Usos: sanitarios, ladrillos vitrificados y esmaltados.
14. Silícea. Quemado abierto. Sílice más de 65%. Usos: refractarios.
15. Quemado denso entre conos 10 y 15. Resistencia media a alta. Usos: vidrios, crisoles, sanitarios.
16. Quemado denso. Porosidad menor de 5% a cono 10. Igual a 8-9-10.

B. No refractarias. Porosidad hasta 5% a cono 10.

17. Quemado abierto. Resistencia alta o media. Usos: sanitarios, terracotas.
18. Quemado abierto. Resistencia baja. Usos: ladrillos.
19. Quemado denso. Resistencia alta o media. Usos: terracota, esmeriles, sanitarios, ladrillo loceado.

III. Arcillas de quemado rojo, marrón u oscuro.

A. Quemado abierto. No obtienen baja porosidad por calentamiento.

20. Resistencia media a alta. Usos: ladrillos, teja, tubería, floreros.
21. Resistencia baja. Usos: ladrillos.

B. Quemado denso.

22. Intervalo de vitrificación grande (5 conos). Resistencia alta o media. Usos: tubería, tejas, baldosas, porcelana eléctrica, ollas.
23. Intervalo de vitrificación grande (5 conos). Resistencia baja. Usos: ladrillos, aisladores, baldosas.
24. Intervalo de vitrificación corto. Resistencia alta o media. Usos: ladrillos para construcción, tubería, floreros.
25. Funde y vitrifica a cono 5.

IV. Arcillas de quemado blanco, crema o amarilloso.

26. Contienen carbonatos. Nunca alcanzan baja porosidad. Intervalo de quemado corto. Usos: ladrillo común, teja, floreros.

VII. ARCILLAS DE ANTIOQUIA CENTRAL

Las arcillas comerciales que se encuentran en el área estudiada están restringidas a ciertas zonas condicionadas no solo por los factores geológicos, sino también por el trabajo humano en el laboreo de tierras, determinando en muchas ocasiones la pérdida de yacimientos por explotación de minas de aluvión.

A) *Localización de yacimientos.*

Como puede observarse en la Plancha I, los yacimientos de arcillas se deben agrupar en 3 tipos principales: 1) Residuales, situados sobre rocas plutónicas, metamórficas y volcánicas; 2) Transportados, depositados en el Terciario Carbonífero; 3) Aluviales.

Las arcillas provenientes de la descomposición profunda de las rocas, pertenecientes al primer grupo, ocupan las regiones más altas del área, hacia el eje de la Cordillera Central y parte de la Occidental. Fueron formadas a partir de varios tipos de rocas: filitas, anfibolitas, serpentinas, tonalitas, granitos, rocas verdes y dioritas, sin tener transporte después de su alteración. Los yacimientos de mayor importancia en este grupo son los de La Unión y el Carmen, situados a 50 kilómetros al sureste de Medellín. Debe incluirse también el yacimiento de Sonsón, de menor extensión, situado al sureste de Medellín, a 110 kilómetros.

Las arcillas transportadas o secundarias se depositaron con otros sedimentos en la cuenca del río Cauca, en 2 áreas: la del sur en Angelópolis, Amagá, Fredonia, Venecia y Titiribí y la del norte en Ebéjico y Sopetrán. Al menos 7 diferencias muy notorias se distinguen entre las 2 áreas, como lo indica el Cuadro N° 8.

CUADRO N° 8
DIFERENCIAS ENTRE SEDIMENTOS TERCIARIOS

Área Sur	Área Norte
1) Espesor: 1.500 mts.	Espesor: 3.200 mts.
2) Subdivisión: 3 pisos.	Subdivisión: imprecisa.
3) Con mantos de carbón explotables.	Sin mantos de carbón explotables.
4) Conglomerados en parte basal.	Abundan los conglomerados.
5) Areniscas claras o blancas.	Areniscas amarillas.
6) Cubierta volcánica.	Cubierta sedimentaria.
7) Intruidos por andesitas.	Sin cuerpos andesíticos.

Los yacimientos aluviales depositados en los valles de los ríos principales, están caracterizados por su topografía plana, casi al nivel actual de las aguas, y por las terrazas que presentan dis-

tintos niveles. Sobre estos aluviones y terrazas se han localizado varias poblaciones del Departamento, aprovechando su topografía: Sopetrán, San Jerónimo, Ebéjico, Medellín, Itagüí, Envigado, Caldas, Bello, Girardota, Barbosa, Gómez Plata, Carolina, El Retiro, La Ceja, Rionegro, Marinilla, etc.

Entre estos depósitos tienen interés para el estudio de arcillas el de Rionegro y el de Llano de Ovejas, al suroeste de San Pedro. Los demás no son aprovechables por la proximidad del área urbana o porque han sido destruidos con la explotación de minas auríferas.

B) *Clasificación.*

La clasificación genética de los diversos yacimientos de arcillas de interés industrial localizadas en Antioquia Central, es la siguiente, según Cuadro N° 5:

1) Los yacimientos de La Unión, Sonsón y Carmen de Viboral son del tipo I-A-1, es decir, un caolín residual, formado en el mismo lugar de la alteración de una roca muy feldespática, posiblemente una segregación ácida del Batolito Antioqueño.

2) Las arcillas de Guayabal y Altavista (al suroeste de Medellín), aprovechadas para la elaboración de materiales para construcción, se clasifican en el tipo I-A-2. En el mismo grupo se clasifican las grandes extensiones de roca alterada que se encuentran en el área estudiada, aunque no tienen aplicación industrial.

3) Las arcillas y lutitas de Pantanillo (Abejorral) son del tipo III-A-1. Son las únicas de origen marino en esta zona y fueron depositadas en el Cretáceo Inferior, de acuerdo con los fósiles asociados a ellas.

4) Los estratos de arcillas pertenecientes al llamado Terciario Carbonífero se clasifican en el tipo III-A-2. Son arcillas oligocenas típicamente de origen continental, depositadas en un medio en parte lacustre y en parte torrencial, asociadas con carbón.

5) En el tipo III-A-3 se clasifican las arcillas aluviales que se explotan en el Llano de Ovejas, Rionegro, vegas del río Medellín y otros aluviones que han sido destruidos por trabajos de minería.

C) *Desaparición de arcillas aluviales.*

Se ha querido hacer resaltar este aspecto, pues en la región correspondiente al estudio de las arcillas de Antioquia hay grandes aluviones que tuvieron importancia durante la época de acti-

vidad minera. En consecuencia, las arcillas que de ellos podrían utilizarse, fueron lavadas para la extracción del oro.

Las principales minas de aluvión están distribuidas preferencialmente en los valles de los ríos Grande, Chico, Porce y Nare. Estos ríos tienen como característica común que drenan zonas marginales del Batolito Antioqueño, las más aptas para las mineralizaciones.

Como remanentes de los trabajos de minería se observan acumulaciones de diferente altura, formadas de rocas detríticas, esparcidas en las proximidades del curso de los ríos. Quedan igualmente algunos parches de arcillas blancas caoliníticas y arcillas grises plásticas recubriendo estos aluviones, pero no tienen interés comercial, por la poca cantidad y por la dificultad de separación.

VIII. CARACTERISTICAS DE LAS ARCILLAS ANALIZADAS

Las propiedades físicas y químicas de las arcillas de Antioquia se presentan pormenorizadamente en el anexo "Informe sobre las investigaciones de arcilla hechas en los laboratorios de la Facultad de Minas". Este anexo aquí citado es completo y detallado en observaciones de la totalidad de las arcillas, no solo en cuanto a los métodos utilizados sino también en los mismos resultados físicos, químicos y mineralógicos. Dicho anexo se ha resumido en cuatro cuadros, donde se han separado las arcillas según su origen, con el fin de facilitar la comparación de los diversos tipos, en la siguiente forma:

CUADRO 9. Arcillas residuales del Batolito Antioqueño, de gran importancia económica, hasta ahora.

CUADRO 10. Arcillas residuales de diversos tipos de rocas, sin importancia económica. ✓

CUADRO 11. Arcillas transportadas del Terciario Carbonífero y del Cretáceo, de importancia económica. ✓

CUADRO 12. Arcillas transportadas recientes o aluviales, de importancia económica.

IX. DETALLE DE YACIMIENTOS

Los yacimientos de arcilla de interés industrial, localizados en el área Central de Antioquia, son relativamente pocos. Las ar-

cillas residuales que cubren gran extensión del Departamento, provenientes de la descomposición de muy diversos tipos de rocas, son aprovechables en aquellas partes donde la roca original es de composición feldespática ácida. Las arcillas transportadas o secundarias, exceptuando las aluviales, no son actualmente aprovechadas por las dificultades que tiene su explotación.

Las características de los principales yacimientos tales como extensión, espesor, reservas probables, etc., se describen al tratar cada depósito en particular:

A) *Yacimientos de La Unión.*

La cúpula de La Unión fue estudiada por el geólogo Eduardo Nicholls V., y los resultados de su investigación se encuentran en el Informe N° 1349 del Servicio Geológico Nacional. Royo y Gómez hizo la descripción del yacimiento, que fue publicada en la revista Minería N° 103. El centro geográfico, La Unión, está situado en el cruce del paralelo 1.153.000 y el meridiano 858.000 de la red geodésica que tiene su origen en Bogotá.

Su forma es aproximadamente ovalada, tiene una extensión de 65 kilómetros cuadrados y está rodeada por rocas metamórficas del grupo Ayurá-Montebello: anfibolitas hacia el oeste y filitas hacia el este. Las rocas metamórficas resaltan con alturas de 300 m sobre el nivel promedio del llano de La Unión, el cual tiene su drenaje hacia el sur, por el río Piedras.

Con el fin de determinar la profundidad de la capa meteorizada, se perforaron 6 pozos con un equipo rotatorio suministrado gentilmente por el Ministerio de Minas. A pesar de haber alcanzado profundidades hasta de 45 m, no fue posible encontrar la roca sana que dio origen al yacimiento residual de caolín.

Para el cálculo de reservas se propone como límite inferior el nivel freático, ya que la explotación de los caolines es costosa a profundidades mayores. Con esta base, siendo 10 m la profundidad promedio del nivel freático, según las perforaciones efectuadas, las reservas de arcillas y caolines ascenderían a 500 millones de metros cúbicos.

La roca original (Cuadro N° 13) es una segregación ácida del Batolito Antioqueño con abundancia de feldespatos sódicos, cuya descomposición produce los caolines.

CUADRO N° 13

ANALISIS MODAL. NUCLEO DEL POZO 4 A 15 METROS

Plagioclasas sódicas	59.9%
Cuarzo	34.4%
Ferromagnesianos	5.6%
Ortoclasa alterada - Accesorio.	

El área está recubierta por una capa vegetal de espesor variable (promedio, 0,60 m), que es fácilmente retirada con bulldozer para la explotación del material caolinizado. Hacia abajo se encuentran arcillas blancas con proporción variable de cuarzo y moscovita y espesor de 3 metros. En algunos sitios se encuentra una capa de arcilla plástica azulosa, más profunda que la anterior. Por último aparece la roca ígnea totalmente alterada, mostrando feldespatos caolinizados.

Las muestras del yacimiento de La Unión que fueron analizadas son las siguientes: 16 a 21, muestras de superficie y 45 a 64, recuperadas en 3 perforaciones. Los resultados están resumidos en el Cuadro N° 9.

B) Yacimiento de *El Carmen de Viboral*.

Es el único yacimiento de arcillas en Antioquia cuya materia prima es utilizada en las vecindades. Tiene varias locerías donde con sistemas bastante rudimentarios se elaboran vasijas de loza para el consumo departamental y nacional.

El Carmen está situado a unos 10 kilómetros al sureste de Rionegro y a 45 kilómetros de Medellín. Su industria cerámica y sus materias primas fueron tratadas por Royo y Gómez y por Nicholls en los estudios mencionados antes. En los mapas del Instituto Geográfico, en escala 1:25.000, se señalan 11 cerámicas (locerías), todas al sur de la población. Algunas están en producción, pero en general la industria tiene cada vez menor importancia.

Más abajo de la capa de tierra vegetal que cubre el depósito se encuentran arcillas gris-azulosas, de 1,50 mts. de espesor promedio, apoyadas sobre arcillas pardo amarillentas provenientes de la alteración de la roca ígnea del Batolito Antioqueño.

La proximidad del contacto con rocas metamórficas permite suponer que la capa de arcillas gris-azulosas proviene del transporte y sedimentación de los productos de alteración de estas rocas.

C) Yacimiento de Sonsón.

Es un yacimiento de caolín, situado en el kilómetro 4 de la carretera Sonsón-La Unión y a 110 kilómetros de Medellín.

Fue formado por alteración de una roca ígnea, probablemente una segregación ácida del Batolito Antioqueño, cuya composición modal puede notarse en el Cuadro N° 14.

CUADRO N° 14

ANÁLISIS MODAL DE LA MUESTRA A-124

(Tomado de la Revista Minería N° 115).

Oligoclasa	61,5%
Cuarzo	19,5%
Biotita	12,0%
Hornblenda	7,0%
Ortoclasa	Accesorio microscópico
Apatito	Accesorio microscópico

El caolín no se explota actualmente, pero Locería Colombiana ha solicitado la Concesión al Ministerio de Minas y ha adquirido los terrenos aledaños. Los trabajos exploratorios se iniciaron, aunque los resultados no se conocen aún.

La muestra N° 72, cuyos análisis aparecen en el Cuadro N° 9, pertenece a este depósito.

D) Arcillas de Guayabal.

Al sur de Medellín, en el Barrio Guayabal y área de Q. Alta-vista, han existido varios galpones que elaboran ladrillos y tejas para construcciones.

Se utilizaron las arcillas provenientes de la alteración del Batolito de Altavista. Antiguamente se usaron las arcillas aluviales del Valle de Aburrá, de buena calidad, pero la expansión del área urbana ha obligado a suspender su explotación.

Unos 35 galpones existen en la actualidad, cuya producción es casi totalmente de ladrillo macizo y hueco, de dimensiones $0,40 \times 0,20 \times 0,10$ metros. Mensualmente se producen en promedio 2 millones de unidades, según datos suministrados gentilmente por CAMACOL.

Las muestras de arcilla N° 11-71 y 78, cuyos análisis aparecen en el Cuadro N° 10, pertenecen a este depósito.

E) *Yacimiento de Amagá y Angelópolis.*

Este es un depósito de arcillas secundarias o transportadas que se han acumulado con otros sedimentos en el llamado Terciario Carbonífero de Antioquia. Está situado a unos 40 kilómetros al suroeste de Medellín y su extensión puede estimarse en unos 26 kilómetros cuadrados.

El área fue estudiada en detalle por Emil Grosse con la finalidad exclusiva de determinar las reservas carboníferas.

Las arcillas de mejor calidad están asociadas con carbón y por consiguiente el cálculo de sus reservas se hace considerando el piso medio (Tc2) que es el piso productivo en el Terciario Carbonífero.

En los perfiles levantados por Grosse se observa que la relación de carbón a arcillas es aproximadamente 1:5, considerando la zona donde existen mantos explotables de carbón. Con esta base las reservas probables de arcillas en esta cuenca sedimentaria serían de 1.600 millones de metros cúbicos, sacables por socavones. Las muestras 1-2-3 y 4, correspondientes a la sección tipo de la cuenca de Amagá, son todas de carácter pizarroso, en colores grises con ocasionales moteados rojizos, blandas y algo untuosas al tacto.

Las impurezas más notables son cuarzo, restos de feldespatos, sericita y clorita, pigmentos por óxidos de hierro y ocasionales cristales sueltos de hornblenda, marcasita, carbón y rutilo, repartidos heterogéneamente en la masa arcillosa.

La sustancia arcillosa en estas muestras tiene un contenido que varía entre 32,5% y 38,7% y el resto corresponde a impurezas cristalinas, finas y de tamaño menor a malla 60. El peso específico promedio es de 2,7 y la humedad variable. En el cocido presentan la peculiaridad de mostrar un color rosado a 650°C para pasar a rosado claro a los 950°C y volverse gris a la temperatura de 1200°C y pardo amarillento a 1400°C.

Las muestras números 12-13-14 y 15 de Angelópolis, pertenecen también a este mismo yacimiento. Para mayores detalles de los análisis efectuados, consúltese el Cuadro N° 11 y el Anexo.

F) *Cuenca de Sopetrán.*

Pertenece como la anterior al Terciario Carbonífero de Antioquia. La sección representativa está situada en el K-70 de la carretera Medellín-Antioquia.

Las diferencias fundamentales entre esta cuenca y la de Amagá se encuentran en el Cuadro N° 8. En cuanto a las arcillas, la principal diferencia entre las 2 cuencas radica en el mayor contenido de impurezas en las arcillas de Sopetrán, característica que las hace poco comerciales, especialmente al considerar la distancia al centro de consumo. El predominio de conglomerados y areniscas conglomeráticas entre los sedimentos de esta región, le resta importancia al yacimiento.

La dirección general de los sedimentos es N-30°-W con un buzamiento promedio de 60° NE. Es característica de esta zona la presencia de fallas transversales que producen un escalonamiento peculiar.

Las arcillas son grises y gris verdosas, tienen en algunas partes concreciones de siderita, venas de carbón y lentes de yeso; están acompañadas de conglomerados abundantes y areniscas de color amarilloso.

Las muestras de arcillas números 5-6-7-8-9 y 10, cuyos análisis se presentan en el Cuadro N° 11 y el Anexo, pertenecen a este depósito sedimentario.

G) *Yacimiento de Pantanillo (Abejorral).*

Es también como los dos anteriores un depósito de arcillas y lutitas transportadas o secundarias, diferenciándose de ellas por la edad Cretácea que ha sido comprobada por el hallazgo de fósiles albianos.

A pesar de estar situado a unos 55 kilómetros en línea recta hacia el sur de Medellín, el recorrido total del material explotado es de 115 kilómetros por carretera, desde el yacimiento hasta el centro de consumo, Medellín.

La dirección general de estos sedimentos es N-S y el buzamiento promedio es de 45°E. En la base se encuentra un conglomerado muy bien cementado, resistente, oligomictico, de guijarros de cuarzo bien redondeados, en discordancia sobre las filitas del Grupo Ayurá-Montebello.

Los sedimentos afloran en una extensión de 20 kilómetros cuadrados, en una faja que se extiende de norte a sur, entre Pantanillo y el Cerro San Vicente.

Estratos de caolín y lutita (shale) con un espesor de unos 10 metros, son actualmente explotados por Locería Colombiana, empresa que tiene la concesión distinguida con el número 1023 del Ministerio de Minas.

Las muestras 39 y 40 pertenecen a este yacimiento. Las características y resultados de los análisis aparecen en el Cuadro N° 11 y en el Anexo.

H) *El Llano de Ovejas.*

Es un extenso aluvión de 11 kilómetros cuadrados, situado en los nacimientos del río Aurra, en el K-35 de la carretera Medellín-San Pedro. Representa un antiguo valle que actualmente es drenado por su extremo noreste, hacia la hoya del río Cauca. La elevación promedio es de 2550 metros sobre el nivel del mar.

Fue formado durante las etapas de estabilidad que precedieron al tectonismo plio-pleistoceno, en el centro de lo que es hoy la cúpula de Bello. Influyó en su formación la diferencia de resistencia a la meteorización entre las rocas plutónicas y las metamórficas que circundan la cúpula.

El espesor de arcillas explotables es de 1,50 m. El basamento es la roca ígnea del Batolito Antioqueño, totalmente meteorizada. Son explotadas por Locería Colombiana, según concesión número 765 del Ministerio de Minas.

En el Cuadro N° 12 y el Anexo se presentan los resultados de los análisis efectuados a las muestras de arcillas números 22, 23 y 24, colectadas en este yacimiento.

I) *Aluvión de Rionegro.*

Tiene una extensión de 60 kilómetros cuadrados, de los cuales 40 están más bajos que la curva de nivel 2125 y fueron los seleccionados para tomar las muestras de arcillas. Está situado a unos 45 kilómetros al sureste de Medellín, cerca a la población de Rionegro. El valle es drenado por su extremo noreste hacia la hoya del río Magdalena, por intermedio del río Nare.

El origen de este aluvión es muy similar al anterior (Valle de Ovejas), a pesar de estar separados por la hoya del río Medellín. Una larga serie de terrazas situadas a unos 20 metros de altura sobre el nivel actual del río Negro, se observa a ambos lados del valle, siguiendo la carretera de El Retiro, en los primeros 10 kilómetros.

La cubierta superficial del aluvión es una capa de arcillas arenosas amarillas y tierra vegetal, con un espesor hasta de 2 metros. Por debajo hay una arcilla gris azulada plástica, con espesor de 2 metros, que es explotada en varios puntos por Erecos y Locería Colombiana, según concesiones del Ministerio de Minas, distinguidas con los números 764 y 766.

Los resultados de los análisis efectuados a las muestras de arcillas de este yacimiento se presentan en el Cuadro N° 12 y en el Anexo. Los números de las muestras analizadas son: 25-26-27-28-31-32-33-34-35-36 y 41.

X. SISTEMAS DE BENEFICIO Y MINERIA

Los trabajos de explotación de arcillas que presentan la mínima dificultad se ejecutan a cielo abierto. Por este procedimiento se explotan las arcillas de La Unión. La explotación de las arcillas del Departamento de Antioquia es sencilla, pues todas se podrían recuperar mediante trabajos a tajo abierto, a excepción de las arcillas de Amagá-Angelópolis, donde sería necesario excavar por socavones, y por tanto deben considerarse como depósitos marginales.

Conviene pues recordar algunas reglas que se deben tener en cuenta para futuras explotaciones.

Es necesario:

a) Planificar oportunamente la línea de ataque inicial de tal forma que a medida que el trabajo progresa no se presenten interferencias en la recolección y eliminación de las aguas superficiales que impidan el avance del frente.

b) Si la arcilla se presenta en capas, debe estudiarse detenidamente su disposición estructural y relación con las otras capas con el propósito inmediato de eludir los hundimientos y derrumbes.

c) Los escombros o desechos deben situarse sobre zonas o lugares donde no dificulten los presentes y futuros trabajos de excavación ni las vías de acceso al frente de trabajo.

d) Las instalaciones mecánicas de cualquier tipo (cables, rieles, tuberías, etc.) deberán localizarse sobre las zonas de menor valor minero o donde no trastornen las labores.

e) Si el espesor de la capa de arcilla es grande o si se trabaja en un terreno residual de gran espesor, es conveniente excavarlo en bancos, planos o niveles de excavación escalonados, con tal que las condiciones del terreno así lo permitan.

f) Los escombros deben eliminarse con tractores, con el fin de exponer una amplia zona de trabajo.

g) Si el material es blando, una pala mecánica o simple trabajo manual en trabajos de bajo rendimiento, sirven para adelantar el trabajo de excavación o explotación de la mina.

h) Deben construirse bodegas o lugares de almacenamiento en donde se proteja a la arcilla de la erosión y contaminación por aguas superficiales y de lluvia. El traslado del material del frente de excavación a la bodega será por medio de vagonetas; las correas transportadoras han servido en algunos casos.

El tratamiento que se le dé a la arcilla depende fundamentalmente de su probable utilización. Una arcilla que se utilice en tejares debe usarse tal como sale del sitio de la excavación: solo es justificable una inicial trituración, ya que un mayor tratamiento no sería económicamente recuperable con el costo del producto. Para otros fines, como lozas y otros productos cerámicos, deben eliminarse principalmente el cuarzo y la mica por algún sistema físico. El más barato de todos los procesos de separación de arenas es la decantación o sedimentación, proceso lento pero efectivo. Este procedimiento requiere una trituración inicial en un medio acuoso (que posee un dispersante de arcillas como silicato o hidróxido de sodio) por medio de un molino, en donde casi toda la arena y la mica presentes se eliminan por su parte inferior y la arcilla y el agua mezclados en flujo continuo pasan a los tanques sedimentadores. Sistemas de flotación mucho más complicados solo son necesarios cuando se deseen arcillas de alto grado y blancas, como para el papel y otros productos.

Las figuras 2 y 3 muestran dos tipos de plantas para el lavado de arcillas sugeridas para las arcillas tipo La Unión.

La figura 2 es el esquema de flujo de una planta lavadora de arcilla sencilla, en donde el producto final obtenido es una arcilla menor de malla 200, suficiente para ser utilizada en locería. La planta consta de un molino en donde la materia prima entra mezclada en adecuadas proporciones con agua y una sustancia dispersante de las arcillas (silicato de sodio, hidróxido de sodio, etc.). El objeto de este molino es el de triturar y mezclar íntimamente los materiales de alimentación. El sobreflujo del molino pasa a un tanque de agitación. La mezcla íntima de agua y arcilla dispersada y arena se lleva a un clasificador cónico de remolino a donde entra tangencialmente y deposita una gran proporción de materiales arenosos gruesos (cuarzo, minerales pesados, micas) que son lavados de nuevo en un tornillo elevador (Akins). El sobreflujo de este clasificador cónico pasa a un tanque elutriador donde se depositan los materiales de tamaño superior a la malla 200. El sobreflujo de este último clasificador pasa a los tanques decantadores donde se agrega la porción necesaria de floculante (ácido sulfúrico, da buenos resultados) para acelerar la precipitación de

las arcillas puras. La arcilla precipitada se bombea a los filtros prensa o a los hornos secadores.

La figura 3 es un esquema un poco más complicado pero completo para el lavado comercial de las arcillas. Es el mismo anterior, pero se le ha suprimido el tanque cónico de elutriación y se le han agregado dos tamices vibratorios (uno para granos gruesos y el segundo para granos mayores de malla 100) y un clasificador de rastrillos tipo Dorr que separan todo material de tamaño grueso granular a fino como arena (cuarzo, micas). La arcilla que se obtiene por este método presentará una finura menor de malla 200 y extremadamente pura.

El proceso de lavado generalmente aumenta la blancura de la arcilla, en el caso de arcillas blancas tipo papel o loza clara.

XI. APLICACION INDUSTRIAL

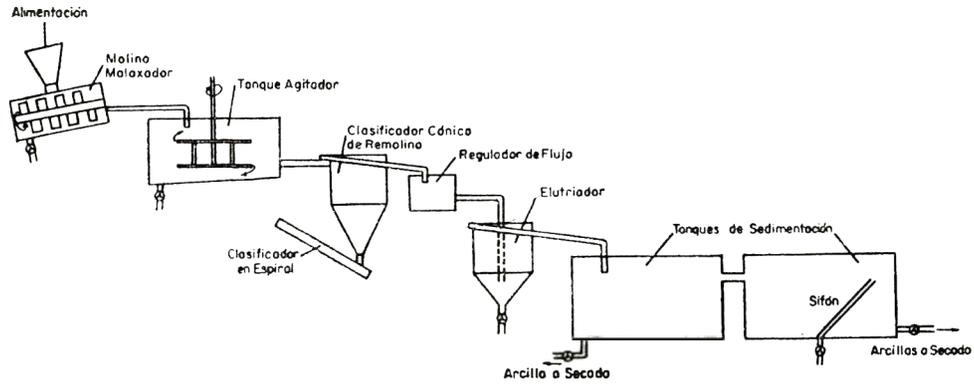
Las arcillas transportadas pizarrosas de Ferrería de Amagá fueron ensayadas con las muestras M 1 a M 4, de colores grises a rojos. El hierro se presenta como hidróxido y algo de marcasita y carbonato de hierro con una participación de sustancia arcillosa neta del 30 al 33%. Según su resistencia a la compresión en la co-chura a 950°C, puede utilizarse para alfarería, ladrillos y tejas. El material menor de $\frac{1}{4}$ mm., de colores claros, de contracción moderada, porosidad aparente baja y una permeabilidad también reducida, puede considerarse como el mejor producto para trabajar a alta temperatura. Si se le eliminan los sulfuros, los carbonatos y el hierro levigando ácido, con posterior separación del carbón y la sericita, las arcillas de este grupo podrían utilizarse para lozas.

Las arcillas transportadas de Angelópolis, estudiadas bajo las muestras M12 a M15 con el material menor de malla 60, son de colores gris-verdosos en donde el material arcilloso neto va del 25 al 30%. Según los largos extruídos, son aptas para arcillas tipo teja, aun cuando el peso volumen de las muestras secadas es relativamente alto (2.2), eliminándole los carbonatos y piritas presentes como concreciones. El comportamiento a 1000°C las hace utilizables para alfarería, ladrillos y tejas, y el mostrado a 1200°C las hace utilizables en loza sanitaria e industrial. Para usos superiores a la quema a 1200°C no se recomiendan. Las muestras M13 y M14 quemaron interiormente a negras, lo que insinúa una preparación eliminando carbonatos y piritas.

Las arcillas transportadas de "El Oro" (Sopetrán) son pizarro-arenosas a semiduras, grises o rojizas, que pueden contener

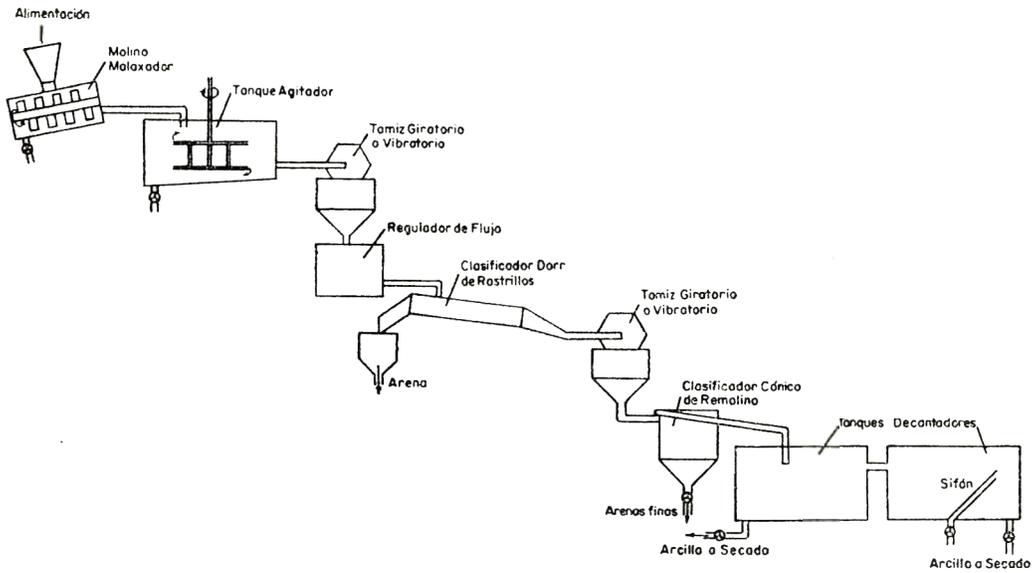
PLANTA TIPO PAPA LAVADO DE ARCILLAS

Fig. 2



PLANTA TIPO PARA LAVADO DE ARCILLAS

Fig. 3



un poco de halloysita. La participación neta de la sustancia arcillosa va del 28 al 33% y fueron analizadas con las muestras M5 a M10. Por el comportamiento del material menor que malla 60 y a 1000°C dicha arcilla podría utilizarse para ladrillos de construcción, tejas pequeñas y artículos de alfarería. Solo la muestra M8 produjo una quema bastante clara y resistencia suficiente a 1200°C para artículos de loza y en la cerámica vitrificada como gres cerámica (baldosas, tubos de gres para canalización, artículos industriales, químicos y de economía doméstica). La mayor resistencia de estas arcillas a la cochura está entre los extremos 900 y 1000°C.

Las arcillas aluviales de Sajonia en Rionegro (M35 a M36) son blancas grisáceas, plásticas, con gibbsita presente. A pesar de todo, las cualidades plásticas de las pastas hechas con material menor de malla 120 son deficientes. Será necesario eliminar la gibbsita, pues ésta le disminuye la firmeza, y magrar las arcillas para fines industriales. El material puede ser útil para refractarios, con un lavado inicial para separar la arena (mica, cuarzo) y levigación con ácido. La arcilla formará sin fundentes una masa homogénea rica en aluminio, refractario a base de corindón y arcilla pura.

Una arcilla de Rionegro, analizada bajo la muestra M41, gris parda con cierta cantidad de cuarzo, presenta a los ensayos a 900°C una firmeza suficiente para ser utilizada en artículos de alfarería, gres o ladrillo de construcción. Con una adecuada proporción de feldespato en mezcla y con el material pasado por malla 230, se produciría un buen gres cerámico.

Las arcillas transportadas de Pantanillo, en Abejorral (M39-40), son arcillas blancas, desmoronables, con mucha sílice libre del tamaño de silt (la M39). La M40 es una arcilla gris clara, laminada en capas delgadas y quebradizas. Con adición de fundentes, podrían dar gres cerámico.

La arcilla aluvial de Girardota (M73) presenta una resistencia moderada a la rotura (en cochura a 900°C), buen color y una porosidad suficiente para producir ladrillo de construcción.

Las arcillas residuales de Guayabal, estudiadas bajo las muestras M11, M71 y M78, son blandas, plásticas, de colores pardos a amarillentos, deben mezclarse con harina de ladrillo si se van a utilizar en tejas; deben mezclarse con harina de ladrillo y arena lavada si se utilizan para ladrillos de construcción. Poseen una gran contracción en la secadura en comparación con su menor contracción en la cochura.

Las arcillas de La Unión (M18 a M21) son blandas, terrosas, desmoronables, que pueden variar en color del blanco grisáceo a

blanco amarillento. El residuo en malla 60, tamizadas sin agua, consta esencialmente de aglomerados de arcilla blanca (que podrían dispersarse con el lavado), cuarzo y minerales hojosos pardos, con algo de diásporo y ópalo nacarados, en base presentes como librillos libres o unidos al cuarzo; además pigmentos de hidróxido de hierro. Son caolinitas mezcladas en parte con halloysita y algo de gibbsita, con sustancia arcillosa neta hasta del 40%. Con el material menor que malla 200 se confeccionan diferentes tipos de porcelana (se puede trabajar para porcelana dura, blanda hasta porcelana japonesa), pero es condición indispensable la obtención de un caolín puro con las adiciones requeridas en la práctica industrial. Es particularmente molesta la impureza presente como material hojoso, a pesar de que las curvas termodiferenciales insinúan la presencia de caolinita en esta sustancia. Es evidente que las arcillas de La Unión se utilicen para lozas, pero de todas maneras necesitan de un lavado inicial; un chequeo del producto lavado es fundamental, pues un aumento del contenido de halloysita puede ser molesto.

Los materiales residuales de El Chaquiro en Santa Rosa (M37) y Guadalupe (M38) son terrosas, café rojizas, con cuarzo mica y sustancia caolinizada. Prácticamente este material no tendrá uso industrial.

Las arcillas residuales de Santa Elena (M65 a M70), gracias a su alto contenido de fundentes, podrían utilizarse en ladrillos vitrificados de enfriamiento lento.

Para ladrillo de construcción también sirven las arcillas residuales de Tarso y las transportadas de La Arcadia en Támesis

Las arcillas residuales de Andes y Betania (M79, M81 a M84), respectivamente entre 900 y 1000°C, manifiestan un buen comportamiento para ser utilizadas en tejas y ladrillos.

Como puede deducirse de la figura 4, las arcillas de mayor aplicación industrial son las residuales de La Unión y Sonsón, y las aluviales de Rionegro y Ovejas, que muestran un alto equivalente de cono pirométrico (PCE).

XII. TRANSPORTE A LAS AREAS DE CONSUMO

Al tratar las vías de comunicación en el Capítulo II, se hizo mención de las dos carreteras troncales que cruzan el área: la Central del Norte y la Transversal Bogotá-Urabá. Por ellas se transportan a Medellín las arcillas extraídas de los diversos yacimientos, excepto las de Rionegro y El Carmen.

Estas carreteras son transitables en todo tiempo, son de doble vía, y en algunos tramos están pavimentadas.

En el Cuadro N° 15 se aprecia la distancia total (kilómetros) para carretera, entre el lugar donde se encuentra el yacimiento de arcilla y el centro de consumo, que es Medellín. Además, se agrega en algunos casos el precio que actualmente se paga por el transporte de una tonelada de material.

CUADRO N° 15

DISTANCIAS ENTRE MEDELLIN Y LOS PRINCIPALES YACIMIENTOS

YACIMIENTO	\$/Ton.	Pavimento	Macadam	Total
Unión	32	40	15	55
Carmen	—	40	10	50
Sonsón	—	40	70	110
Guayabal	—	10	—	10
Amagá	—	25	15	40
Sopetrán	—	25	45	70
Pantanillo	65	40	75	115
Ovejas	25	20	15	35
Rionegro	25	40	5	45

La carretera que actualmente se construye entre Abejorral y la Fábrica de Cementos El Cairo, acortará considerablemente la distancia que separa a Medellín del yacimiento de Pantanillo, especialmente con la prolongación del ramal Abejorral-Chagualal hacia aquella vía. La pavimentación de la carretera entre La Ceja y La Unión (15 kms.) incrementará la explotación de ese importante yacimiento de arcillas residuales.

XIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A) Las arcillas de interés industrial situadas en Antioquia Central están restringidas a 9 yacimientos: La Unión, El Carmen de Viboral, Sonsón, Guayabal, Amagá, Sopetrán, Abejorral, Ovejas y Rionegro. Los tres primeros son depósitos de arcillas residuales, originados por la descomposición de rocas plutónicas feldespáticas, en aquellas zonas donde se presentan segregaciones ácidas del Batolito Antioqueño.

El depósito de Guayabal (Medellín), proviene de la alteración de las rocas del Batolito de Altavista. La composición modal de estas rocas difiere con las del Batolito Antioqueño en los siguientes puntos principalmente: menor contenido de cuarzo y biotita, mayor porcentaje de hornblenda y gran variedad petrográfica.

Los yacimientos de Amagá y Sopetrán están formados por arcillas secundarias o transportadas, depositados en el Terciario Carbonífero de Antioquia durante el Oligoceno. Son las únicas que no se explotan actualmente, debido a que requieren sistemas anti-económicos de beneficio y minería.

Las arcillas transportadas de Abejorral, de muy buena calidad, son las más distantes de Medellín y las únicas de origen marino en esta zona. De acuerdo con la clasificación propuesta por Ries (Cuadro N° 5), pertenecen al Grupo III-A-1.

Por último, los depósitos aluviales de Ovejas y Rionegro están formados por arcillas de buena plasticidad.

B) Las propiedades físicas y químicas resumidas en los Cuadros 9 a 12 y en la Fig. 4, permiten sacar las siguientes conclusiones:

1) Las mejores arcillas analizadas son las residuales de La Unión y Sonsón y las aluviales de Rionegro y Ovejas, que pueden usarse en refractarios y locería.

2) Las arcillas transportadas de Angelópolis, Amagá, Sopetrán y Abejorral son de inferior calidad y podrían utilizarse en alfarería, ladrillos vitrificados y esmaltados.

3) Para materiales de construcción se utilizan las arcillas de Guayabal (Medellín) y las del suroeste de Antioquia.

4) Las arcillas provenientes de la descomposición de los diversos tipos de rocas no incluidos en los grupos anteriores, no tienen utilización industrial.

C) Todas las arcillas deben someterse a un tratamiento antes de su utilización, excepto las que se usen para materiales de construcción. Los procesos dependen en gran parte del producto final que se quiera obtener.

D) Las reservas de arcillas en el área estudiada son considerables y de fácil explotación, especialmente en La Unión, Sonsón y Abejorral, donde los suelos no son aprovechables para la agricultura. Los aluviones de Rionegro y Ovejas ocupan áreas aprovechables para cultivos y ganadería, por lo cual la explotación de arcillas está restringida.

E) Las principales empresas que explotan actualmente los mejores yacimientos de arcillas son: Locería Colombiana, Cemento Blanco y Erecos, las cuales han hecho análisis muy completos cuyos resultados son de uso privado.

F) Una inmensa reserva que se tiene para el futuro es la cuenca sedimentaria de Amagá, en el piso carbonífero. Presenta el inconveniente de la explotación por socavones, compensada por la proximidad a Medellín, centro principal de consumo.

G) No se encontraron bentonitas en la región. Las bauxitas mencionadas en trabajos anteriores, cerca a Santa Rosa de Osos, no tienen importancia económica.

XIV. BIBLIOGRAFIA

- Anuario Estadístico de Antioquia (1962).
ASTM Standards (1964). Part. 13.
BOTERO, GERARDO (1963). — “Contribución al conocimiento de la geología de la Zona Central de Antioquia”.
Ceramic Industry. — Jan. 1953.
GRIM, R. E. (1953). — “Clay Mineralogy”.
GROSSE, EMIL (1926). — “El Terciario Carbonífero de Antioquia”.
HERMELIN, MICHEL (1965). — “Estudio preliminar sobre la descomposición de algunas rocas del Batolito Antioqueño”. Tesis de Grado, inédita.
NICHOLLS, EDUARDO (1960). — “Arcillas y Caolines del Municipio de La Unión”. Informe N° 1349 del Servicio Geológico Nacional.
PETTIJOHN, F. J. (1948). — “Sedimentary Rocks”.
POMEROL, CHARLES (1961). — “Les Roches Eruptives”.
RIEHL, HERBERT (1954). — “Tropical Meteorology”.
RIES, HEINRICH. — “Clays, occurrence, properties and uses”.
REICHE, PARRY (1943). — “Jour. Sed. Pet.”. Vol. 13; pág. 58.
ROYO y GÓMEZ, JOSÉ (1940). — “Materias primas para cerámicas en Antioquia”. Minería, 101 a 104.
STULL, R. T. (1926). — “Beneficiation and Utilization of Georgia Clays”. Bulletin 252, Bureau of Mines.
URIBE, ANGEL M. (1885). — “Geografía y Compendio Histórico del Estado de Antioquia en Colombia”.
VILA, PABLO (1944). — “Regiones naturales de Colombia”. Revista Colombia Nos. 3-4.

**INFORME SOBRE LAS INVESTIGACIONES DE ARCILLA
HECHAS EN LOS LABORATORIOS DE LA FACULTAD
NACIONAL DE MINAS ***

POR
REINALDO ELLWANGER
QUIMICO

* Nota de los Editores: El presente trabajo es un resumen del contenido de cuatro anexos al informe "Arcillas de Antioquia" (Anexo A — Referencias Literatura Extractos; Anexo B — Gráficos Arcillas Antioquia, Grupo 1º; Anexo C — Ensayos Arcillas de Antioquia; Anexo D — Curvas Termodiferenciales).

CONTENIDO:

	Págs.
INTRODUCCION	59
GRUPO 1º. Ferrería Amagá (Muestras 1, 2, 3, 4)	63
GRUPO 2º. El Loro, Antioquia (Muestras 5, 6, 7, 8, 9, 10)	73
GRUPO 3º. El Guayabal (Muestras 11, 71, 78)	78
GRUPO 4º. Angelópolis (Muestras 12, 13, 14, 15)	83
GRUPO 5º. La Unión (Muestras 16, 17, 18, 19, 20, 21)	86
GRUPO 6º. Las Ovejas — San Pedro (Muestras 22, 23, 24)	91
GRUPO 7º. Llano Las Matas — Rionegro (Muestras 25, 26, 27, 28)	94
GRUPO 9º. Erecos — Rionegro (Muestras 31, 32, 33, 34)	98
GRUPO 10. Sajonia — Rionegro. (Muestras 35, 36)	101
GRUPO 11. Dioritas descompuestas (Muestras 37, 38)	103
GRUPO 12. Abejorral — Pantanillo (Muestras 39, 40)	106
GRUPO 13. Rionegro (Muestra 41)	106
GRUPO 14. Rocas verdes descompuestas (Muestras 42, 43, 44)	109
GRUPO 15. Sondajes en La Unión (Muestras 45 a 64)	111
GRUPO 16. Santa Elena (Muestras 65, 66, 67, 68, 69, 70)	115
GRUPO 17. Sonsón (Muestra 72)	120
GRUPO 18. Municipio de Girardota (Muestra 73)	120
GRUPO 19. Tarso (Muestra 74)	120
GRUPO 20. Municipio de Arcadia (Muestra 75)	120
GRUPO 21. Liborina (Muestra 76)	123
GRUPO 22. Mesopotamia (Muestra 77)	123
GRUPO 23. Betania (Muestras 79, 80)	125
GRUPO 24. Andes (Muestras 81, 82)	127
GRUPO 25. San José — Andes (Muestra 83)	129
GRUPO 26. Jardín (Muestra 84)	129
CONCLUSIONES	130
BIBLIOGRAFIA	132

INTRODUCCION

La investigación moderna de arcillas se basa en el estudio de la red molecular. En estos estudios se usan rayos X, ensayos termodiferenciales y exámenes con el microscopio electrónico.

Esta investigación debe ser completada con:

- 1º Análisis químicos completos;
- 2º Estudios mineralógicos corrientes y en preparados ópticamente orientados;
- 3º La determinación de la pérdida al fuego (en lo posible con una balanza térmica que dibuja automáticamente una curva para el intervalo de temperatura desde "medio ambiente" a 1000° o más);
- 4º Y el estudio de intercambiabilidad de iones.

DE ESTE PROGRAMA PODEMOS HACER NOSOTROS LO SIGUIENTE:

- 1º Desde el 7 de junio al 6 de octubre de 1965 estábamos en condiciones de usar un aparato termodiferencial;
- 2º Análisis químicos de las arcillas se efectuaron por el Departamento Químico de la Facultad Nacional de Minas;
- 3º La determinación de la pérdida al fuego. (Esta se pudo hacer solamente para temperaturas arbitrariamente escogidas, usando un horno de registro automático de temperaturas. El procedimiento era muy demorado);
- 4º Hemos podido hacer determinaciones ópticas corrientes;
- 5º Hemos podido verificar en algunos casos un cambio de iones por comparación de curvas termodiferenciales tras un trato químico adecuado.

Además, nos hemos basado sobre un segundo programa de investigaciones: el del *Geological Survey de Ohio* (1938, y Grim, 1953), que hemos podido cumplir casi completamente.

BASADOS SOBRE UNA COMBINACION DE ESTOS DOS SISTEMAS, HEMOS SEGUIDO EL SIGUIENTE PROGRAMA DE INVESTIGACION:

1º Investigación microscópica. Binocular, ampliación 96 veces; Microscopio Petrográfico, ampliación hasta 500 veces aproximadamente. Por lo general, se examinaron polvos tamizados —lavados—.

2º El análisis químico del Departamento de Química de la Facultad Nacional de Minas, y que indicaba el contenido de SiO_2 ; Al_2O_3 ; Fe_2O_3 ; CaO ; MgO y pérdida al fuego.

3º La trituración de las muestras para los ensayos físicos y químicos, ópticos, etc., se hizo con pestil y mortero donde era necesario. Pero donde esta forma de desmenuzar no tenía sentido por la pequeñez de los componentes, o porque no se deseaba eliminar componente alguno, se usó una quebrantadora de quijada, seguida por una pulverizadora. Generalmente debían ser secadas las muestras antes de poder triturarlas.

4º Análisis de tamizadura. Lo indicado es tamizadura combinada con lavado. Así se procedió en un principio, pero como no hemos podido conseguir mallas nuevas, y como las viejas ya no resistían ese trato, hemos tenido que tamizar en seco.

5º La pérdida al fuego se estableció para la muestra natural, para materiales en pasta sin eliminación de componente por tamaño, y para material en pasta con eliminación de componentes por tamaño (generalmente impurezas).

6º Confección de cuerpos de prueba para exámenes térmicos y otros:

a) *Galletas*: Las galletas son discos circulares levemente cónicos. En su confección se usan moldes de 14 a 16 cm^3 de contenido que tienen más o menos un centímetro de grueso y más o menos 2,5 cm de diámetro. Los moldes tienen fondo.

Estos moldes se llenan paulatinamente con arcilla en pasta, golpeando el fondo del molde cada vez fuertemente en contra de la mesa de trabajo. Así se produce un empaque denso de la pasta en el molde y se provoca la salida del aire contenido en la pasta.

b) *Barritas*: Ellas se confeccionan en moldes prismáticos de sección cuadrada. Estos moldes no tienen fondo; de los seis lados encierra el molde solo 4, quedando dos paralelogramos abiertos. El molde tiene dos marcas a 10 cm de distancia.

Debido a su forma abierta, no se puede golpear para dar salida al aire contenido en la pasta, y para un buen empaque. La contracción de las barritas en el proceso de secadura, y más tarde en la cochura, se mide directamente. Como base para determinar la contracción linear medida, se toma el largo del cuerpo de prueba secado a 105°C, es decir, un importe siempre menor de los 10 cm. Las barritas se contraen a menudo diferentemente (más en una que en otra dirección), resultando cuerpos deformados.

c) *Cubos*: El molde encierra solo 4 de los 6 lados del cubo, de modo que no puede ser golpeado. La compactación es deficiente y queda aire encerrado en la pasta.

Los cubos, las galletas y las barritas se secan primero al aire libre y después 24 horas en un secador a 105°C. Un secador con circulación de aire controlada y con control de la humedad del aire usado en la secadora no lo tenemos. Los cubos se llevan a diferentes temperaturas de cochura y se rompen a presión en el laboratorio de resistencia.

La confección de la galleta se aproxima en buenas cuentas al trabajo "en vacío" de los tejares; pero en la de los cubos queda aire en la pasta deficientemente compactada. De modo que los valores para la resistencia a la compresión encontrada experimentalmente será siempre menor de lo que se puede conseguir en la práctica (Tejar moderno).

7º Pruebas de plasticidad:

Se prueba la firmeza de extracción con el aparato de Ohio, del cual Peldar nos facilitó una fiel reproducción (Niggli 1948). Además, se hacen los ensayos para establecer los límites de plasticidad y de Rieke.

8º El uso de los cuerpos de prueba:

a) Las galletas en verde.

Sirven para determinar:

- El agua de plasticidad;
- El agua de contracción;
- El agua de poros;
- El peso volumen húmedo.

b) Las galletas en el proceso de secadura:

- La pérdida de volumen por peso: en la secadura;
- La contracción volumétrica: en la secadura;
- La contracción linear calculada: en la secadura;

La porosidad aparente en el cuerpo secado a 105°C.
 El peso específico aparente del cuerpo secado a 105°C.
 El peso volumen del cuerpo secado a 105°C.

c) Las galletas en la cochura, a diferentes temperaturas:

La pérdida de peso;
 El cambio de volumen;
 La contracción linear;
 La contracción volumétrica;
 La pérdida de volumen por peso;
 La porosidad aparente en;
 El peso volumen;
 El peso específico aparente;
 Color y dureza mineralógica.

d) Las barritas en verde y en la cochura:

Medición directa de largos.—Estos se refieren tanto para la contracción en la secadura como para la contracción en la cochura, siempre al largo medido entre las marcas después de terminado el proceso de secadura. (24 h aire libre + 24 horas secador a 105°C).

e) Los cubos en la cochura:

Se utilizan para los ensayos de firmeza a la compresión. Los cubos de 5 cm de largo de canto en el molde (es decir, de material húmedo), se deforman generalmente en la secadura y subsiguiente quema. Para que la presión se ejerza parejamente, se enyesan estos productos.

9º *Otros ensayos:* Determinación de los pesos específicos de los especímenes y de los cuerpos de prueba a diferentes temperaturas de cochura. Se usa el procedimiento del pignómetro. Sirve para constatar o confirmar grandes cambios mineralógicos y para calcular, basando en el peso específico verdadero a determinada temperatura, la porosidad total y la efectiva a esas temperaturas.

Estos ensayos se hicieron con el espécimen secado a 105º, determinando en esa ocasión su contenido de humedad natural en la muestra; además, con la pasta sin eliminación de componentes por tamizadura, y secada igualmente a 105°C; además, eliminando componentes (impurezas), ensayando con mayor o menor granulación y dotación de agua.

De la comportación a diferentes temperaturas y con diferente preparación de material se hicieron deducciones sobre la posible arcilla presente; y se estudiaron las influencias de las impurezas.

Pero todo esto quedó muy simplificado desde el 7 de junio de 1965, fecha en que se tomó en uso el aparato termo-diferencial, que demuestra directamente en la curva que traza la clase de arcilla presente.

Combinando los resultados leídos en las curvas termodiferenciales con la pérdida al fuego establecida hasta 900°C, se puede calcular la cantidad de arcilla presente, si se toman en cuenta las impurezas y su actuación termodiferencial.

Los ensayos de Ohio nos dan las cualidades físicas de los cuerpos de prueba.

En el informe detallado nos referiremos a estos ensayos y a las curvas termo-diferenciales (DT). También para cada grupo de arcillas que siguen, destacaremos solamente algunos de los datos recopilados en estos ensayos; y los datos en especial, por ejemplo, las diferentes porosidades deben ser estudiadas directamente desde las listas de ensayos referidas. Compararemos solamente algunos datos a través de todos los grupos, salvo en el Grupo 1º, que nos da en forma gráfica una recopilación total.

INFORME ESPECIAL

GRUPO 1º: FERRERIA DE AMAGA

Los especímenes:

- M 1: Arcilla esquistosa o pizarra arcillosa dura, de color gris con pintas rojizas.
- M 2: a) Pizarra manchada con rojo.
b) La misma pizarra en variedad más granulosa, gris verdosa.
Ambas variedades son menos duras que M 1, son más meteorizadas. El tipo "b" de la pizarra es algo más pesado que el tipo "a".
- M 3: Pizarra arcillosa de estructura laminar y algo más untuosa al tacto. Color: gris-azuloso. Es una arcilla esquistosa dura como M 1.
- M 4: Pizarra con material carbonoso, piritas, unas costras amorfas blanquecinas, y fraguada por un cemento un poco más rico en carbonatos que las muestras anteriores.
También aquí hay dos variedades. Una arcilla laminada más clara, de menos dureza, así como M 2; y otra tan dura como M 1 y M 3.

Las impurezas en las arcillas de este grupo:

Cuarzo, restos de feldespato, sericita, clorita, mineralizaciones de hierro, pigmentos ferríferos más o menos hidratados, marcasitas, poca hornblenda, carbón, rutilo y carbonatos.

Las cuatro muestras se distinguen en las proporciones diferentes en que estas impurezas están repartidas en ellas.

- M 1 tiene más remanentes de feldespato que las otras;
- M 2 parece tener más mineral metálico, óxidos e hidróxidos de hierro, titanita;
- M 3 tiene más sericita;
- M 4 tiene más carbón, marcasita en repartición fina y un cemento más carbonático.

Las cantidades en que aparecen estas impurezas varían mucho, hasta en el mismo manto. Por lo general está muy escaso el carbonato. Bajo el microscopio se puede observar una efervescencia en frío, pero las burbujas salen esporádicamente de uno u otro grano de polvo. Examinando polvos tamizados (menor tamaño 1/16 mm) se encuentran granos de polvo que son verdaderos conglomerados: cuarzo, feldespato, sericita, todo en un cemento de arcilla, óxido de hierro, hidróxidos y carbonatos. En M 4 es el burbujeo un poco mayor al aplicar HCl.

CLASE DE ARCILLA PRESENTE EN EL GRUPO 1º

Se hicieron 3 diagramas termo-diferenciales.

- DT 1 con material presecado a 105°C, tamaños 230 y 270=1/16 a 1/20 mm, sensibilidad 10%. Muestra los efectos térmicos de caolinitas y varios efectos secundarios. Para ver si estos efectos secundarios son propios de alguna impureza soluble en HCl o si son propios de la arcilla, para ver si se trata de una caolinita mal organizada o de una halloysita en M 2, o de halloysita admixta a la caolinita, se hicieron las curvas:
- DT 2 y DT 3 presecadas a solamente 40° durante dos días y tratadas con HCl. Daremos a continuación solamente una referencia a DT 2 (muestras M 1 y M 2) y DT 3 (muestras M 3 y 4) con 5 y 10% de sensibilidad.

CURVAS TERMO-DIFERENCIALES DT 2 Y DT 3:

	Inicia	Culmina	Termina	Extensión en grados	Amplitud en mm.	Otras observaciones
M 1 aprox.	75	—	175	100	3	Agua absorbida, curva muy débil.
	520	595	650	130	11	Endoterm. ppl.
	922	962	986	64	4	Exoterm. ppl.
M 2	50	—	200	150	13	Agua absorbida.
	520	595	650	130	21	Endoterm. ppl.
	922	962	986	64	5	Exoterm. ppl.
M 3	500	587	700	113	18	Endoterm. ppl.
	920	962	996	76	3	Exoterm. ppl.
M 4	250	—	500	250	12	Exoterm. carbón.
	520	589	638	118	14	Endoterm. ppl.
	922	958	992	76	3	Exoterm. ppl.

Para la amplitud se tomó 5% de sensibilidad. Para la comparación de las amplitudes de los efectos debe considerarse que la sensibilidad 10% es lo doble de la sensibilidad 5%. En los grupos que vienen más adelante hemos elegido generalmente la sensibilidad 5% por razones prácticas. Para tener amplitudes comparables entre los diferentes grupos, indicaremos la “amplitud en mm”, siempre referidos a sensibilidad 5%. La extensión de las curvas es independiente de la sensibilidad escogida, porque los efectos se producen siempre en las mismas temperaturas para un material dado; de modo que los grados de temperatura que dure un efecto, indicarán su “extensión”.

Si comparamos DT 1 con DT 2 y DT 3, podemos constatar que las curvas del material presecado a solo 40°C y pretratado con HCl, son lisas y libres de efectos secundarios; en cambio, el agua absorbida de M 2 aparece muy bien en la Curva de DT 2. En DT 1 esta curva falta, demostrando que calentada la muestra a 105°C (—o sea a más de 60°C—) se pierde este efecto. Halloysita calentada a más de 60°C pierde la cualidad de rehidratarse.

M 1, M 3 y M 4 contienen caolinita de baja cristalinidad; M 2 contiene, aparte de caolinita, una cantidad apreciable de halloysita.

Para el estimo, o cálculo estimativo de la participación de arcilla en las muestras. Si M 1, M 3 y M 4 son caolinitas, y si M 2 tiene una mezcla de 50% de halloysita y 50% de caolinita, recibimos las siguientes proporciones de sustancia arcillosa:

M 1	.....	37%
M 2	.....	25%
M 3	.....	36%
M 4	.....	34%

El hierro en las muestras está contenido generalmente como hidróxido, además en poca cantidad como marcasita, y en algunas muestras como carbonato. El valor tan bajo de sustancia arcillosa en M 2 se debe a que la química acusó para M 2 casi 22% de hierro calculado en forma de Fe_2O_3 . Contenido está este hierro casi exclusivamente como $\text{Fe}(\text{OH})_3$, como se ve con el microscopio. Hidróxido de hierro pierde su agua alrededor de los 300° , es decir, también dentro del intervalo de temperatura considerado para el cálculo de la cantidad de arcilla presente. (Intervalo máximo, 105 a 900°C . Esto redujo la cantidad de arcilla calculada para M 2. Efectivamente, contiene M 2 más arcilla.

Estos son los datos recién calculados:

Muestra	Tamizado-lavado	Calculado con base en la química
M 1	38,70%	37%
M 2	35,47%	25%
M 3	36,85%	36%
M 4	32,51%	34%

Como bajo “tamizado lavado” están incluidos los óxidos e hidróxidos de hierro, parte de la sílice libre que no pueden ser separados en esta forma, queda el rubro “tamizado lavado” más alto que el calculado que da el contenido de sustancia arcillosa.

Es de suponer que M 2 no contiene alrededor de 22% de hierro en forma de Fe_2O_3 . La muestra analizada, $\frac{1}{2}$ gramo retirado de 1 kg pulverizado, seguramente no era representativa. M 2 tiene un peso específico más bajo que por ejemplo M 1 y M 3 (menos meteorizados). Si M 2 tuviera efectivamente un contenido de 22% de Fe_2O_3 , su peso específico debiera fluctuar entre 3 y 4, pero el término medio de cuatro determinaciones del peso específico con cada vez 100 gramos dio 2,70. Podemos concluir que la participación de la sustancia arcillosa en M 2 corresponde más bien al análisis granulométrico con lavado-tamizado, rebajando algo por impurezas extremadamente finas.

Podemos concluir, con respecto a la participación de sustancia arcillosa en las cuatro muestras, que ésta será alrededor de 30%, máximo 33% del espécimen.

LA PASTA:

El material del Grupo 1º es demasiado duro para tratarlo dentro de un tiempo prudentemente corto por maduración a la intemperie o por enfosaje. Era por esto impracticable separar solamente las componentes más gruesas con lavado. (Cuarzo libre, feldespatos, marcasitas, carbón). Nos vimos obligados a pulverizar el material mecánicamente. En los granos más finos obtenidos aún había un porcentaje subido de granos “conglomeráticos” dentro de un cemento esencialmente arcilloso. La composición monocristalina, esencialmente cuarzo y calcedonia, están fragmentados por la pulverización.

Con este material se hicieron dos tipos de pasta.

La 1ª serie con material pulverizado sin tamizar; y

La 2ª serie con material menor de $\frac{1}{4}$ mm (malla 60).

Por consiguiente, fueron eliminados en la pasta “serie 2ª” fragmentos mayores de $\frac{1}{4}$ mm de cuarzo libre, marcasita, carbón, etc., pero también con los granos conglomeráticos una parte de la arcilla. Por esto queda a primera vista dudoso si habrá una diferencia apreciable entre las dos pastas. Pero la hay.

La pasta de serie 1ª necesitaba generalmente más agua de plasticidad que la de serie 2ª; a pesar de esto, era la contracción en pasta “serie 2ª”, mayor. En la pasta 2ª se había concentrado algo la sustancia arcillosa con respecto a la pasta “serie 1ª”, lo que queda especialmente evidente en M 1.

Las pruebas de plasticidad se hicieron con la pasta “serie 1ª”. El Servicio Geológico de Ohio toma como índice “el largo extruído”, e indica que largos mayores de 20 cm pueden producir dificultades en la secadura, agrietándose el material, pero admite que la mayor parte de las arcillas industriales tienen un largo extruído mayor de 8”, o sea 20 cm.

En cerámica se usa mucho el índice de Rieke para indicar la plasticidad. Su límite superior es 10.

Por consiguiente, serían las cuatro pastas aceptables, según Rieke, y demasiado plásticas según la forma de averiguar la plasticidad por extrusión. Las dos formas son netamente empíricas, basándose la una en el límite de adelgazamiento y la otra en el largo extruído, usando un dispositivo de dimensiones estandarizadas. El sistema de Casagrande no era siempre aplicable. Es un sistema más bien para investigar suelos y no sustancias cerámicas. Además, los resultados obtenidos con el largo extruído y con el

sistema de Rieke no se excluyen, se complementan más bien, y se pueden resumir los resultados en este caso en: aceptables, pero hay que tener cuidado en la secadura.

En plasticidad hay factores positivos para una masa cerámica, y estos son: la clase de arcilla misma que tiene cualidades plásticas, según si es montmorillonita, o si es caolinita; el agua suministrada para hacer la pasta; la forma de trabajar; y hay factores negativos en sentido de la plasticidad, que son las impurezas no plásticas contenidas en la arcilla.

LA SECADURA:

Se secó primeramente al aire libre y después en un secador a 105°C por 24 horas. En la secadura difieren las dos series que se hicieron.

Serie 1ª —sin tamizar—: Los cuerpos de prueba se contrajeron según su grado de meteorización. El orden de ésta es de mayor a menor: M2, M4, M3, M1.

Serie 2ª —tamizada—: Aquí la secuencia de contracción era en cambio: M1, M2, M4, M3.

Evidentemente, han quedado las concentraciones de sustancias arcillosas en este último orden, después de tamizado. M1 es más silicificada, y en la tamizadura del material pulverizado salieron esos componentes, quedando un material relativamente más rico en arcilla. M2 contiene una arcilla que es más plástica por naturaleza que la caolinita pura; por consiguiente, de esta pasta no fueron eliminadas tantas impurezas relativamente. M3 ocupa ahora el último lugar, contrae menos que las otras, y esto se debe a que la sericita que contiene no fue eliminada con malla 270.

Ninguno de los cuerpos de prueba sufrió agrietamiento en la secadura, no en la forma “serie 1ª”, y tampoco en la forma más rica en arcillas serie 2ª.

LA COCHURA:

Debemos anteponer a la evaluación de estos ensayos que las temperaturas de oxidación de las impurezas son otras en el interior de una pasta bien compactada y de la cual se ha eliminado el aire en lo posible, que en un polvo relativamente suelto colocado en el aparato termo-diferencial.

En las partes interiores de una galleta que no están comunicadas a la superficie por poros, puede ser oxidado un componente

solamente si la sustancia vecina puede entregar oxígeno en su descomposición. Sulfuros, carbón, etc., no se consumen tan pronto en una galleta como en el polvo de prueba puesto al aparato termodiferencial.

En las galletas se pueden comprobar los efectos con el microscopio. Así aparecen las pecas azulosas, señal de la oxidación de piritas y marcasitas solamente después de haber estado expuesta la galleta a unos 1200°C y más. En el aparato termodiferencial muestra la curva estos efectos antes de haberse producido la deshidratación de los caolines, por ejemplo.

La calcinación de los carbonatos se produce en los productos cerámicos generalmente en temperaturas tan altas como 1100°C o más. La oxidación del carbón no requiere temperaturas altas, pero en el interior de una galleta se puede producir solamente si el vecino entrega oxígeno, por ejemplo si se reduce hierro trivalente a hierro bivalente en presencia de carbón. Si sucede esto y el gas CO₂ producido no tiene salida por poros, se agrieta la galleta o se ampolla; lo mismo sucede si se oxidan sulfuros o calcinan carbonatos. De modo que observando las galletas se puede determinar, según los cambios sucedidos en la mineralización, en qué intervalo de temperatura se ha producido uno u otro fenómeno.

LA PERDIDA AL FUEGO DE LA PASTA:

En general, tienen las pastas de serie 2ª mayores pérdidas de agua hasta los 900° que las pastas de serie 1ª. En el intervalo de temperatura arriba de 900°, serie 1ª, tiene mayores pérdidas. Esto se debe a las impurezas: piritas y sideritas. Comprobación: pecas azulosas a 1200°; ampolladuras a 1400°; en M 1, que no se ampolló, aumento de la porosidad de 5,10 a 13,10%. Pérdida de sustancia comprobada con la balanza.

Un caso especial tenemos en M 4. En serie 1ª pierde M 4 muy poca agua, mientras que en serie 2ª la pérdida es normal. Esto no se puede deber a un aumento de la sustancia arcillosa en proporciones tan exorbitantes. Se debe a cambios en las cualidades de la arcilla presente. En M 4 habíamos constatado dos tipos de muestra. Recogiendo las muestras, se procede generalmente desde arriba hacia abajo y normal al buzamiento. Lo último que cayó a la bolsa era lo más cercano al manto de carbón. Esta parte quedó encima. Fue ensayada primero. Incendios son frecuentes en mantos de carbón en Amagá. Así se ensayó primero una arcilla de la cual ya había salido gran parte del agua por haber estado expuesta a temperaturas mayores durante algún tiempo en el mismo manto.

ENSAYOS EN LOS CUERPOS DE PRUEBA:

En el Grupo 1º se hicieron 39 gráficos que ilustran los resultados de los ensayos, procedimiento que teníamos que abandonar más adelante en los grupos restantes, por resultar un trabajo muy voluminoso.

Cambios de volumen: Vea gráfico número 1 para M1 (y para M2, M3, M4 los gráficos números 5, 9, 13, respectivamente).

- 105- 950°: La contracción volumétrica es porcentualmente algo mayor en este intervalo que la pérdida al fuego. Ambos factores se deben en este intervalo a la salida de H₂O y (OH).
- 950-1200°: En este intervalo disminuye el volumen abruptamente, mientras que la pérdida de sustancia es mínima. Se produce una expansión interna, llenando los poros en parte con cristalizaciones nuevas y vidrio, ambos de mayor volumen, de modo que el peso específico aparente baja y el peso volumen sube. Vea además gráficos 2, 6, 10, 14.
- 1200-1400°: El volumen sigue disminuyendo fuertemente en M1 y disminuye también en las demás muestras. Se produce la salida de SO₂ y CO₂, nuevo aumento de porosidad y ampolladuras.

Las curvas representadas en este gráfico: cambio de volumen por peso, contracción linear, y pérdida al fuego tienen cursos similares.

El peso específico aparente y el peso volumen:

Los pesos específicos y específicos aparentes tienen sus mayores valores alrededor de 950°, habiendo salido el componente liviano. Pasado 950°, bajan los valores por cambios de cristalización y formación de vidrio.

El peso volumen aumenta levemente entre 650 y 950°, y fuertemente pasada esa última temperatura, baja la porosidad simultáneamente. Entre 1200 y 1400°, la formación de vidrio disminuye paralelamente el peso específico y el peso volumen. La mayor aproximación de ambos pesos ocurre a 1200°.

La porosidad aparente:

a 1200°: Los gráficos 3, 7, 11, 15 confirman que entre las temperaturas tomadas por nosotros en estos ensayos las galletas son menos porosas. Entre 1200 y 1400 se pierde nuevamente esta densidad por los motivos ya nombrados. En esos mismos gráficos se puede ver también la relación entre porosidad total, efectiva, sellada y aparente.

En M 1 se ve que la porosidad aparente (embibimiento), es menor que la efectiva (calculada); esto indica que la porosidad comunicada es en parte muy fina.

En M 2, 3 y 4, gráficos 7, 11, 15, llama la atención el gran número de poros sellados a mayor temperatura. Son estas las muestras que se ampolan fuertemente a 1400°.

Si la selladura de los poros se produjo antes de que había salido de SO₂ y CO₂ se ampolan los productos.

Para evitarlo, hay dos caminos:

1º Eliminar los causantes, lavando con ácido.

En la práctica, se hará esto:

a) Se expone el material durante algunas semanas y después de triturado (las arcillas pizarrosas son muy duras!) a la intemperie, y si no llueve, se riegan los montones periódicamente. Se procura que les dé el sol.

b) Se enfosa el material que había estado expuesto por semanas a la intemperie por otras semanas en agua acidulada.

2º Demorar más los tiempos de cochura a temperatura baja, porque en estos casos saldrá CO₂ y SO₂ a esas temperaturas bajas, habiendo aún suficiente porosidad.

El procedimiento 2º parece el más caro. Una combinación de ambos sistemas con una moderada prolongación de la cochura a temperatura baja es lo más indicado.

La resistencia a la compresión y la dureza superficial.

950° Durezas superficiales de 2½ y 3; firmezas a la compresión en M 3 y M 4, 144,24 kg/cm² y 127,60 kg/cm². Colores usados claros. Uso alfarería, ladrillos, tejas.

- 1200° Con durezas de 4 y 5, y resistencias a la rotura por compresión de 405 kg/cm² en M 1, y 311,40 kg/cm² en M 4, su uso puede ser: loza sanitaria e industrial. La resistencia a la compresión de M 2 es 185,5 y la de M 3 de 192,32 kg/cm² y la dureza para ambas 4.
- 1400° Es una temperatura bastante alta para cerámica. M 1 tiene 490 kg/cm² y M 4 solamente 184,8 kg/cm² de resistencia; M 4 está fuertemente ampollado. Las durezas de estas dos muestras son 6 y 5½. El color es café por fuera y negro por dentro. En M 2 y M 3 los colores son iguales y las resistencias son de 257,3 y 465,2 kg/cm² y la dureza es de 5½ en ambas. Pero también estas muestras están fuertemente ampolladas.

Entre 1400 y 1600°C se fundieron todos los cuerpos de prueba de las cuatro muestras.

Manto de M 1: Madurando el material y levigando ácido se puede obtener una arcilla cuyas principales impurezas son sílice y feldespato. Es la mejor arcilla del grupo.

Manto de M 2: Contiene halloysita. Halloysita tiene su temperatura crítica en que pueden reventar piezas que se cuecen en el horno. En M 2 esto no sucedió; caolinita admixta.

M 3 y M 4: Trabajando con levigación ácida quedarán las impurezas como sericita en M 3 y carbón en M 4. Sericita puede producir planos de separación en los productos; y el carbón puede producir ampolladuras. Lo último puede ser contrarrestado con quemas prolongadas a baja temperatura. También es posible una separación hidro-mecánica del material, para lo cual se necesitaría trituración muy fina. Se recomienda quemar M 3 no más allá de 1000° y de usar este material para ladrillos de construcción, gres, alfarería.

M 4 puede ser llevado a 1200° teniendo precaución por el carbón o eliminándolo.

OBSERVACIONES GENERALES:

Hasta los 1200° no se ampolla el material de las cuatro muestras, siendo éstas tamizadas o no; arriba de 1200° sí se ampollan las cuatro muestras, siendo tamizadas o no. Las componentes causantes de la ampolladura a mayores temperaturas están en la fracción "menor ¼ mm" y pueden ser separadas por disolución levigando ácido, salvo en M 4 (carbón). Pero a 1200° *no había* ampolladura.

En la Serie 2ª, material menor de $\frac{1}{4}$ mm, parece el mejor producto de alta temperatura de cocido a 1100°C. Colores claros. Contracción moderada. Porosidad aparente baja; por consiguiente, también la permeabilidad para agua baja. Eliminando sulfuros y carbonatos y hierro, levigando ácido y separando carbón y sericita, todas las arcillas son buenas para loza.

GRUPO 2º: "EL LORO" — ANTIOQUIA

Especímenes M 5 a M 10. Numeraciones de campo: El Loro N° 1 - 6.

- M 5: Pizarra arenosa pero laminada. La penetración de soluciones oxidadas siguió en algunos ejemplares la laminación, alterando laminillas pigmentadas de óxido e hidróxido de hierro con laminillas verdosas; en otros ejemplares se produjeron manchones rojos. La fractura es irregular y granulosa.
- M 6: a) Arcilla fuertemente micácea y de buena laminación. El espécimen es blando, se desmorona fácilmente entre los dedos y es de color verde-gris.
Fractura normal a la laminación, dentada.
Fractura en dirección de la laminación, lisa, con micas claras y oscuras (biotitas más o menos meteorizadas) en los planos producidos.
- b) Arcilla *dura*, fuertemente silicificada y con mucho menos mica.
- M 7: Arcilla compacta. Color gris-verde; contiene costrillas blancas y costrillas negras. Los carbonatos del cemento escasos.
- M 8: Arcilla compacta con laminación finísima, posiblemente de presión. Color gris-verde.
- M 9: Arcilla dura de componentes muy pequeños. El pigmento es ocasionalmente hidróxido de hierro en capitas. Colorido general: gris-verde.
- M 10: Arcilla compacta, no-laminada y poco dura. Color gris con manchas rojas ocasionalmente concéntricas. Carbonatos presentes.

LAS IMPUREZAS CONTENIDAS EN LOS ESPECIMENES
DEL GRUPO 2º:

- M 5: Calcedonia en costras, cuarzo, feldespatos alterados, hornblenda, biotitas meteorizadas. En la tamización quedan en las clases entre $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{20}$ mm costras de calcedonia, costras de limonita, micas alteradas, aglomeraciones de arcilla, restos de una mineralización clara y otra oscura, aparentemente feldespatos y hornblendas. En la clase menor de $\frac{1}{20}$ mm queda arcilla, cuarzo muy fino, micas, y en menor cantidad fragmentaciones varias producidas en la trituración.
- M 6: Calcedonia en costras y de relleno; cuarzo cristalino; micas ocasionalmente grandes; además sericita; sulfuros de hierro; también unos pocos granates pardos y varias componentes fraccionadas negras. M 6 contiene minerales propios al metamorfismo regional.
- M 7: Calcedonia botroidal, costras de limonita, costras negras que pueden ser de wad, hojitas negro-verdosas de clorita. Los minerales de roca como feldespatos, hornblendas, micas en cantidades secundarias.
- M 8: Calcedonia y cuarzo en todas las clases, a menudo teñidos en variados colores, piritas pequeñas pero abundantes; biotitas meteorizadas y fragmentos de componentes negros son escasos.
- M 9: Cuarzo y calcedonia en todas las clases de tamaño. Las micas aparecen solamente en la fracción menor de $\frac{1}{4}$ mm. Como sustancias raras tenemos algo de fluorita y andalusita. En el cemento hay carbonatos.
- M 10: Calcedonia y cuarzo. Carbonatos presentes. Hay algunas piritas y pirotinas.

Nota: En M 5 y M 6 debe estar presente además siderita, posiblemente en forma microgranular mezclada con arcilla, como se verá más adelante. La efervescencia se nota solamente en caliente.

LA CLASE DE ARCILLA PRESENTE EN EL GRUPO 2º:

Se hicieron las siguientes curvas termo-diferenciales:

- DT 4: de M 5, M 6, M 7, M 8, M 9, M 10, con material presecado a 105°C ; y de estos M 5, M 6, M 7, M 8 sin tamizar; M 9

tamizado, menor malla 60; y M 10 tamizado, menor malla 270. Sensibilidad para todos, 10%.

- DT 5: de M 5, M 6, M 7 y repetido M 7 (por canal desviado). Todos con material pretratado con HCl y presecado a 40°C; M 5 y M 6, sensibilidad 10%; M 7, sensibilidad 5%. Tamaños, decantación lavado.
- DT 6: de M 8, M 9, M 10, y repetido M 10. Material pretratado con HCl y presecado a 40°C. M 8 y M 9, sensibilidad 10%; M 10, sensibilidad 5%. Tamaños, decantación, lavado.

En la lista que viene a continuación están recopilados los datos de DT 5 y DT 6; además, están indicadas las amplitudes relativas, reducidas todas a

SENSIBILIDAD DE 5% Y EXPRESADAS EN mm.

CURVAS TERMO - DIFERENCIALES DT 5 Y DT 6

Muestra	Inicia	Culmina	Termina	Extensión en grados	Amplitud 5% en mm.	O b s e r v a c i o n e s
M 5 ...	85	115	150	65	2,5	Agua absorbida int.
	287	305	326	39	2,5	Endot. Limonita
	500	593	625	125	23	Endot. Ppl. arcilla
	900	963	993	93	6	Exot. Ppl. arcilla
M 6 ...	50	115	160	110	1,5	Agua absorbida int.
	287	303	326	39	1	Endot. Limonita
	500	592	625	125	15	Endot. Ppl. arcilla
	900	962	993	93	4	Exot. Ppl. arcilla
M 7 ...	87	115	150	63	1,5	Agua absorbida int.
	500	591	625	125	16	Endot. Ppl. arcilla
	925	962	993	69	4	Exot. Ppl. arcilla
M 8 ...	80	150	184	104	1	Agua absorbida int.
	350	...	500	150	2,5	Exot. oxidación imp.
	500	594	637	137	18	Endot. Ppl. arcilla
	931	968	994	63	4	Exot. Ppl. arcilla
M 9 ...	80	150	184	104	1	Agua absorbida int.
	350	...	500	150	2,5	Exot. oxidación imp.
	500	594	637	137	15	Endot. Ppl. arcilla
	931	968	994	63	3,5	Exot. Ppl. arcilla
M 10 ..	500	598	637	137	25	Endot. Ppl. arcilla
	931	966	994	63	6	Exot. Ppl. arcilla

En DT4 no existen efectos *endotérmicos* iniciales por agua absorbida “interlayer” (entrepuesto entre las capas). Secado a 105°.

En DT5 y DT6 tienen en cambio todas las arcillas, exceptuando M10, este efecto. Secado a 40°C.

Puede suponerse que todas estas arcillas tienen un poco de halloysita admixta. Halloysita pierde su capacidad de reabsorber esta agua tras un calentamiento mayor a 60°C.

El efecto que culmina a 300° aproximadamente se encuentra en DT4 en todas las arcillas, salvo M8; en DT5, en cambio, solamente en M5 y M6.

En DT5 se trató la arcilla durante 24 horas con HCl al 10%. La limonita fue disuelta y desapareció en el lavado. En M5 y M6 se formó por este trato con HCl nuevamente limonita, tras la descomposición de siderita. El efecto endotérmico a 300° en DT4 pertenece a limonita de los especímenes; el efecto en DT5 en las muestras M5 y M6 a limonita regenerada desde componentes férricos.

El curso general de las seis curvas es el de una caolinita con adiciones de halloysita. La cristalinidad es moderadamente buena. La distribución de tamaños es algo mayor en M8, M9, M10, que en M5, M6, M7, cuya selección es algo mejor.

Participación de la sustancia arcillosa en los especímenes.

Los especímenes del grupo 2º contienen más y más variadas impurezas que los del grupo 1º. El cálculo de la participación del componente arcilla es por esto en este caso especialmente difícil. Nos valemos por esto de la granulometría.

Granulometría — tamizado y lavado.

Aquí restaban para <i>arcilla</i> :	M 5	...	...	...	27,53%
	M 6	...	...	...	30,60%
	M 7	...	...	...	23,16%
	M 8	...	...	...	23,61%
	M 9	...	...	...	24,90%
	M 10	...	...	...	32,70%

Los valores del “lavado tamizado” dan un poco más del puro contenido de arcilla.

LA PASTA:

Los especímenes del grupo 2º eran duros en general y debieron ser pulverizados mecánicamente. Se usó material menor malla 60 = 1/4 mm para las pastas. El material eliminado por tamizadura contenía, aparte de componentes "gruesas" monocristalinas, fragmentos de costras de calcedonia, ópalo, limonita, aglomeraciones de arcilla mezcladas con impurezas finas.

El material menor de 1/4 mm representa una concentración relativa de arcilla, pero contiene también las mismas impurezas en menor proporción. Que subió el contenido de arcilla lo prueba el monto de agua de contracción, que refleja directamente el contenido de arcilla. Para ello se debe tomar en cuenta la clase de arcilla presente, que conocemos de los gráficos termo-diferenciales.

Las pruebas de plasticidad dan resultados semejantes a los del grupo 1º. El Índice de Rieke debajo de 10, los largos extruídos Mayores de 8". Es decir: arcillas aceptables, pero debe tenerse cuidado en la secadura. No había agrietamiento en la *secadura*. *Las contracciones en la secadura* son normales, pero generalmente un poco mayor que en el grupo anterior.

RECOPIACION DE ALGUNOS DATOS DE COCHURA
PARA 1000° Y 1200°

1000°	Tacto	Color	Firmeza kg/cm ²	*D	Fractura	Porosidad aparente	Peso vol.	Peso esp. aparente	Con- tracción
M 5	liso	rosado claro	137	4	granular	31,61%	1,83	2,74	6,42%
M 6	liso	rosado claro	191	4	angular a astillosa	25,16%	2,01	2,73	4,70%
M 7	liso	rosado claro	165	2½	angular a astillosa	31,92%	1,87	2,76	3,20%
M 8	liso	rosado claro	123	3	angular	29,90%	1,77	2,49	3,30%
M 9	liso	rosado claro	204	5	granular	32,07%	1,82	2,72	1,83%
M 10	liso	rosado claro	102	4	granular	32,85%	1,82	2,36	2,56%
1200°									
M 5	algo áspero	gris pardo claro	172	6	angular	10,—%	2,32	2,54	10,50%
M 6	algo áspero	gris pardo claro	138	4	astillosa	7,15%	2,38	2,53	8,50%
M 7	algo áspero	pardo (*)	(*)	6	angular	11,59%	2,35	2,62	8,60%
M 8	algo áspero	bleo. amarillento	185	4	angular	18,88%	2,09	2,56	5,20%
M 9	algo áspero	pardo claro	137,5	5½	angular	15,02%	2,19	2,55	7,10%
M 10	algo áspero	pardo claro	135,7	5	angular	11,75%	2,30	2,62	8,30%

(*) M 7 tiene a 1400°C una firmeza de compresión 303 kg/cm² y es con este valor la muestra de mayor firmeza de este grupo a 1400° pero para 1200° falta la prueba.

- 1000°: Las seis arcillas sirven igual como las del grupo 1° a esta temperatura de cochura para ladrillos de construcción, pequeñas tejas y artículos de alfarería.
- 1200°: A esta temperatura debe destacarse solamente M 8 porque quema bastante clara y tiene una resistencia suficiente para artículos de loza; y en la cerámica vitrificada para artículos de gres cerámico, por ejemplo: baldosas, tubos de gres para canalización, artículos industriales químicos y de economía doméstica; y levigando: como gres fino.

Como esta materia prima tiene mucha impureza, será lo más indicado de usar las seis arcillas a 900 a 1000°. A mayor temperatura no ganan mucho en resistencia.

GRUPO 3º: EL GUAYABAL

Muestras	M 11	M 71	M 78.
Tipo de arcilla	Plástica	Plástica	Plástica (barro).
Color	Pardo	Gris-amarillento	Café.
Dureza mineralógica. 1	1	1	1.
Sectilidad	Corte liso toda dirección	Corte liso toda dirección	Corte liso toda dirección.
Fractura en la muestra secada	Terrosa	Irregular	Terrosa.
Prueba de carbonatos	Negativa	Negativa	Negativa.
Impurezas:			
Cuarzo libre	No muy abundante; algunas partículas gruesas de origen coloidal; generalmente grano fino	En todas las fracciones (tamizadura) especialmente abundante en residuo malla 170.	Especialmente en residuo de malla N° 170.
Feldespatos	Restos alterados	Restos alterados	Restos alterados.
Micas	En la fracción fina, pero no muy abundante	Prácticamente ausente.	Prácticamente ausente.
Minerales de hierro	Pigmentoso, ocre. Restos de laterita	Semejante a M 11	Semejante a M 11.
Restos vegetales y carbón	Escasos	Frecuentes	Presentes.
Carbonatos	Prácticamente ausente en las tres muestras.		
Sulfuros de hierro	Prácticamente ausente en las tres muestras.		

LA CLASE DE ARCILLA PRESENTE:

Se hicieron dos series de análisis termo-diferenciales: DT 7 y DT 8.

Para tener en lo posible pura arcilla presente en el examen termo-diferencial, se hicieron ambas series con arcilla decantada.

DT 7 se secó a 105°C; M 11 y M 71 con 10% de sensibilidad; M 71 repetida a 5% de sensibilidad; M 78 también 5% de sensibilidad.

DT 8 se secó a 40°C y se pretrataron las muestras con HCl. Las sensibilidades son las mismas de DT 7; M 11 y M 71 con 10%, mientras que los canales 3 y 4 que estaban ocupados esta vez por M 78, tenían ambas veces 5%. (Canal 3 desviado).

Puede observarse que en DT 8 todos los efectos se inician algo más temprano que en DT 7.

LAS CURVAS DT 8:

CURVAS TERMO-DIFERENCIALES

Muestra	Inicia	Culmina	Termina	Extensión en grados	Amplitud 5% en milímetros	Observaciones
M 11 . . .	110	—	225	115	2 mm	Endot. inicial (agua).
	225	—	330	105	1,5 mm	Endot. limonita.
	400	—	500	100	1,5 mm	Exot. oxidación impur.
	500	591	610	110	20 mm	Endot. Ppl. arcilla.
	870	935	962	92	6 mm	Exot. Ppl. arcilla.
M 71 . . .	110	200	250	140	1 mm	Endot. inicial (agua).
	300	—	500	200	1,5 mm	Exot. oxidación impur.
	500	574	610	110	7 mm	Endot. Ppl. arcilla.
	860	891	943	83	2 mm	Exot. Ppl. arcilla.
M 78 . . .	0	—	150	150	1,5 mm	Combust. raicillas.
	300	—	500	200	1,5 mm	Exot. oxidación impur.
	500	579	610	110	10 mm	Endot. Ppl. arcilla.
	870	910	943	73	2 mm	Exot. Ppl. arcilla.

Nota: La oxidación de impurezas se puede deber a carbón y la limonita recién deshidratada, por ejemplo, en M 11.

Los efectos *endotérmicos principales* son en M 11 de buena amplitud, relativamente agudos y culminan próximos a 600°; la amplitud de estos mismos efectos es en M 71 y M 78 menor y los efectos son menos agudos.

Los efectos *exotérmicos principales* son en *M 11* buenos y agudos; en *M 71* y *M 78* pequeños y aplanados. La culminación de estos mismos efectos se produce en *M 11* a una temperatura más baja de lo que sucede normalmente en caolinitas; y esta situación empeora aún en *M 71* y *M 78*.

Todas las muestras acusan: agua absorbida entre sus capas y que sale a baja temperatura. Este efecto es en todas las muestras débil. Todas las muestras acusan presencia de materia oxidante entre 400 y 500°; y *M 11* además deshidratación de limonita.

M 11 es una caolinita de una cristalinidad moderadamente buena; los tamaños de sus cristales parecen estar entre 0,1 y 0,2 micrones, a juzgar por los efectos térmicos. La distribución de tamaños es regular. Aparentemente caolinización *in situ*.

M 71 y *M 78* también son caolinitas pero de baja cristalinidad y de tamaños pequeños. Los efectos tan anticipados en la exoterma *ppl.* y la forma de la endoterma inducen a creer que *illitas* están admixtas. Los tamaños de los componentes de la sustancia arcillosa son a juzgar de los efectos térmicos para la caolinita 0,1 a 0,05 micrones; puede ser que esta caolinita haya tenido un transporte con redepositación, sufriendo los cristallitos fraccionamiento.

El análisis de granulometría se pudo hacer para *M 11* aun según el método de tamizado-lavado. Según este análisis, había 36,65% de componentes finos, arcillas, pigmentos de hidróxidos de hierro, sílice tamaño silt, etc.

LA PASTA:

De *M 11* se hicieron dos pastas, de las cuales ninguna es normal.

M 11 A: Se hizo con demasiada agua; *M 11 B* con un mínimo de agua. A pesar de todo, este mínimo de agua de la pasta *M 11 B* requirió más agua para una moderada plasticidad que *M 71* y *M 78* para una plasticidad grande respectivamente excesiva.

La gran capacidad higroscópica puede interpretarse en arcillas como índice de un tamaño de componentes pequeños cuando está acompañado por una gran moldeabilidad y una fuerte contracción en la secadura.

Comparemos estos tres factores en las tres arcillas.

Muestra	Pérdida de agua en la secadura	Contracción linear en la secadura	Largo extruído en cm.
(M 11 A)	(72,52)	(17,60)	(14,90 cm) (*)
M 11 B	49,82%	11,78%	11,50 cm
M 71	29,48%	9 %	69 cm
M 78	40,57%	11,19%	150 cm

(*) M 11 A: Un exceso de agua no mejoró la plasticidad más que moderadamente.

Confrontemos estos datos con los correspondientes para dos dioritas descompuestas:

M 37	41,61%	3,09%	6,80 cm
M 38	45,71%	3,20%	7 cm

Estudiando estos datos podemos decir que M 11 es una arcilla que contiene aún una buena porción de roca descompuesta de tamaño pequeño, mezclada a la sustancia arcillosa. Lo que reacciona en el aparato termo-diferencial es la arcilla, y lo hace en M 11 en la forma y en las temperaturas propias de una caolinita de cristalización pequeña, pero buena. Todo esto concuerda con la suposición de que M 11 está aún *in situ*.

M 71 y M 78 las hemos considerado arcillas transportadas y deterioradas en transporte. A ambas se les agregó en el transporte arena en tamaño silt, y una segunda clase de arcilla, que es mucho más plástica, illita.

La *Plasticidad* muestra, según los largos extruídos, valores excesivos. Según Rieke, da: M 71, un índice de 6,31 es decir a pesar de su gran largo extruído de 69 cm, un valor por debajo de 10; y M 78, un índice de 11,58, es decir, superior a 10.

Evidentemente, conviene magrar las arcillas según su aplicación, por ejemplo para tejas con harina de desperdicios de ladrillos; para ladrillos de construcción con arena lavada y harina de ladrillos.

Se trata aquí de arcillas de ladrilleras, y debemos ocuparnos especialmente de la secadura del producto verde.

LA SECADURA:

Muestra	Contracción linear en la secadura	Contracción linear en la coadura a 1000°
M 11 A	17,60%	3,20%
M 11 B	11,78%	4,10%
M 71	9 %	2,59%
M 78	11,19%	3,03%

La contracción lineal en la secadura y en la cochura se refieren ambos al largo de la muestra secada a 105°C, medida a temperatura de medio ambiente.

Estas arcillas se contraen mucho más en la secadura que después en la cochura. La contracción en la *secadura* está relacionada directamente con la cantidad de agua empleada en la confección de la pasta, pero no es exactamente proporcional a ella. Conviene reducir la cantidad de agua.

Hoy en día se trabaja en la industria ladrillera con prensas al vacío. El vacío reduce el agua necesaria para una pasta de ladrillos a 15-25%, de modo que en estas arcillas bastaría la humedad natural.

Además, se nota una moldeabilidad mayor y necesidad de menos agua aún, empleando mayores presiones en el prensado.

El proceso mismo de secadura difiere mucho en la práctica del trato que le hemos dado al producto en el laboratorio. Hemos secado al aire libre y 24 horas en un secador de laboratorio, con aire prácticamente seco.

Los secadores técnicos de los tejares emplean aire moderadamente cálido y húmedo, así que se carga paulatinamente con el agua que se desprende de la superficie del ladrillo. Dentro del ladrillo afluye por las capilares el agua muy lentamente a la superficie.

El caso en que la ladrillera no dispone de secadores con regulación de aire por minuto y con control de humedad, *obliga a secar al aire libre en galpones techados*. En este caso se debe disponer de espacio y tiempo. El proceso sería el siguiente:

Que tenga la arcilla 75% de peso de arcilla y 25% de peso de agua, lo que equivale a 55% de volumen de arcilla y 45% de volumen de agua. *En las primeras 12 horas al aire libre saldrá el agua de los intersticios de las partículas, y el balance final de estas 12 horas será:*

55% vol. de arcilla; 39% vol. de agua; 6% volumen de contracción. (= 2% vol. linear).

Después de más o menos 2½ días, habrá salido el agua que envuelve las partículas mismas, y el balance será:

55% vol. de arcilla; 12% vol. de agua; 22% vol. contracción; 12% vol. de poros. (7-8% contracción linear).

Después de 5½ a 6 días en total, el balance será:

55% vol. de arcilla; 0% vol. de agua; 22% vol. contracción; 23% vol. de poros. (7-8% contracción linear).

Naturalmente, no era posible seguir este método con 84 muestras en total, si el proceso de cochura subsiguiente necesitaba más o menos una semana por muestra. Pero también así nuestras muestras no se agrietaron, a pesar del largo de extrusión excesivo. La práctica moderna de los tejares trabaja en forma más favorable que nuestras condiciones en el laboratorio, y menos se agrietarán.

LA COCHURA:

RECOPIACION DE DATOS DE COCHURA A 900° Y A 1000°:

Muestra	Porosidad aparente	Firmeza kg/cm ²	Color	Dureza min. °D	Tacto	Peso vol.	Contracción lineal
900°							
M 11 A . . .	49 %	94,30	rosado	2½	algo áspero	1,45	2,60%
M 71	32,65%	194,96	ladrillo claro	6	liso	1,82	1,07%
M 78	35,75%	178	ladrillo	2½	liso	1,67	1,80%
1000°							
M 11 A . . .	47,50%	67	rosado	4	algo áspero	1,45	3,20%
M 71	28,50%	167,40	ladrillo claro	8	liso	1,90	2,59%
M 78	34,33%	127,10	ladrillo	3½	liso	1,75	3,03%

USO: Ladrillo de construcción: M 11, M 71 y M 78.

Tejas: M 71, magrando con harina de ladrillo bien cocido, para más bien bajar que no aumentar la porosidad, y mantener dureza y firmeza.

GRUPO 4º: ANGELOPOLIS

Los especímenes: M 12, M 13, M 14, M 15, con la numeración de campo: BTU 1, BTU 2, BTU 3, BTU 4

Indicaciones de campo:

M 12 — BTU 1 . . . 11,80 m de espesor, situado entre vetas 1 y 2.

M 13 — BTU 2 . . . 3 m de espesor, situado sobre la veta 1.

M 14 — BTU 3 . . . 3 m de espesor, situado entre vetas 2 y 3. San Pedro.

M 15 — BTU 4 . . . no lleva más indicación que "San Pedro".

MINERALIZACION DE LOS ESPECIMENES:

Muestra	Abundante	Frecuente	Presente	Escaso
M 12	Arcilla, cuarzo libre.	Biotita, clorita, herrumbre, arena feldespática.	Piritas, sustancia carbonosa.	Calcita en el cemento; siderita, fibras de broncita?
M 13	Arcilla, biotita, clorita, cuarzo libre también en la fracción fina.	Arena feldespática, herrumbre, sustancia carbonosa.	Magnetita, piritas, espinclas.	Calcita, siderita.
M 14	Arcilla, biotita, cuarzo, también en la fracción más fina.	Arenas feldespáticas, herrumbre, sustancia carbonosa.	Cloritas, piritas, también de tamaño grande. Magnetita.	Calcita en el cemento, siderita.
M 15	Arcillas, arenas feldespáticas.	Cuarzo. Calcedonia.	Carbón y mineral de hierro.	

Nota: En el cemento hay carbonatos y éstos deben haber sido mucho más abundantes originalmente. Aparentemente penetraron aguas acidulas en estos mantos. Se encuentran cristales de arena en M 13, que muestran formas de escaledros típicos para calcita. El relleno de los cristales es arena feldespática con pequitas negras.

Además, se pueden observar reemplazos en M 12 y M 14. En M 14 fueron reemplazadas piritas, pero también hay aún piritas grandes intactas.

LA ARCILLA PRESENTA:

DT 9 materiales naturales sin tamizar. Sensibilidad 10%. Curva comparativa M 11 del grupo 3º. Presecado a 105°C.

DT 10 material menor malla 230. Tratado con HCl y presecado a 40°; sensibilidad 10% en M 12 y M 13; sensibilidad 5% en M 14 y M 15.

CURVAS TERMO - DIFERENCIALES DT 10

DT 10 Muestra	Inicia	Culmina	Termina	Extensión en grados	Amplitud 5% en milímetros	Observaciones
M 12	100	—	400	300	2,5 mm	Agua, limonita y finalmente goetita.
	500	593	650	150	17 mm	Endot. Ppl. arcilla.
	934	967	995	61	4,5 mm	Exot. Ppl. arcilla.
M 13	300	—	500	200	2 mm	Exot. impurezas.
	500	593	650	135	10 mm	Endot. Ppl. arcilla.
	934	969	1000	66	3,5 mm	Exot. Ppl. arcilla.
M 14	300	—	500	200	6 mm	Exot. impurezas.
	500	593	635	150	15 mm	Endot. Ppl. arcilla.
	940	966	988	48	4,5 mm	Exot. Ppl. arcilla.
M 15	500	593	635	135	16 mm	Endot. Ppl. arcilla.
	940	966	988	48	3 mm	Exot. Ppl. arcilla.
M 14	ocupa el canal que se desvía.					

Las curvas termo-diferenciales de las cuatro muestras tienen las características de caolinitas. Tanto en las curvas DT 9 como en las DT 10 influyen impurezas. M 13 y M 14 muestran en DT 10 (trato con HCl, secado a 40°) fuertes efectos exotérmicos de oxidación entre 300 y 500°; en ambas muestras la sustancia carbonosa es frecuente.

La participación porcentual de arcilla en las muestras:

Muestra	Arcillas + pigmentos y sílice (silt)	Estimativo arcilla sola
M 12	34 %	30 % arcilla
M 13	27,47%	25 % arcilla
M 14	29,50%	27 % arcilla
M 15	31,50%	28,5% arcilla

LA PASTA:

Se usó material menor malla 60 = 1/4 mm. Se necesitó alrededor de 20% de agua de plasticidad en estas muestras, de la cual era 50% en término medio agua de contracción, y la otra mitad agua de poros. Se alcanzó con poca agua una plasticidad suficiente.

Según los largos extruidos, M 12, M 13, M 14 y M 15 son "arcillas aptas para tejas huecas". El peso volumen de la muestra secada es relativamente alto; en todas las muestras mayor de 2.

RECOPIACION DE ALGUNOS DATOS DE COCHURA PARA TEMPERATURAS
DE 1000 Y 1200°

Cochura	Porosidad aparente	Firmeza kg/cm ²	°D	Color	Tacto	Peso vol.	Contracción lineal
1000°							
M 12	33,32%	96,30	6	rosado-claro	Liso	1,87	0,75%
M 13	31,29%	84,70	5	rosado-claro	Liso	1,86	0,28%
M 14	35,61%	88,50	5	rosado-pardo	Liso	1,83	0,90%
M 15	30,43%	107,20	5	rosado	Liso	1,92	2,06%
1200°							
M 12	3,87%	430	6	rosado-claro	poco áspero	2,23	7,30%
M 13	12,51%	317	6	pardo-claro	poco áspero	2,26	6,90%
M 14	15,16%	(*)	7	pardo-rojizo	poco áspero	2,26	7,44%
M 15	14,20%	194,30	6	pardo-amarillo	poco áspero	2,25	6,30%

N o t a

1000° Los cubos de M 13, M 14, M 15 estaban en el interior descoloridos, amarillo claro.

1200° Los cubos de M 13 y M 14 tenían concreciones interiormente; en M 14 se formaron escorias en el cubo de 5 cm × 5 cm × 5 cm que sobrepasaban la cara del cubo en un lado por 3 cm. Pero otro cubo fue llevado a 1400° y quemó bien interior y exteriormente. Esa arcilla tiene concreciones de carbonatos que ocasionalmente resultan molestos. M 15 estaba interior y exteriormente bien cocido.

(*) M 14. No había cubo para la prueba de firmeza a la compresión por los incidentes descritos. Pero a 1400° este material alcanzó una firmeza a la compresión de 477 kg/cm². El valor de M 14 a 1200° debe ser parecido al de M 13. Si se libra este material de los carbonatos por levigación ácida, se eliminará el peligro de la escoria. Las piritas grandes pueden ser eliminadas por lavado, y las finas levigando ácido. El efecto también puede deberse a las piritas.

Uso: Las cuatro Arcillas pueden ser usadas:

- a 1000° Para alfarería, ladrillos y tejas;
- a 1200° Loza sanitaria e industrial. M 13, y especialmente M 14, que ambas queman interiormente negras, necesitan preparación, como ya se ha mencionado. Un uso arriba de 1200° no se recomienda.

GRUPO 5º: LA UNION

LOS ESPECIMENES:

El grupo consta de los especímenes M 16 a M 21. Todas estas muestras son blandas, terrosas, desmoronables; el blanco puede variar un poco de blanco grisáceo a blanco amarillento.

M 16: *58½% del espécimen eran mayores de ¼ mm (residuo malla 60); y constaban esencialmente de pelotoncitos aglomerados de arcilla blanca, cuarzo libre y un mineral hojoso de color parduzco claro, frecuentemente nacrado en la base. El mineral hojoso se encuentra también en librillos y unido a ópalo o calcedonia.*

41½% del espécimen eran menor de ¼ mm, y constaban de los mismos componentes, pero en otras proporciones. La sílice libre de esta fracción está frecuentemente en forma de agujas, astillas, esquirlas, trocitos irregulares, fragmentados. Recuerda a cenizas volcánicas.

M 17: Contiene menos del mineral hojoso que tenía M 16. Por lo general son las impurezas las mismas; también los pigmentos de hidróxido de hierro en capitas finas y manchones. También sílice en fracción fina como M 16.

M 18: A simple vista está ausente el mineral hojoso. La muestra contiene fragmentos vegetales y de carbón. En lo demás son las impurezas las mismas de las muestras anteriores.

M 19: No se ve el componente hojoso a simple vista. Los componentes claros y transparentes pequeños son evidentemente elásticos, pero los grandes parecen subredondeados. Se ven cristales botroidales de calcedonia y agrega-

dos de gibbsita que a menudo adoptan esas mismas formas.

- M 20: También falta el mineral escamoso grueso. Como en las demás muestras, hay manchoncitos o capitas de hidróxido de hierro. Con el microscopio se distinguen escamitas, posiblemente diasporo. Se puede comprobar la presencia de carbonatos en pequeña cantidad.
- M 21: Esta muestra tiene una pequeña cantidad de carbonatos. En las partes blancas grisáceas a cremosas de la muestra se distinguen unas pequitas negras que meteorizan rojo amarillento y manchan un poco la arcilla.

Nota: Salvo el mineral escamoso grueso, no hay en las seis muestras un solo mineral mayor de $\frac{1}{4}$ mm de diámetro; pues los pelotoncitos de arcilla que aglomeran arenas, pueden ser deshechos fácilmente lavando.

LA CLASE DE ARCILLA PRESENTE:

Se hicieron las siguientes curvas termo-diferenciales:

- DT 11: *Curvas de las seis muestras*, tamizadas a 1/16 mm, secadas a 105°C y tomadas con una sensibilidad de 10%, más una curva de M 21 en duplicado, con sensibilidad 5%.
- DT 12: Curvas termo-diferenciales de M 16 y M 17; material tamaño decantación; tratado con HCl; presecado a 40°C; sensibilidad 5%.
- DT 13: Curvas termo-diferenciales de M 18 y M 19; material tamaño decantación; tratado con HCl; presecado a 40°C; sensibilidad 5%.
- DT 14: Curvas termo-diferenciales de M 20 y M 21; material tamaño decantación; tratado con HCl; presecado a 40°C; sensibilidad 5%.
- DT 15: Curvas termo-diferenciales del material hojoso contenido en los especímenes de La Unión; escogido de M 16 y M 18; tamaño natural; presecado a 105°C; sensibilidad 10%.

Nota: En el material usado para DT 12, DT 13, DT 14 están eliminados por decantación los componentes gruesos del material hojoso.

CURVAS TERMO - DIFERENCIALES DT 12, DT 13, DT 14.

	Cul- Inicia	Ter- mina	Extensión en grados	Amplitud 5% en mm	O b s e r v a c i o n e s	
					Forma de la curva	
DT 12						
M 16	540 950	600 981	640 1000	100 50	25 mm 11 mm	Endot. Ppl. arcilla / simétrica semi-aguda. Exot. Ppl. arcilla / simétrica semi-aguda.
M 17						
	285	—	328	43	1 mm	Endot. Exot. impurezas.
	540	598	640	100	28 mm	Endot. Ppl. arcilla / simétrica semi-aguda.
	950	987	1000	50	15 mm	Exot. Ppl. arcilla / simétrica aguda.
DT 13						
M 18						
	100	—	120	20	1 mm	Endot. Inicial, Agua.
	400	—	500	100	2 mm	Exot. Carbón.
	530	597	630	100	23 mm	Endot. Ppl. arcilla / simétrica semi-aguda.
	940	975	1010	70	8 mm	Exot. Ppl. arcilla / simétrica algo redonda.
M 19						
	20	—	100	80	3 mm	Exot. sust. orgánica.
	100	—	150	50	2 mm	Endot. Inicial, Agua.
	280	305	330	50	20 mm	Endot. Gibbsita.
	500	591	607	107	22 mm	Endot. Ppl. arcilla / asimétrica, redondeada.
	965	990	1008	43	12 mm	Exot. Ppl. arcilla / asimétrica, aguda.
DT 14						
M 20						
	515	605	618	103	30 mm	Endot. Ppl. arcilla / asimétrica, semi-aguda.
	960	992	1010	50	20 mm	Exot. Ppl. arcilla / simétrica, aguda.
M 21						
	485	597	615	130	28 mm	Endot. Ppl. arcilla / asimétrica, semi-aguda.
	960	989	1010	50	26 mm	Exot. Ppl. arcilla / simétrica, aguda.

Nota: M 16, M 17 y M 18 son caolinitas, distribución de tamaños normal, cristalización normal. M 19, M 20 y M 21 son arcillas mixtas, caolinita con halloysita. M 19 contiene gibbsita. En M 19, M 20 y M 21 se inician las curvas endotérmicas muy temprano. Vea al respecto DT 15 con el mineral hojoso. Este está en forma muy fina contenida en estas muestras. Estas últimas 3 muestras tienen también amplia distribución de tamaños. El mineral hojoso contiene ópalo y diasporo.

A estos resultados a que llegamos ahora tan fácilmente con el análisis termodiferencial también habíamos llegado anteriormente.

La clase de arcilla presente en la muestra y su participación porcentual en el espécimen la controlábamos con la pérdida al fuego a 900°, los análisis químicos y ópticos, y el peso específico a diferentes temperaturas, que cambia con el cambio de mineralización en la cochura.

Así hemos obtenido valores de hasta poco más de 40% de sustancia arcillosa para los especímenes de este grupo. Los valores parecen muy altos. M 19 acusó el mayor contenido de arcilla; es la muestra más hidratada. Contiene halloysita, y el hidróxido de aluminio también en su forma más hidratada, como gibbsita. La composición e hidratación de un manto sedimentario será siempre variable.

LA PASTA

M 16 se hizo con una pasta sin tamizar, y luego otra.

M 16A con el material menor de malla 60 = 1/4 mm, eliminando lo más grueso del mineral hojoso.

Las dos pastas eran de baja calidad. Los largos de extrusión dieron valores buenos 17 cm y 24 cm. A pesar de esto, no sirvieron

las pastas. Quedó evidenciado que el componente hojoso no se aglomera; secando la pasta, pierde toda coherencia. En la cochura no fraguan estas escamas con la arcilla y demás componentes; queda un cuerpo extraño dentro de la pasta y le resta firmeza.

Hemos examinado ese cuerpo escamoso que contiene diasporo y hemos obtenido *las curvas DT 15*. Ese material tiene sus efectos endotérmicos próximos a los de la caolinita, pero sus formas son redondeadas y acusan una amplia distribución de tamaños. Diasporo tiene su culminación a los 560, la caolinita a 600 y nuestras curvas la tienen a 580. Diasporo no tiene ningún efecto exotérmico, y nuestras curvas lo tienen a 960 a 970 e igualmente en forma redondeada. Aparte de diasporo, reacciona aquí una caolinita mal cristalizada.

M 17 se hizo igualmente con material menor de $\frac{1}{4}$ mm y con resultados parecidos. Falta de coherencia, a pesar de buenos largos extruídos. El agua envuelve las escamas y éstas se adhieren, pero solamente mientras que están en contacto con agua dan efectos plásticos. Una vez secada la pasta, se desmorona fácilmente.

M 17A se hizo con una pasta menor de malla 200. En esta pasta ya existe una mejor relación de agua de contracción a agua de poros, indicando que ya no hay participación tan grande de sustancias no arcillosas, que al secar dejan intersticios vacíos.

Desde 17A en adelante, en M 18, M 19, M 20 y M 21 se hizo la pasta con material menor malla 200. En M 20 y M 21 aumentan las impurezas por sílice libre.

LA COCHURA

De las M 16, M 16A, M 17 (sin tamizar, respectivamente malla 60).

	Porosidad aparente	Contracción lineal	Peso vol.	Peso esp. aparente	Observaciones
900°					
M 16	44,08	0,01	—	2,40	Dureza, uno; Firmeza aprox. 3 kg/cm ² ; desmoronable. Color blanco plateado.
M 16A . . .	56,04	+0,83	1,07	2,43	Más o menos lo mismo. (M 16).
M 17	50,70	0,71	1,20	2,48	Dureza, 1; Firmeza 11 kg/cm ² ; color blanco, desmoronable.

El estado a 1000° de estas tres pastas no es muy diferente. Aún destiñen al tocarlas.

	Porosidad aparente	Contracción lineal	Peso vol.	Peso esp. aparente	Observaciones
1400°					
M 16	40,02	3,14	1,47	—	Firmeza, casi 7 kg/cm ² .
M 16A	51,12	6,60	1,34	2,45	Firmeza, 44,10 kg/cm ² .
1350°					
M 17	47,10	2,90	1,31	2,46	Firmeza, 25 kg/cm ² .

De estos ensayos se desprende que la separación de impurezas hasta solamente $\frac{1}{4}$ mm de diámetro es insuficiente.

Muestras M 17A, M 18, M 19, M 20 y M 21 tamizadas a menor malla N° 200 = 0,075 mm.

Escogeremos las temperaturas 1100° y 1350°.

	Porosidad aparente	Contracción lineal	Peso vol.	Peso esp. aparente	Firmeza kg/cm ²	°D	Color	Tacto
1100°								
M 17A	54,60	3,10	1,14	2,51	24,33	1	blanco	destiñe
M 18	49	4,40	1,26	2,48	—	1	blanco	destiñe
M 19	43	3,70	1,55	2,78	82,33	2½	blanco	liso
M 20	46,42	3,90	1,40	2,63	32	1½	blanco	liso
M 21	44,65	4,50	1,47	2,63	—	2½	blanco	liso (agrietado)
1350°								
M 17A	47,21	8,45	1,41	2,66	59,70	1	blanco	liso
M 18	41,79	9	1,60	—	93,66	1½	blanco	poco áspero
M 19	20,33	9,40	1,96	—	—	3	blanco	poco áspero
M 20	35,63	9,20	1,76	2,72	100	5	blanco	liso
M 21	27,76	10,25	1,92	—	—	6	blanco	liso

Para producir porcelana de este material debe ser purificado mucho, aun la materia prima, levigándola cuidadosamente. Una porcelana debe tener una porosidad muy baja (0,01 a máximo 6% de poros sellados, pero 0% de poros comunicados; la porosidad aparente es porosidad comunicada).

Esta gran densidad se obtiene con adiciones de feldespato (generalmente potásico) que produce masas que funden fácil. Porcelana dura se fabrica generalmente con 50% de caolín, 25% de cuarzo y 25% de feldespato. Se considera densa una porcelana solamente si absorbe menos de 0,1% de agua. La porcelana es transparente, blanca y dura.

Según las adiciones, se pueden confeccionar diferentes porcelanas: porcelana dura, porcelana blanda, porcelana fritada, porcelana de hueso, porcelana japonesa, etc.; pero primera condición es producir un caolín puro, y segunda condición agregarle las adiciones requeridas en el porcentaje necesario.

Nosotros hemos establecido que se trata en M 16, M 17 y M 18, en lo esencial, de caolinita pura en cuanto a la sustancia arcillosa

se refiera, que este material contiene además 1 a 1,5% de hidróxido de hierro, unos 10 a 12% de diásporo; 1,5% de carbonatos; unos 40% de sílice y feldespato; y que los M 19, M 20 y M 21 contienen parte de su sustancia arcillosa en forma de halloysita, y el hidróxido de aluminio en forma de gibbsita.

Nuestros ensayos han mostrado que especialmente molesta es la impureza hojosa, a pesar de que este componente también da un diagrama termo-diferencial que acusa presencia de caolinita también en esa sustancia.

Que un material tan rico en caolinita debe usarse como materia prima para porcelana es evidente, pero también para loza necesita purificación por lavado, ante todo eliminación del componente hojoso. La halloysita puede ser molesta si su participación en la sustancia es grande.

GRUPO 6º: LAS OVEJAS - SAN PEDRO

M 22: De este espécimen hay dos tipos.

M 22: Fue recogida en un manto de 70 cm de grueso, situado inmediatamente debajo de la capa vegetal. Es una arcilla plástica de color gris-pardo, con raicillas visibles, y veteada de limonita color naranja con pequeños granos de cuarzo.

M 22A: Es material del mismo manto, pero recogido en la cancha. Se trata de material secado al aire libre. Su color es casi blanco. No se ven raicillas. La muestra está veteada de limonita y tiene cuarzo de grano fino.

M 23: Es una capa de igualmente 70 cm de espesor, que sigue inmediatamente debajo del manto de M 22. Arcilla gris clara, plástica. Contiene cuarzo fino granular.

M 24: Pertenece a una capita de 30 cm de espesor, debajo del manto de M 23. La participación de arena, especialmente cuarzo, es algo mayor que en las otras muestras de este grupo. Contiene impurezas más gruesas muy meteorizadas y mineralizaciones ocasionales como andalusita o sillimanita.

LA CLASE DE ARCILLA PRESENTE:

Hemos hecho las curvas DT 16 con material tamizado a malla 230 y presecado a 105°; sensibilidad 10 y 5%; y las curvas DT 17

con material tamaño decantación, lavado y presecado a 40°C. En DT16 se ve el efecto del cuarzo libre en M 22, sensibilidad 10%, a 573° aproximadamente, y se puede verificar también en M 22, sensibilidad 5%, ahí mismo; pero en DT17 ya no se ve este efecto, de modo que el rebalse del material lavado ya no contenía sílice tamaño silt.

Curvas DT 17, sensibilidad 5%, presecado 40°, tamaño decantación (menor "silt"); el lavado se hizo con agua. (No se usó ácido).

CURVAS TERMO - DIFERENCIALES

Mues- tra	Ini- cia	Cul- mina	Ter- mina	Extensión en grados	Amplitud 5% en mm	Clase de curva	OBSERVACIONES Forma de curva
M 22	300	—	500	200	3 mm	Exot. impurezas,	—
	500	598	624	124	24 mm	Endot. Ppl. arcilla.	Asimétrica, aguda, amplia distribución.
	950	992	1007	57	9 mm	Exot. Ppl. arcilla.	Aguda.
M 23	500	589	624	124	16 mm	Endot. Ppl. arcilla.	Asimétrica, semi-aguda, amplia distribución tamaños.
	950	981	996	46	7 mm	Exot. Ppl. arcilla.	Redondeada.
M 24	300	—	500	200	3 mm	Exot. impurezas.	—
	500	590	619	119	17 mm	Endot. Ppl. arcilla.	Asimétrica, semi-aguda, amplia distribución tamaños.
	956	984	1010	60	8 mm	Exot. Ppl. arcilla.	Aguda a semi-aguda (desviada).

La arcilla presente en estos especímenes contiene halloysita en mayor proporción.

LA PASTA:

La pasta fue hecha con material menor malla 230, es decir, contenía arena en tamaño silt.

	M 22	M 24
M 22 y M 24 tenían valores similares para el		
agua de plasticidad	30,55%	30,99%
Largos de extrusión en centímetros	28 %	34,30%
Contracción linear	6,55%	8,50%

M 22A M 24

M 22A y M 23 requirieron 40,78% y 39,53 de agua de plasticidad; los largos extruídos eran 59 y 78 cm, y la contracción linear 8,25 y 11%, respectivamente.

M 22 y M 22A se asemejan menos que M 22A y M 23.

M 22A y M 23 son más ricas en sustancia arcillosa, si suponemos que hay una sola clase de arcilla o una misma mezcla de arcillas en todo el yacimiento.

Si M 22A fue tomada en la cancha y si corresponde al manto superficial, entonces fue tomada en las proximidades de M 23, que según descripción sigue hacia abajo de M 22.

Según los *largos extruídos*, se debe tener cuidado en la secadura. Efectivamente, se partieron algunas galletas en la secadura y debieron ser reemplazadas por otras hechas bajo las mismas condiciones. Para el uso industrial debe ser magrado este material.

Según cálculo basado en el análisis químico, óptico y la pérdida al fuego, el contenido de arcilla era entre 35 y 40%, es decir, sumamente subido.

LA COCHURA

RECOPIACION DE ALGUNOS DATOS DE COCHURA A 950° Y A 1100°

	Porosidad aparente	F i r m e z a kg/cm ²	°D	C o l o r	Tacto	Peso volumen	Contracción lineal
950°							
M 22	37,22	—	2½	crema rosado	liso	1,63	1,37
M 22A	30,77	90	2½	crema rosado	liso	1,54	2,57
M 23	38,10	—	6	blanco	liso	1,61	2,50
M 24	38,56	135,17	6	blanco	liso	1,60	0,40
1100°							
M 22	40,20	87,91	5	blanco tinte rosado	liso	1,64	1,86
M 22A	42,84	—	5	blanco crema	liso	1,59	3,75
M 23	29,18	157,35	8	blanco	liso	1,88	6,50
M 24	32,02	173,45	7	blanco	liso	1,69	2,80

A 1350° baja la porosidad aparente en M 22 y M 22A a valores de 23 a 24%, en M 23 a 1,04% y en M 24 a 15,96%. La firmeza no sube mucho en M 24, de 173,45 a 1100° a 196,28 kg/cm² a 1350°. La dureza sube mucho, en todas las muestras entre 7 y 8.

M 23 ya muestra *grandes deformaciones* a 1100° y mayores aún a 1350°.

Cubos de las siguientes muestras reventaron en el horno:

Antes de llegar a 800°	Antes de llegar a 950°	Antes de llegar a 1100°
M 22A, M 23, M 24	M 22	M 22, M 22A, M 23

Además, se agrietaron fuertemente otros cubos de M 22A y M 23 antes de llegar a 1350°.

En el grupo anterior habíamos visto que ciertas galletas tomaban con Kerosene tintes liláceos; eran aquellas que según sus curvas termo-diferenciales eran halloysitas. En el grupo 6º sucede lo mismo.

Galletas echadas al Kerosene tomaron tintes

liláceos a 800° M 22A, M 23, M 24
Y antes de llegar a 1100° M 22

Podemos concluir: los especímenes son ricos en arcilla. Esta arcilla contiene mucha halloysita. La plasticidad de la arcilla es grande. El agrietamiento en la secadura se debe a contracción dispereja, que también se produce a causa de distribución dispereja del agua en la masa. La distribución dispereja del agua en la pasta se acentúa por diferencias de temperatura en la masa; por ejemplo, interior de la masa y superficie. En buenas cuentas, el riesgo de agrietamiento disminuirá mecanizando el proceso de secadura en forma exactamente controlable.

La arcilla sola no dará buenos resultados, pero ella podría ser magrada con harina de ladrillo u otro degasante para usarla para ladrillos de construcción y posiblemente como tejas.

GRUPO 7º: LLANO LAS MATAS, RIONEGRO

Este grupo consta de 4 muestras:

- M 25: Es de color café oscuro, contiene raicillas y pertenece a la capa superficial de 1 m de espesor. La muestra es terrosa.
- M 26: Es de color café claro, pertenece a una capa de 50 cm que sigue debajo de M 25, y es una arcilla plástica.
- M 27: Pertenece a la capa siguiente hacia abajo, tiene una potencia de 70 cm y es de color gris oscuro; también es una arcilla plástica.
- M 28: Es de color gris claro, también es una arcilla plástica y pertenece a la capa inferior de 1 m de espesor.

LA CLASE DE ARCILLA PRESENTE

CURVAS TERMO - DIFERENCIALES

Mues- tra DT18	Ini- cia	Cul- mina	Ter- mina	Extensión en grados	Amplitud 5% en mm	Clase de curva	OBSERVACIONES
							Forma de curva
M 25	290	308	323	33	3	Endot. limonita.	—
	500	560	590	90	3	1ª Endot. de Illita.	Débil, redonda.
	—	700	—	—	2	Inflexion Montmorillonita?	Débil.
	800	—	950	150	2	2ª Endot. Illita.	Débil.
M 26	290	308	323	33	3	Endot. limonita.	—
	500	560	600	100	14	Endot. Ppl. Halloysita.	Asimétrica, redondeada.
	950	974	993	43	3	Exot. Ppl. Halloysita.	Redondeada.
M 27	284	308	325	41	3	Endot. limonita.	—
	500	583	611	111	13	Endot. Ppl. Halloysita.	Asimétrica, redondeada.
M 28	486	584	616	130	23	Endot. Ppl. Halloysita.	Asimétrica, semi-aguda.
	937	969	993	56	10	Exot. Ppl. Halloysita.	Aguda.

En DT 18 se encontró que hay dos diferentes capas de arcilla en este yacimiento. Para verificar si M 25 es efectivamente Illita, se hizo DT 18A.

DT 18A: Se hicieron dos curvas con sensibilidad 10%, una de ellas tratada con agua y otra con HCl; además, se hicieron 2 curvas con sensibilidad 5%, una tratada con agua, la otra con soda.

Tamaño de todas: “decantación”; todas presecadas a 40°.

Se confirma que M 25 es illita, posiblemente con algo de montmorillonita.

LA PASTA

La pasta se hizo en M 25 y M 26 sin eliminación de tamaños por tamización, y en M 27 y M 28 eliminando el material mayor de 1/4 mm, en lo esencial aglomeraciones arcillosas, arenas y micas.

	Muestras sin eliminación de tamaños		Muestras con eliminación de tamaños=menor 1/4 mm	
	M 25	M 26	M 27	M 28
Agua de plasticidad	33,94%	37,78%	39,58%	55,81%
Pérdida de volumen en la secadura	10,70%	16,49%	15,30%	36,21%
Largos extruídos	15,60 cm	30,50 cm	60 cm	103 cm
% de agua de contracción en el agua de plasticidad	31,6 %	43,65%	38,91%	64,88%

Que se debe tratar aquí de dos arcillas diferentes, se confirma.

M 26, sin eliminación de componentes, es más plástico que M 25 sin eliminación de componentes. Eliminando impurezas, sube entonces la plasticidad considerablemente en M 27 y excesivamente en M 28.

Con este respecto es también interesante de comparar la relación sílice-alúmina en estas 4 muestras:

	E s p e c í m e n e s			
	M 25	M 26	M 27	M 28
% SiO ₂ / % Al ₂ O ₃	6	1,4	1,5	1

M 25 contiene mucha arena silícica. M 26 contiene más o menos tanta sílice libre como M 27, y en M 28 muy poca. Esto, considerando que en M 25 la arcilla contiene Illita con una proporción de sílice a alúmina de casi 1 a 1; mientras que en M 26, M 27 y M 28 la arcilla contiene creciente participación de halloysita.

Según los largos extruídos, es M 25 la única de estas 4 arcillas que no tiene mayor cuidado en la secadura.

Los largos extruídos de las otras tres arcillas, con o sin separación de impurezas mayores de 1/4 mm, son tan grandes, que en la práctica no podrán ser usadas sin magrantes o sin mezclarlas con otras arcillas.

LA COCHURA

Trataremos la M 25 por separado, y las otras 3 muestras en conjunto.

M 25	Porosidad aparente	F i r m e z a kg/cm ²	°D	Color	Tacto	Peso vol.	Contracción lineal
950°	39,53%	26,53	2½	blanco-cremoso	liso, grietas finas superficiales	1,52	+ 0,90%
1100°	43,12%	29,79	3	blanco-cremoso	liso, grietas finas superficiales	1,52	0,08%
1350°	38,20%	146,03	3	crema-amarillento	liso, grietas finas superficiales	1,68	0,25%

La calidad esencial de este material es que no se contrae prácticamente. Debido a que se expande hasta los 950°, no tiene firmeza. La porosidad es muy subida, y a 1350° aún no bajó mucho.

Como la muestra contiene mucha sílice libre, debiera hacerse un ensayo hasta próximo a los 1600° de temperatura, el punto de fusión del cuarzo y con calentamiento prolongado para producir su forma más refractaria, la cristobalita.

RECOPIACION DE DATOS DE COCHURA PARA LAS MUESTRAS M 26, M 27, M 28

	Porosidad aparente	Firmeza kg/cm ²	°D	Color	Tacto	Peso vol.	Contracción lineal
950°							
M 25	42,25%	144,32	3	blanco-rosado	grietas finas	1,46	3,80%
M 27	38,73%	—	4	blanco-cremoso	agrietado	1,51	2 %
M 28	42,38%	124,49	5	crema-claro	agrietado	1,48	4,50%
1100°							
M 26	39,03%	232,77	6	blanco-cremoso	grietas finas	1,61	5,30%
M 27	36,25%	—	6	blanco-cremoso	agrietado	1,71	5,40%
M 28	39,16%	124,49	6	blanco-cremoso	agrietado	1,23	5,90%
1350°							
M 26	12,14%	290,24	6	crema	grietas muy fuertes	2,31	12,30%
M 27	5,73%	—	6	blanco-cremoso	grietas muy fuertes	2,36	11,93%
M 28	1,52%	68,84	7	gris	levemente áspero	2,52	14,10%

Mientras que M 25 no tenía incidente de cochura, en las muestras M 26, M 27 y M 28 había varias:

En M 26, que no tenía eliminación de lo mayor de $\frac{1}{4}$ mm y por consiguiente la proporción de sustancia arcillosa era menor, había nada más que agrietamientos que aumentaban con mayor temperatura.

En M 27 y M 28, con eliminación de lo mayor de $\frac{1}{4}$ mm, había los siguientes incidentes de cochura:

M 27 después de 800°, y antes de llegar a 1100° se reventaron barritas respectivamente cubos; a 1350° los cubos eran tan fuertemente agrietados que su resistencia a la compresión sufrió mucho, como se puede comprobar de la lista de arriba.

M 28: se reventó una barrita en el horno entre 800 y 950°; los cubos se agrietaron fuertemente en todas las temperaturas bajando aquí también la firmeza.

Del comportamiento en la cochura se deduce que estas muestras son de una arcilla muy grasa que no puede ser usada sin desgrasantes o sin ser mezclada con otras arcillas magras. Con Kerosene toman las muestras colores liláceos a diferentes temperaturas.

GRUPO 8º:

Comprende dos muestras: M 30 y M 29. Estas muestras habían sido entregadas sin procedencia y resultó más tarde que ambas no corresponden al contrato. M 30 es una arcilla tixotrópica y con un contenido muy subido de sílice libre.

GRUPO 9º: ERECOS, RIONEGRO

Este grupo consta de cuatro muestras de un mismo yacimiento.

M 31 tiene color gris claro; M 32 es de un gris algo más oscuro; M 33 es café; M 34 es de un gris blancuzco. Esta última lleva la leyenda que ha sido recogida en la cancha.

A juzgar por los colores, es M 33 la *capa superior*, la superficie terrosa; lo sigue hacia abajo la M 32, y la más profunda debe ser M 31.

La M 34, de la cancha, parece ser recogida originalmente de los estratos de M 32 o de M 31.

Las cuatro arcillas son plásticas; solamente M 34 está endurecida por la secadura al aire libre en la cancha.

Las muestras contienen mucha arenita de sílice y aparentemente también algo de detrito de roca serpentizada; además, contiene costras de hidróxido de hierro, restos vegetales, carbón. Los restos vegetales están ocasionalmente silicificados.

LA CLASE DE ARCILLA PRESENTE

En la lista de los efectos térmicos que sigue colocaré solamente los efectos principales propios de caolines, y me referiré en seguida a los demás efectos que se interceptan en parte, lo que dificulta su registro en una lista.

DT 19: CURVAS TERMO - DIFERENCIALES DE EFECTOS TERMICOS PRINCIPALES DE CAOLINES

	Ini- cia	Cul- mina	Ter- mina	Extensión grados	Amplitud 5% en mm	Clase de curva y forma de la curva
M 31	470	586	617	147	12 mm	Endot. Ppl. caolín, muy abierta, asimétrica y redondeada.
	918	950	994	76	4 mm	Exot. Ppl. caolín, muy débil, muy extensa, aplanada.
M 32	450	580	600	150	16 mm	Endot. Ppl. caolín, simétrica, abierta, culmina en punta semi-aguda.
	900	950	1000	100	4 mm	Exot. Ppl. caolín, débil, extensa y aplanada.
M 33	520	580	600	80	9 mm	Endot. Ppl. caolín, muy débil, asimétrica, semi-aguda.
	920	960	990	70	2 mm	Exot. Ppl. caolín, débil, redondeada.
M 34	500	580	620	120	15 mm	Endot. Ppl. caolín, simétrica abierta, semi-aguda.
	940	980	1000	60	5 mm	Exot. Ppl. caolín, débil, redondeada.

Según esta lista, se puede tratar de una caolinita de cristalinidad deficiente; o de caolinita con halloysita admixta, ambas mal cristalizadas.

M 32, M 33 y M 34 tienen además una inflexión endotérmica a los 318°, propia de limonita. Aparte de este efecto, se manifiesta especialmente en M 33 materia oxidable entre 350 y 500°. En esa misma muestra hay un efecto endotérmico inicial que se extiende hasta cerca de 250°.

En las 4 muestras se inicia el efecto exotérmico pasados los 900°, pero en M 31 y M 32 se puede apreciar una pequeña inflexión endotérmica al iniciarse la curva exotérmica, lo que es propio de las illitas.

M 33 y M 34 no tienen tal inflexión a los 900° y son caolinitas mal cristalizadas solas. M 33 la muestra terrosa café, que difiere tanto de la muestra M 34 blanca, endurecida, tienen curvas semejantes.

La razón sílice-alúmina da para las cuatro muestras:

$$M\ 31 = 2,18 / M\ 32 = 1,51 / M\ 33 = 2,65 / M\ 34 = 1,62$$

Es decir, en este respecto M 34 (recogida de la cancha) se asemeja más a M 32. La composición de los mantos es variable dentro de un mismo manto.

LA PASTA:

La pasta se hizo para todas las muestras de este grupo con material tamizado a malla 200.

M 31	requirió	27,75%	agua de plasticidad.
M 32	requirió	32,47%	agua de plasticidad.
M 33	requirió	34,43%	agua de plasticidad.
M 34	requirió	31,49%	agua de plasticidad.

De esta agua de plasticidad eran 39,31% agua de contracción y 60,68% agua de poros en la muestra M 31.

Para comparar estos valores en las cuatro muestras, los ordenaremos en una pequeña lista:

Del total de agua de plasticidad (= 100% para cada muestra), eran:

		Agua de contracción	Agua de poros	Sumas
(27,75% de)	M 31	39,31%	60,69%	100%
(32,47% de)	M 32	55,22%	47,78%	100%
(34,43% de)	M 33	53,88%	46,12%	100%
(31,49% de)	M 34	64,40%	35,60%	100%

Otros datos de plasticidad son :

	M 31	M 32	M 33	M 34
Largos extruídos en cm	31,00	29,60	57,50	22,30
Indice de Rieke	7,91	8,92	10,82	12,92
Contracción linear <i>en la secadura</i>	6,95	9	9,85	10,50

Según estas listas, decrece el contenido de arcilla desde la superficie a la profundidad y en el mismo orden decrece la plasticidad.

Según el Indice de Rieke, son M 33 y M 34 plásticas en exceso; según los largos extruídos, debe tenerse cuidado en buenas cuentas con todas las cuatro arcillas, especialmente con M 33.

LA COCHURA:

El material de las muestras M 31 y M 32 aumenta su porosidad entre 700 y 1100°, es decir, debe contener un material volátil que sale después del agua de hidróxido (caolinita a 600°) y que contiene los poros comunicados abiertos y hasta aumenta su volumen de poros.

ALGUNOS DATOS DE COCHURA A 1100 Y 1350°

	Porosidad aparente	Firmeza kg/cm ² °D	Color	Tacto	Peso vol.	Peso esp. aparente	Contracción linear	
1100°								
M 31	35,74%	161,79	5	blanco grisáceo	liso	1,71	2,64	0,63%
M 32	36,28%	229,14	6	crema claro	liso	1,70	2,67	2,60%
M 33	32,16%	199,51	5	crema claro	liso	1,73	2,56	2,76%
M 34	36,19%	174,89	4	crema oscuro	liso	1,67	2,61	2,70%
1350°								
M 31	26,61%	297,09	6	crema moteado	liso	1,87	2,55	3,40%
M 32	14,91%	357,50	6	amarillo moteado	poco áspero	2,05	2,41	7,10%
M 33	22,06%	327,38	7	pardo-amarillo moteado	poco áspero	1,90	2,43	6,15%
M 34	24,80%	226,74	6	crema moteado	poco áspero	1,86	2,48	5,20%

El comportamiento en la quema era normal en M 31, M 32 y M 34. En M 33 se reventó un cubo solo cuando fue llevado de 700 a 900°C. Un tinte violáceo no pudo ser comprobado en esta muestra en Kerosene. Tomó un color café oscuro en Kerosene; posiblemente el café tapó el tinte violáceo. Si se desea usar este material como refractario, debe ser levigado en ácido para eliminar los óxidos metálicos, hierro, etc., e incluso de álcalis. La alta porosidad a 1350° y la diferencia entre peso volumen y peso específico indican que se puede alzar aún la temperatura; esto especialmente en M 31, donde la contracción con respecto a su estado secado a 105° es solamente 3,40%. Los colores claros de estas muestras y su firmeza también justificarían su uso como loza, para lo cual conviene bajar la porosidad y aumentar la firmeza agregando feldespato. Agregando mucho feldespato se podría intentar bizcocho de porcelana, especialmente en M 32, donde la relación sílice-alúmina es baja. Sin preparación alguna sirven todas estas arcillas a 900° como material para ladrillos huecos, y ladrillos ordinarios. Como a esa temperatura ya son muy claros, pueden ser teñidos fácilmente al tono que se desea. Para tejas huecas debiera magrarse algo con harina de ladrillo.

GRUPO 10: SAJONIA RIONEGRO

Este Grupo consta de dos muestras: M 35 y M 36.

Espécimen:

M 35 es una arcilla plástica blanca, con poco hidróxido de hierro en costras. Impurezas del tipo "arenita" faltan; en cambio se ven de vez en cuando sustancias terrosas cafés a negras en moldes cristalográficos. La curva termo-diferencial muestra que gibbsita está presente. Vea en C/I —11—, donde queda demostrado que la muestra natural tiene más de 50% de su peso en unidad absorbida que sale a 105°C. Manto muy hidratado.

M 36 es una arcilla plástica blanca grisácea. Su humedad natural es más de 40% y también gibbsita está presente. Esta muestra contiene además "arenita" de minerales claros y mica meteorizada.

LA CLASE DE ARCILLA PRESENTE:

DT 20, tamaño malla 230, presecado 105°, sensibilidad 5%.

CURVAS TERMO - DIFERENCIALES — OBSERVACION

	Ini- cia	Cul- mina	Ter- mina	Extensión en grados	Amplitud 5% en mm	Clase de curva y su forma
DT 20						
M 35	275	334	359	84	35 mm	Endot. de gibbsita, muy amplia.
	521	574	600	79	11 mm	Endot. Ppl. de un caolín, débil, redondeada.
	963	996	1015	52	4 mm	Exot. Ppl. de un caolín, débil, redondeada.
M 36	275	324	350	75	26 mm	Endot. de gibbsita, amplia, pero menos que la anterior (M 35).
	500	575	600	100	17 mm	Endot. Ppl. caolín, redondeada.
	963	996	1015	75	8 mm	Exot. Ppl. caolines, semi-aguda.

Nota: Las curvas propias de caolines o halloysita son más marcadas en M 36 que en M 35.

LA PASTA:

La pasta de ambas muestras se hizo con material menor malla 120.

	Largo extruído	Índice Rieke	Agua de plasticidad	Agua de contracción
M 35	9 cm	13,20	42,19%	10,72%
M 36	17,52 cm	14,18	43,63%	12,03%

La contracción en la secadura era para M 35 = 4,60% y para M 26 = 5,20%.

Las cualidades plásticas de la pasta son deficientes y será necesario eliminar la gibbsita, para luego magrar otra vez las arcillas, según los fines industriales para que se necesitará o destinará la arcilla.

LA COCHURA:

	Porosidad aparente	Firmeza kg/cm ²	°D	Peso vol.	Peso esp. aparente	Contracción lineal	Color	Tacto
1100°								
M 35	57,22%	—	4	1,20	2,87	4,60	blanco	liso
M 36	51,70%	36,77	6	1,32	2,73	5,60	blanco cremoso	liso
1350°								
M 35	42,83%	78,47	4	1,46	2,87	8,50	blanco	finamente áspero
M 36	38,84%	150,98	6	1,26	2,75	11,10	blanco cremoso	finamente áspero

Las galletas tomaron un tinte lila: M 35 a 1100° en Kerosene, pardo lila.

M 36 a 900° en Kerosene, pardo con brillo liláceo.

Los cubos (5 cm × 5 cm × 5 cm): M 35 desde 1100° hasta 1350°, grietas finas.

M 36 desde 1100° hasta 1350°, grietas fuertes.

La porosidad es aún grande a 1350°C, e igualmente la diferencia entre peso específico y peso volumen. Falta mucho por aglomerar, y la firmeza es por esto aún baja. Si hasta los 1350° la firmeza es tan pequeña, esto se debe evidentemente a la gibbsita. El gran contenido de gibbsita queda demostrado en la curva DT 20. En 330 pierde gibbsita parte de su agua y se convierte en diásporo; el diásporo pierde entonces su agua alrededor de 560° y se convierte en corindón. En DT 20 culmina la endotérmica ppl. en 575°, es decir, a un punto más próximo al efecto de la gibbsita-diásporo, que al de caolinita. También la relación sílice-alúmina, para M 35 = 0,39 y para M 36 = 0,70 es en ambos casos sumamente baja, a pesar de que M 36 contenía "arenita" en el espécimen.

La transformación de gibbsita en diásporo y en corindón se produce en la cochura de una masa cerámica a temperaturas más altas que en el aparato termo-diferencial. El corindón producido no se aglomera a temperaturas que hemos investigado aquí faltando fundentes.

El material es por consiguiente una materia prima para refractarios. Debe ser levigado ácido el material y además debe ser separada la "arenita" de M 36. La arcilla misma (halloysita ya desde 950° y caolinita a 1200°) forman igualmente corindón cúbico (gama) que reacciona antes de convertirse en corindón alfa. Si no tiene con qué reaccionar y no habiendo fundentes (óxidos de metales, hierro y óxidos de álcalis), se formará una masa homogénea muy rica en alúmina, un refractario a base de corindón y arcilla pura. Estos ensayos deben hacerse en temperaturas más altas que las que podemos producir.

GRUPO 11: DIORITAS DESCOMPUESTAS

M 37, CHAQUIRO, SANTA ROSA — M 38, CAROLINA, GUADALUPE

Los especímenes:

M 37: Aspecto terroso; color café rojizo con pecas blancas. Con el microscopio binocular se distinguen, aparte de las porciones terrosas, cuarzo, mica y materia caolinizada, posiblemente de feldespatos. La mica es biotita meteorizada, en parte rubilana.

M 38: Las impurezas son las mismas, el color es más claro.

Curvas termo-diferenciales DT 21. Sensibilidad 5%. Material menor malla 230. Presecado a 105°C.

	Ini- cia	Cul- mina	Ter- mina	Extensión grados	Amplitud 5% en mm	Clase de curva y forma
DT 21						
M 37	300	—	500	200	4 mm	Oxidación impurezas.
	525	591	620	95	22 mm	Endot. Ppl. arcilla, simétrica, abierta.
	939	995	1010	71	8 mm	Exot. Ppl. arcilla, abierta.
M 37	536	590	615	79	17 mm	Endot. Ppl. arcilla, simétrica, abierta.
MICA	935	955	990	55	3 mm	Exot. Ppl. arcilla, abierta y muy plana.
M 38	525	589	620	95	20 mm	Endot. Ppl. arcilla, abierta y con inflexión cuarzo.
	929	950	1000	71	3 mm	Exot. Ppl. arcilla, abierta y plana.

La clase de arcilla es de un caolín de cristalización deficiente y de amplia distribución de tamaños; en M 37 mica, parecen predominar tamaños pequeños. Las micas habían sido separadas cuidadosamente, lavadas y secadas, dieron reacción de caolines, deben estar caolinizadas también en gran parte.

LA PASTA:

La pasta se hizo con material menor de malla 120 (1/8 mm).

En ambas pastas se produjo una cierta concentración de arcilla en la tamización.

	Las pérdidas al fuego eran entre 105° y 900°C	En el espécimen	La pasta sin tamizar	En lo menor de malla 120
M 37	8,54%	9,77%	13,30%
M 38	8,20%	8,60%	13 %

Los largos extruídos eran en M 37 = 6,80 cm y en M 38 = 7 cm.

Los índices de Rieke eran en M 37 = 6,29 cm y en M 38 = 6,99; demostrando una plasticidad muy baja.

La humedad natural había sido en M 37 = 17,25% y en M 38 = 24,88%; y las pastas se hicieron en M 37 = 41,61% y en M 38 = 45,71% de agua; de la cual eran agua de contracción M 37 = 8,99% y en M 38 = 9,91%, siendo la mayor parte de ella agua de poros, en M 37 = 32,62% y en M 38 = 35,80%.

Con lo cual queda demostrado que había un exceso de materia no transformada en sustancia arcillosa y en cuyos intersticios se almacenó el agua.

Conforme a estos datos, era la porosidad aparente en la parte secada M 37 = 50,50% y en M 38 = 49,64%, mientras que la contracción lineal era en M 37 = 3,09% y en M 38 = 3,20%.

La relación de sílice es en M 37 = 1,5 y en M 38 = 1,4, es decir, no muy diferente, y ambas muestras tienen con 8,13% y 6,81% un contenido de Fe₂O₃ alto y el contenido de cal es 2,35% en M 38.

La pasta es en ambos casos de poca coherencia, debido a las muchas impurezas muy porosa, de poca cantidad de sustancia arcillosa y contiene bastantes fundentes.

LA COCHURA:

La pasta quedó en la cochura de muy poca firmeza hasta los 1100°, y solamente más allá, a los 1350°, ya no desteñía al tocarla y ya no se desmoronaba.

	Porosidad aparente	Firmeza kg/cm ² °D	Peso volumen	Peso. esp. aparente	Contracción lineal	Color	Tacto
1100°							
M 37	48,84%	8,60	1½	1,31	2,55	3,40%	vermellón destiñe
M 38	48,76%	11,21	1	1,27	2,49	4,95%	ladrillo destiñe
1350°							
M 37	41,75%	41,07	3½	1,53	2,60	6,50%	gris-verdoso áspero
M 38	21,76%	191,81	4	1,63	2,24	10,10%	gris-amarillento áspero

Los materiales de estas muestras son moderadamente firmes a solo 1350°, es decir, a una temperatura bastante subida. La cochura de ladrillos se hace a 900 - 1000°C.

Las piezas como barras se deformaron a 1350°, curvándose. El material puede usarse como magrante si se libra del hierro y de la cal levigando ácido, pero con esta preparación y el transporte resultará caro.

Prácticamente este material no tendrá uso.

GRUPOS 12 Y 13:

Las curvas termo-diferenciales de las Muestras M 39, M 40 del Grupo 12, y M 41 del Grupo 13, están representadas juntas en DT 22, y trataremos por esto los dos grupos a la vez.

GRUPO 12: ABEJORRAL - PANTANILLO

M 39: Es una arcilla blanca, terrosa, desmoronable, con mucha sílice libre de tamaño silt.

M 40: Es una arcilla gris clara, laminada en capas delgadas, quebradizas. También en esta muestra es la participación de sílice libre tamaño fino bastante grande. Aspecto general: esquistoso, micáceo, pirofilita.

GRUPO 13: RIONEGRO

M 41: Arcilla gris pardusca clara. También aquí es la arenita clara la impureza dominante, pero su cantidad es menor que en las muestras del Grupo 12. Hidróxido de hierro está presente.

LAS CLASES DE ARCILLAS PRESENTES:

DT 22: M 39, M 40 y M 41, con sensibilidad 5%, de tamaño malla 230, presecado a 105°C.

Grupo	Muestra	Inicia	Culmina	Termina	Extensión grados	Amplitud 5% en mm	Clase de curva y forma
12	M 39	535	584	617	82	21	Exot. arcilla, simétrica, vigorosa, pero redondeada.
		950	976	991	41	3	Exot. arcilla, extensa, plana.
	M 40	535	585	594	59	5	Endot. arcilla, extensa, abierta, débil y aplanada.
		975	(1000?)	(?)	(?)	2	Exotérmica en su iniciación; puede tratarse de una filita.
13	M 41	519	580	600	81	10	Endot. Ppl. arcilla, abierta, con inflexión de sílice.
		950	985	1000	50	7	Exot. Ppl. arcilla, semi-aguda.

La sustancia arcillosa en las tres muestras es un caolín, pero en M 40 participa pirofilita en la composición.

En M 39 la relación sílice-alúmina es 2,88; en M 40 = 2,65; en M 41 = 1,96. La participación de hierro, cal y magnesio es pequeña; sin embargo, parece que M 40 contiene mucho fundente y que se encuentran en lo "no determinado", muy posiblemente álcalis.

LA PASTA PLASTICA:

	M 39	M 40	M 41
Agua de plasticidad	39,69%	23,78%	29,58%
Agua de contracción	9,18%	1,65%	10,67%
Agua de poros	31,51%	22,13%	18,94%
Largo extruído	11 cm	26,37 cm	51 cm
La pasta se hizo con material menor de malla	Nº 200	Nº 100	Nº 200
La contracción lineal en la secadura	4,30%	0,88%	8,55%

De esta lista se desprende que la arcilla de M 40 recibe muy poca agua y que su cantidad además es reducida. A pesar de todo es plástica.

La plasticidad de las arcillas con agua se debe:

- 1º A la carga negativa de las partículas de arcilla;
- 2º A la forma escamosa de las partículas de arcilla;
- 3º A la absorción de agua a las partículas de arcilla, y
- 4º A la tensión superficial del agua.

De los cuatro puntos citados, es el primero el motivo para el tercero. La red caolinítica es electrónicamente neutral y recibe su carga negativa de los iones (OH) adsorbidos desde el agua. Las arcillas micáceas tienen una red ionizable; la forma de sus partículas es plana y tienen gran tensión superficial. *La porosidad aparente de M 40* (que había necesitado menos agua de plasticidad en la confección de la pasta) confirma además que la pasta contiene mucho elemento no arcilloso, pero que con agua dan efectos plásticos y en la secadura dejan intersticios vacíos, poros.

Las masas secadas a 105° C mostraron las siguientes *porosidades aparentes*:

M 39	=	21,10%
M 40	=	35,35%
M 41	=	32,86%

LA COCHURA:

Grupo	Muestra	Porosidad aparente	Firmeza kg/cm ²	Peso esp. vol. °D	Peso aparente	Contracción lineal	Color	Tacto
900°C								
12	M 39	45,06	12,76	1½	1,37	2,48	+ 0,50	blanco rosado liso
	M 40	35,70	12,65	2	1,52	2,37	+ 0,76	blanco rojizo liso
13	M 41	38,75	115,26	2½	1,60	2,59	0,85	blanco cremoso liso
1100°C								
12	M 39	41,35	71,53	2	1,47	2,48	1,93	blanco rosado liso
	M 40	24,80	142,36	4	1,74	2,33	3,40	blanco rojizo liso
13	M 41	36,49	184,85	4	1,68	2,68	2,04	blanco cremoso liso
1350°								
12	M 39	21,12	566,90	8	1,86	2,40	8	blanco salmón poco áspero
	M 40	2,80	381,63	8	2,04	2,11	7,70	gris claro poco áspero
13	M 41	24,97	242,36	6½	1,93	2,56	6,70	blanco cremoso liso

900°: Todos los cuerpos de prueba eran blandos y solo M 41 muestra firmeza suficiente para artículos de alfarería, gres o ladrillo de construcción.

1100°: A esta temperatura las galletas son lisas, pero los cubos, que son más gruesos ($5 \times 5 \times 5$ cm), tienen leves grietas superficiales. Las M 40 y 41 han mejorado su firmeza; los colores son buenos y claros, solo la porosidad es aún algo subida. Convendría agregar fundentes, adiciones que bajen el punto de fusión como feldespatos y que al mismo tiempo mejore la calidad, así que se justifique el gasto por la temperatura. Así las tres muestras con adición de feldespatos en proporción adecuada —hasta unos 25%— darían gres cerámica.

1350°: A esta temperatura las galletas de M 39 y 40 no tenían grietas; las de M 41 grietas leves. De los cubos (5×5 cm) M 39 tenía leves grietas, pero M 40 y 41 grietas muy fuertes.

M 40, que aparentemente contiene algún fundente, bajó su porosidad a 2,8% y llegó con esto muy próximo al límite de temperatura aplicable. La diferencia entre peso específico y peso-volumen confirma lo mismo. La dureza y resistencias son buenas. El color gris sucio claro puede ser mejorado con el vidriado, usando colores cerámicos, óxidos metálicos, etc.

Uso: gres cerámico resistente, algo así como los jarrones de cerámicas bávaras.

Las muestras M 39 y M 41 tienen a esta temperatura aún una porosidad de 20 a 25% (porosidad comunicada). Los colores son buenos. Este material también puede ser usado como gres cerámico si se elimina el cuarzo libre y se agrega un 25% de feldespatos.

Lo más indicado para esta temperatura y temperaturas más subidas sería su uso como chamota.

Se exige para una chamota:

	Punto mínimo de fusión	Porosidad total	Peso específico efectivo	Conglutamiento		Resistencia compresión kg/cm ²
				Inicia	Termina	
NORMA:	CS-28-25					
	1630° - 1730°	15 - 35%	2,5 - 2,7	1200/1300	1300/1600	200 - 1000 (350)
Las Muestras:						
M 39	?	30,08	2,66	id.	?	566,90
M 41	?	26	2,64	id.	?	242,36

Hay margen para bajar la porosidad, para un mayor aglutinamiento, aumentando las temperaturas de cochura. Con ello la firmeza aumentará. M 39, con solo leves grietas superficiales a 1350°, dará evidentemente buenos resultados.

GRUPO 14: ROCAS VERDES DESCOMPUESTAS

M 42, Carretera Caldas / M 43, Prado - Heliconia / M 44, la Ceja - Medellín.

- M 42: El espécimen tiene color rosado con pecas blancas y negras; su consistencia es terrosa. La componente "cuarzo libre" es escaso. Hierro en forma de goethita, limonita presente.
- M 43: Espécimen terroso, color ocre, contiene algunas raicillas y bastante arenita feldespática y silícica. No hubo eferescencia con ácido, a pesar de que el análisis acusa mucho CaO. (Se probó en frío).
- M 44: El espécimen es terroso, color pardo claro y tiene en su componente "arenita", mucho cuarzo libre.

Como los análisis químicos no concuerdan con lo observado ópticamente, damos a continuación un extracto de algunos datos entregados por la química:

	Relación SiO ₂ /Al ₂ O ₃ según análisis	Fe ₂ O ₃	CaO	No determinado
M 42	2,22	3,31	0,60	0,06
M 43	1,41	3,27	7,94	6,22
M 44	1,29	9,6 ^a	0,92	11,79

Vea más detalles C/I —19—.

LA CLASE DE ARCILLA PRESENTE:

DT 23: Todas las tres muestras: sensibilidad, 5%; tamaño malla, 230; presecado, 105°C.

	Ini- cia	Cul- mina	Ter- mina	Extensión en grados	Amplitud 5% en mm	Clase de curva y su forma
M 42	534	590	650	116	11 mm	Endot. Ppl. arcilla; abierta; efect. SiO ₂ .
	910	950	987	77	6 mm	Exot. Ppl. arcilla; abierta.
M 43	50	125	150	100	3 mm	Endot. Inicial, insignificante.
	525	583	625	100	3 mm	Endot. Ppl. Insignificante.
	275	920	970	95	3 mm	Exot. Ppl. Insignificante.
M 44	63	125	275	212	6 mm	Endot. Inicial.
	287	324	350	63	15 mm	Endot. Gibbsita, vigorosa, relativamente.
	500	560	583	83	2 mm	Endot. Ppl. arcilla o diásporo.
	900	—	1000	100	1 mm	Exot. muy plana, dudosa.

- M 42 demuestra cierto grado de caolinización, cristales pequeños de cristalización deficiente, dentro de masas aún no caolinizadas.
- M 43 muy débil caolinización, semejante a iniciación de caolinización en micas.
- M 44 en lo esencial gibbsita, con poco material caolinizado, dominan impurezas.

LA PASTA:

La pasta se hizo con material menor malla 100 en las tres muestras. En esta forma fue concentrado el componente "sustancia arcillosa" en cierto grado dentro del material de la pasta, pero se conservó también buena parte de las impurezas.

En la confección de las pastas se usó:

	M 42	M 43	M 44	
Agua de plasticidad	35,20%	35,70%	42,21%	
Agua de contracción	9,27%	10,16%	2,96%	
Agua de poros	25,93%	25,54%	39,25%	
Largos extruídos en cm	7,70 cm	9,40 cm	?	Los trocitos eran menos de 3 cm
Contracción en la secadura (linear)	4,48%	3,45%	1,20%	

M 44 muestra los efectos típicos de la gibbsita (diásporo).

Las pruebas plásticas de M 42 y M 43 tampoco son satisfactorias, pero mejores.

LA COCHURA:

	Porosidad aparente	Firmeza kg/cm ²	Firmeza °D	Color	Tacto	Peso vol.	Peso espec. aparente	Contracción linear
1100°								
M 42	34,18%	15,96	2	rosado	destiñe	1,45	2,22	1,04%
M 43	43,69%	70,31	2	ladrillo claro	liso	1,51	2,69	3 %
M 44	—	—	1½	ladrillo claro	arenoso	—	—	—
1350°								
M 42	41,82%	105,53	3	casi blanco, pintas pardas	áspero	1,53	2,64	2,78%
M 43	—	—	—	—	—	—	—	—
M 44	—	—	8	pardo oscuro, color de hierro quemado	áspero y duro	—	—	—

Nota: La M 44 no se pudo echar al Kerosene a 1100° sin que se desmoronara; no se pudo tomar más que la dureza a esa temperatura.

Al ser llevada la muestra M 43 de 1100° a 1350° se fundió, dañando las muestras de M 44. Por estas razones no se pudieron tomar todas las medidas acostumbradas.

La *contracción linear* a 1350° se pudo apreciar, sin embargo, en M 44 y es del orden de 40%.

Las muestras 43 y 44 pueden ser quemadas a máximo 1100°, pero no dan ningún producto útil a tal temperatura.

M 42 tiene aún gran porosidad a 1350°; su diferencia entre peso volumen y peso específico es aún grande; tiene aún buen color y ya una moderada firmeza a la compresión; podría ensayarse su comportamiento a temperatura más subida, para lo cual conviene trato con aguas aciduladas para librar la muestra de Fe_2O_3 y CaO. También una serie de ensayos con adiciones de feldespato pueden dar buenos resultados, disminuyendo porosidad, aumentando firmeza, pero rebajando en algo las cualidades refractarias.

GRUPO 15: SONDAJES EN LA UNION

Se hicieron varios sondeos. De éstos llegó el

“Pozo N° 1” a una profundidad de 150’;

“Pozo N° 2” a una profundidad de 120’;

“Pozo N° 3” a una profundidad de 137’;

sin que ninguno de estos 3 barrenos hubiera llegado a roca firme.

Pozo N° 4 dio a las 58’ con roca firme.—Del testigo (corazón) se hicieron secciones delgadas, demostrando que se trata de una diorita con amplia participación de plagioclasas, esencialmente oligoclasas, menos cuarzo, y unas pocas ortoclasas nubadas. Además, había en pequeña cantidad biotitas y hornblendas parcialmente cloritizadas.

Las Muestras de “Pozo 1, 2, 3” son de detrito de barrenadura suelto.

Pozo N° 1 y Pozo N° 3 son macroscópicamente de color rojizo, microscópicamente amarillento; el detrito del Pozo N° 2 es más fresco y contiene aún elementos máficos. En Pozo N° 1 y Pozo N° 3 abundan componentes escamosos.

Pozo N° 1. Muestra M 45: El material escamoso es muy abundante en esta muestra. Este material se asemeja mucho al que habíamos identificado como diásporo con capas de sílice en los especímenes de La Unión (M 16 a M 21). La observación del detrito del Pozo N° 1, Muestra M 45, y de la sección delgada del Pozo N° 4, hacen muy probable que se trata de descomposición de plagioclasas. Las franjas de anortita se transformaron en gibbsita y sílice coloidal, emigrando el carbonato de calcio en su mayor parte. El ópalo se depositó en capas delgadas sobre las escamas restantes.

Bajo el microscopio se pueden ver en este detrito hojitas de feldespatos (albita?) que conserva aún su microtextura de listoncitos; además otras escamitas envueltas por ópalo, y diásporo en costras pardas-amarillentas.

Si continuamos examinando el detrito, veremos que M 46 contiene también abundante cantidad de escamas semejantes, habiendo cambiado únicamente el color. Macroscópicamente tienen ahora (a profundidad algo mayor) estas escamas un color rosado; bajo el microscopio se verá que son las mismas escamas amarillentas pero con un borde rojizo, hierro coloidal, que tampoco tenía salida y se precipitó nuevamente sobre los minerales. Las escamas aparecen generalmente en “librillos” de diferentes capas y con los bordes teñidos rojos. En M 47 y hasta M 52 se repite lo mismo, y siempre es la cantidad tan exageradamente grande, que no se puede admitir que se trata de biotitas alteradas, pues ellas son relativamente pocas en la roca firme y la sericitación es también escasa en la roca firme examinada. Por esto se sugiere la descomposición de plagioclasas como las explica Niggli.

Pozo N° 3 tiene en sus muestras la misma abundancia del material escamoso; solamente su color es más amarillento a pardo, hierro en menos cantidad y en forma de limonita.

Pozo N° 2 aumenta el componente transparente claro no escamoso, tiene además muchos componentes máficos y entre ellos también escamas de un color verde oliva, vistos bajo el microscopio. Biotitas están presentes. Se trata de una región menos meteorizada y de composición diferente.

LA CLASE DE ARCILLA PRESENTE:

En las siguientes discusiones de los gráficos termo-diferenciales DT 24, DT 25 y DT 26 de los Pozos I a III, se confrontan dos tipos de componentes. Uno en estos gráficos llamado “mica” y que es el mineral compuesto escamoso, y otro llamado “arcilla”, y que es menor de malla 230, con amplia determinación del componente escamoso. El Pozo I y el Pozo III tienen el componente escamoso, con muy poca participación de biotitas alteradas; en Pozo II la participación de biotitas alteradas es más importante.

LAS CURVAS TERMO - DIFERENCIALES:

Muestra	Profundidad (en pies)	Tipo de componente	Amplitud del efecto		OBSERVACIONES
			Endotérmico, aprox. entre 550 y 650° en mm	Exotérmico, aprox. entre 950 y 1000° en mm	
Pozo N° I					
DT 24					
M 47	25' a 30'	"mica"	10 mm	5 mm	Ambas curvas abiertas, redondeadas y extensas.
		"arcilla"	18 mm	10 mm		Ambas curvas abiertas, redondeadas y extensas, pero más vigorosas.
M 50	65' a 85'	"mica"	8 mm	5 mm	Ambas relativamente más abiertas, redondeadas, etc.
M 52	100' a 140'	"arcilla"	20 mm	8 mm	Más vigorosas.
		"mica"	6 mm	4 mm	Abiertas, redondeadas, etc.
		"arcilla"	20 mm	8 mm	Más vigorosas. Todas las curvas son simétricas.
Pozo N° II					
DT 25					
M 54	10' a 30'	"mica"	5 mm	2 mm	Ambos efectos extensos y débiles.
M 56	50' a 70'	"arcilla"	15 mm	7 mm	Algo más vigorosos.
		"mica"	2 mm	1 mm	Ambos efectos debilísimos.
		"arcilla"	8 mm	1 mm	El exot. especialmente débil para una "arcilla".
M 58	100' a 120'	"mica"	2 mm	1 mm	Ambos efectos debilísimos.
		"arcilla"	5 mm	2 mm	Ambos efectos extensos y débiles. Pozo II, menos meteorizado, menos caolinizado.
Pozo N° III					
DT 26					
M 60	30' a 55'	"mica"	8 mm	3 mm	Como en DT24 y DT 25, todas las curvas extensas, de poca amplitud, redondeadas, abiertas; y cada vez "mica" más débil que "arcilla".
		"arcilla"	13 mm	8 mm	
M 61	55' a 70'	"mica"	6 mm	2 mm	id. id.
M 64	100' a 137'	"arcilla"	15 mm	8 mm	id. id.
		"mica"	2 mm	2 mm	id. id.
		"arcilla"	15 mm	6 mm	id. id.

En DT 24 hemos antepuesto una curva termo-diferencial de una *biotita inalterada* de San Rafael. Se puede apreciar que biotita fresca no tiene efectos termo-diferenciales.

En DT 24 y DT 26 (Pozos I y III) decrecen los efectos termo-diferenciales para el componente que hemos llamado "mica" hacia la profundidad, mientras que estos efectos se mantienen y hasta aumentan para los componentes que hemos llamado "arcillas" hasta las 140' de profundidad.

En DT 25 (Pozo II, el menos meteorizado), disminuye el efecto endo-exotérmico en el componente "mica" y en el componente "arcilla" paulatinamente con mayor profundidad.

La cristalinidad del material arcilloso es mejor en Pozo I y Pozo III que en Pozo II. En el Pozo I y Pozo III hay más cantidad del material escamoso compuesto tanto dentro de lo que hemos llamado "mica" como dentro de lo que hemos llamado "arcilla" (DT 24 y DT 26). En el intervalo en que se produce el efecto endotérmico en caolines pueden reaccionar aquí tanto caolinita como también diásporo. Diásporo culmina en 560 y caolinita próximo a 600°. Vea al efecto también el componente "mica" en DT 25.

LA PASTA:

La pasta se hizo con material menor de malla 170; el componente escamoso compuesto estaba solamente parcialmente eliminado. La cantidad de material entregada de cada muestra era pequeña. Alcanzó para hacer algunas galletas, pero no para cubos y barritas.

Se ha necesitado mucha agua de plasticidad para la preparación de las pastas. El material del Pozo I requirió algo más de 50% (de peso) de agua de plasticidad, y el de los Pozos II y III algo menos de 50%.

De esta agua de plasticidad son aproximadamente 7% agua de contracción; todo lo demás se depositó en los intersticios de las impurezas.

Esta situación también se refleja en la secadura. Se puede ver que la contracción lineal en la secadura ni alcanza unos 3% (excepcionalmente se aproxima alguna vez a 4%). Todo esto demuestra el bajo porcentaje de sustancia arcillosa presente en las muestras. Para pruebas de plasticidad con la máquina de extrusión no alcanzó el material. (Pasando por la máquina, se pierde siempre cierta cantidad por contacto con aceite).

LA COCHURA:

1200°	Profundidad	Porosidad aparente	Contracción lineal	°D	Tacto	Color
Pozo I	total 150'					
	parte superior	de 49,74 a 48,30%	de 4,80 a 4,07%	2	arenoso, destiñe	rosado, casi blanco
	parte central	de 48,30 a 52,94%	4,07%	3 a 4	arenoso, destiñe	rosado, casi blanco
	parte inferior	de 52,94 a 46,53%	de 4,07 a 5,02%	2	arenoso, destiñe	rosado carmesí
Pozo II	total 120'	de 48,06 a 36,90%	de 4,39 a 6,13%	5 a 7	aspereza fina	gris blanco a gris claro
Pozo III	total 137'					
	parte superior	de 45,98 a 48,83%	de 4,87 a 5,78%	3	arenoso, destiñe	rosado
	parte inferior	de 48,83 a 47 %	de 5,78 a 5,69%	4	arenoso, destiñe	rosado

Pozo II da un producto de aspereza fina, duro y firme a los 1200°; la dureza y la contracción aumentan progresivamente hacia la profundidad en la cual fue tomada la muestra; la porosidad disminuye en la misma dirección. Aparentemente hay más sustancia arcillosa a 120' de profundidad que a 30'.

Pozo I y Pozo III: La cantidad del material compuesto escamoso es grande y llega a su máximo en las partes centrales. Más de 50%. Esto impedirá una preparación económica del material si no se le encuentra una aplicación al material escamoso también. Posiblemente como material refractario de alta temperatura. Ensayos al respecto faltan. La influencia de ese componente la hemos visto ya en M 16 y M 17 hasta 1350° y 1400°.

GRUPO 16: SANTA ELENA

M 65 a M 70.

Los especímenes M 65 a M 70:

De M 65 y M 66 se hicieron dos exámenes de granulometría: uno, el que está copiado en C/I —8— y que aquí para ambas muestras recibirá la designación "A", y otro que en ambas muestras se designará con "B" y que es un examen de granulometría tamizando y lavando simultáneamente.

M 65: Clases de tamaños.

Forma:	1 mm	½ mm	¼ mm	0,125 mm	0,09 mm	0,02 mm	menor 0,02 mm	Total
"A"	0 %	0,08%	7,92%	9,90%	27,11%	51,87%	3,12%	100%
"B"	0,78%	0,99%	2,54%	2,77%	3,16%	3,46%	86,30%	100%

<i>M 66:</i>								
Forma:	1 mm	½ mm	¼ mm	0,125 mm	0,09 mm	0,02 mm	menor 0,02 mm	Total
"A"	—	0,26%	16,70%	27,77%	34,58%	20,37%	0,52%	100%
"B"	0,23%	1,50%	5,30%	11,24%	17,16%	10,51%	54,06%	100%

Las pastas se hicieron con lo menor de malla 100, es decir, menos las primeras cuatro clases de tamaño. La suma de las primeras 4 clases es en A por 10% mayor que en B para la M 65, y en la M 66 por 16¼% mayor. Las dos diferencias se deben a aglomeraciones de componentes finos en una masa de arcilla.

En M 65 son 13,70% en total menores de malla 270 (0,02 mm) lo más fino que podemos separar, como lo demuestra Forma "B". Tenemos pues la posibilidad de examinar que está en los componentes gruesos (mayor de malla 270) como impureza; y que en lo menor de 0,02 mm.

Mayor de 0,02 mm tiene la mayor parte sílice libre. Los 13,7% se pueden repartir en 10% sílice libre y 3,7% elementos máficos y poco de feldespato caolinizado o fuertemente meteorizado.

Lo menor de malla 270 contiene también sílice fina, fragmentos de biotitas meteorizados, unas hojitas finas irisantes que podrían ser talco, y pequeños cristallitos máficos de esfena, espinelas de hierro, magnetita, costrillas fragmentadas, arriñonadas casi negras de calvas pardas, además pigmentos rojos y amarillentos de óxidos e hidróxidos de hierro.

El análisis químico demuestra que la relación de sílice a alúmina es 1,5 y que hay 7,52% de Fe_2O_3 , y 3,20% de CaO.

En M 66. Es el total de impurezas menores de 0,02 mm = 54,06% y por consiguiente lo mayor = 45,94%.

En lo mayor de malla 270 abunda el componente arenita, esencialmente sílice libre, varios elementos máficos y feldespatos alterados fuertemente, solo en proporción mayor que en M 65; y lo mismo se puede decir de *lo menor de malla 270*, que son en lo esencial las mismas impurezas, pero que su proporción relativa es algo menor que en M 65.

El análisis químico demuestra una relación sílice-alúmina de 1,8; acusa 11,12% de Fe_2O_3 y 4,38% de CaO; es decir, sílice, hierro y cal más que en M 65, y además 4,38% "no determinado", muy posible álcalis.

M 67 y M 69 son ambas muestras secadas al aire libre, pero su arcilla es la misma arcilla plástica de M 65 y M 66. Su color es gris amarillento porque están secas. Las impurezas de estos dos especímenes son esencialmente claras; las máficas faltan casi por completo. Hay más impurezas relativamente grandes, es decir, más de aquellas que se eliminan en las primeras 4 clases que no entran en la pasta.

M 68: su color y su plasticidad natural es semejante a M 65. Los componentes máficos son más escasos que en M 65, pero están presentes aunque fuertemente meteorizados. También aquí se separan por tamizadura relativamente muchas impurezas en las primeras cuatro clases que no entran en la pasta.

M 70: tiene relativamente menos impurezas gruesas que se eliminan en la tamizadura para la pasta, y las máficas son frecuentes, especialmente las meteorizadas.

LA CLASE DE ARCILLA PRESENTE:

DT 27. Las seis muestras de Santa Elena; sensibilidad 5%; malla 270; presecado 105°.

LAS CURVAS TERMO - DIFERENCIALES

	Ini- cia	Cul- mina	Ter- mina	Extensión grados	Amplitud 5% en mm	Clase de curva y forma
DT 27						
M 65	293	306	329	36	2 mm	Endot. limonita.
	529	589	615	86	16 mm	Endot. Ppl. arcilla, asimétrica.
	907	950	981	74	3,5 mm	Exot. arcilla, con inflexión aprox. 900° abierta.
M 66	110	310	329	219	5 mm	Endot. Inicial + limonita.
	529	589	615	86	16 mm	Endot. Ppl. arcilla, asimétrica.
	907	964	981	74	3,5 mm	Exot. Ppl. arcilla, con inflex. a 900°.
M 67	525	589	641	116	25 mm	Endot. Ppl. arcilla, simétrica, muy abierta.
	907	938	981	74	10 mm	Exot. Ppl. arcilla, semi-aguda.
M 68	530	589	620	90	16 mm	Endot. Ppl. arcilla, asimétrica.
	900	950	990	90	2,5 mm	Exot. Ppl. arcilla, débil. Inflexión aprox. 900°.
M 69	280	—	320	40	1 mm	Endot. limonita, débil.
	523	579	600	77	13 mm	Endot. Ppl. arcilla, simétrica, abierta, redondeada.
	940	957	980	40	2,5 mm	Exot. Ppl. débil. Inflexión aprox. 900°.
M 70	292	306	327	35	2 mm	Endot. limonita.
	523	579	600	77	10 mm	Endot. Ppl. arcilla, abierta.
	650	700	750	100	4 mm	Endot. 2ª de alta temp.
	890	950	970	80	2,5 mm	Exot. Ppl. arcilla. Inflexión aprox 900°.

El aspecto general de las curvas es el de un caolín; puede tratarse de caolinita mal cristalizada o fracturada, como sucede en redepositaciones, o de una halloysita. La presencia de limonita en mayor escala induce que ha tenido lugar una redepositación de sedimentos. Pero con caolinita mal cristalizada no lo podemos explicar todo. Ciertos aspectos de las curvas termo-diferenciales confirman que existe una mezcla de arcillas en este yacimiento —es decir, redepositación—.

En *M 70* tenemos un segundo efecto endotérmico de alta temperatura que culmina en 700°C, y que es propio de montmorillonita. Además, el efecto exotérmico final está precedido por una pequeña inflexión endotérmica propia tanto de las illitas como de las montmorillonitas. El efecto endotérmico inicial es por lo general para las montmorillonitas un efecto muy vigoroso; aquí no lo es. Es difícil decidir si aquí se trata de una mezcla caolinita-illita, o de una mezcla caolinita-montmorillonita. Debemos recurrir al estudio de otras pruebas hechas para tomar una decisión.

De las muestras M 65 y M 66 tenemos aún análisis químicos. M 65 tiene 7,52% Fe_2O_3 y que M 66 11,12% de Fe_2O_3 .

Además, M 65 pierde en su espécimen 8,24% y M 66 = 9,99% de sustancia en la cochura entre 105 a 900°C.

Si el Fe_2O_3 del análisis estuviera contenido completamente en forma de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ en los especímenes, hubiera

2,54% de H_2O en M 65, y

3,76% de H_2O en M 66, combinados al hierro.

En verdad, no todo es limonita, pero también así, si rebajamos por completo los 2,54% y respectivamente los 3,76%, restarían para el agua de cristalización de la sustancia arcillosa contenida todavía, en M 65 = 4,98%, y
en M 66 = 7,36%.

Si toda la muestra fuera illita pura, sin impurezas, = 100% de illita, ella no podría contener más que unos 3,6% de peso de agua. Pero los especímenes no son 100% de arcilla; su contenido en sustancia arcillosa es entre 30 y 35%. De una mezcla de caolinita y montmorillonita pueden salir fácilmente los porcentajes de agua restantes para la sustancia arcillosa. (Salida entre 105 y 900°).

Podemos ver, además, en DT 27, que M 65 y M 66 tienen una pequeña culminación exotérmica a 870°C (no mencionada expresamente en la lista, pág. 117). Esta puede ser interpretada como presencia de nontronita, produciéndose este efecto térmico por la descomposición de la red ya deshidratada, recristalizando el hierro de la posición octaedral, formándose hematita o magnetita. Montmorillonita en forma de nontronita explicaría también el alto contenido de hierro de los especímenes.

Se trata de una arcilla mixta caolinita con montmorillonita-nontronita.

LA PASTA:

De las seis muestras en referencia, se hizo con material menor malla 100, salvo M 68, que se hizo con material menor malla 170.

Los valores de los largos extruídos, los para los índices de Rieke y las contracciones lineares en la secadura, acusan valores demasiado altos. Plasticidad en exceso.

RECOPIACION DE ALGUNOS DATOS IMPORTANTES DE LA COCHURA

1° para la temperatura de 900°

	Contracción lineal	Porosidad aparente	Firmeza kg/cm ²	^o D	Tacto	Color	Peso esp. apar.	Peso vol.
900°								
M 65	0,64%	41,37%	100,77	3	liso	rosado claro	2,68	1,55
M 66	0,60%	43,13%	90,14	3	liso	rosado claro	2,61	1,48
M 67	3,70%	47,48%	44,93	3	liso	crema	2,61	1,57
M 68	2,50%	45,43%	78,96	7	liso	salmón	2,58	1,38
M 69	1,19%	48,35%	67,97	5	liso	rosado claro	2,87	1,34
M 70	2,29%	45,10%	57,89	5	liso	rosado pardo	2,76	1,50
1200°								
M 65	5,72%	31,68%	261,31	5	aspereza fina	crema	2,71	1,86
M 66	6,68%	28,25%	146,36	5½	aspereza fina	crema	2,56	1,34
M 67	8,15%	18,45%	181,75	7	liso	crema claro	2,73	--
M 68	9,10%	(32,03 a 1100°)	61,50	8	aspereza fina	crema amarillenta	2,68	1,83
M 69	8,36%	31,25%	156,93	8	aspereza fina	crema amarillenta	2,63	1,79
M 70	6 %	37,70%	211,28	7	liso	crema pardo	2,73	1,70

Quemadas las muestras a 900°C, estas muestran poca firmeza; las condiciones mejoran a 1200°C. Como la porosidad todavía es grande y las diferencias entre peso específico y peso volumen también, puede suponerse que aglomerando más a mayor temperatura mejorarían las condiciones de firmeza.

Gran dureza superficial significa vitrificación superficial, que si se produce a muy baja temperatura puede causar agrietamientos. En M 65 y M 66 la dureza superficial a 1200° es aún baja; la porosidad al mismo tiempo alta. El alto contenido de hierro y posiblemente como constituyente de la arcilla misma (nontronita) puede causar una vitrificación rápida y completa (pero también fundición) a temperaturas poco más altas. También el gran contenido de cal favorece la vitrificación total. Por consiguiente, se podrían hacer ladrillos vitrificados, cuidando que su enfriamiento, después de cocidos, sea lento. Se podría producir un producto que no absorbe agua, que es duro (sonoro) y que se emplea con mortero hidráulico en puentes, cimientos, revestimiento de fosas de aguas servidas, etc., etc.

A temperatura más baja, parece que este material no da productos lo suficientemente resistentes sin adiciones. Pero agregando feldespato a M 67 a M 70, estas arcillas grasas, que deben contener álcalis (montmorillonitas) pueden servir como gres cerámica cociendo de CS 9 (1280°C) en adelante. Cal debiera ser eliminada. Si no se puede sacar la cal, quedaría siempre el uso como loza calcárea a la cual se le suele agregar de 5 a 20% de creta y casi iguales partes de cuarzo (más o menos 40%), y de hidrosilicato de aluminio (40 a 45%).

Los grupos 17, 18, 19 y 20 están representados con las M 72, M 73, M 74 y M 75 en la hoja de gráficos termo-diferenciales DT 28; y los trataremos por esto juntamente.

GRUPO 17: SONSON

El espécimen M 72:

El aspecto general del espécimen es el de una caolinita. Su color es blanco, su consistencia terrosa, ambas cosas en estado seco. Muestras húmedas son gris-amarillentas. Los especímenes tienen segregaciones en capitas de limonita parda.

Bajo el microscopio se nota en todas las clases separadas por tamizadura una fuerte participación de sílice. La curva termo-diferencial es la de una caolinita que tiene cuarzo finamente mez-

GRUPO 18: MUNICIPIO DE GIRARDOTA

La muestra M 73 es de la Ladrillería "San Diego", Municipio Girardota.

El color del espécimen es gris verdoso con manchas rojizas a amarillentas. La participación de arcilla es pequeña. Entre las impurezas dominan los componentes claros transparentes, cuarzo y feldespatos (albita?). El contenido de hierro es importante. Las impurezas son subangulares. El aspecto general es el de una cuarzo-diorita descompuesta.

GRUPO 19: TARSO

Tarso, Andesita descompuesta.

El espécimen M 74 es de color rojo y contiene mucho hierro, poco de rutilo y carbonatos. Feldespatos alterados son frecuentes.

GRUPO 20: MUNICIPIO ARCADIA

Municipio Arcadia, carretera Támesis-Palermo.

El espécimen M 75 contiene vidrio fragmentado, feldespato, mineral de hierro y pigmento de hierro.

LA CLASE DE ARCILLA PRESENTE:

DT 28, Grupos 17, 18, 19 y 20 / M 72, M 73, M 74 / Muestras presecadas 105°; tamaños menor malla 270; sensibilidad 5%.

CURVAS TERMO - DIFERENCIALES

Grupo	Mst.	Ini- cia	Cul- mina	Ter- mina	Extensión grados	Amplitud 5% en mm	Clase de curva y forma
DT 28							
17	M 72	500	590	620	120	17 mm	Endot. Ppl. arcilla; abierta, interfiere efecto exot. del cuarzo.
		962	990	1010	48	16 mm	Exot. Ppl. arcilla; aguda, bien marcada.
18	M 73	50	110	150	100	2 mm	Endot. inicial.
		500	576	615	115	12 mm	Endot. Ppl. arcilla; simétrica, muy abierta.
		870	917	950	80	2 mm	Exot. Ppl. arcilla; muy plana, débil, extensa.
19	M 74	65	117	180	115	6 mm	Endot. inicial; algo más pronunciada.
		517	583	612	95	15 mm	Endot. Ppl. arcilla; asimétrica, abierta.
		900	947	982	82	6 mm	Exot. Ppl. arcilla; redondeada.
20	M 75	65	110	171	106	5 mm	Endot. Inicial.
		500	576	600	100	12 mm	Endot. Ppl. arcilla; abierta, extensa.
		869	910	960	91	4 mm	Exot. Ppl. arcilla; muy plana, débil, extensa.

M 72: Sonsón: La cristalinidad es buena, los cristales de arcilla son grandes; el cuarzo admixto es de granulación fina. Caolinita + algo de halloysita.

M 73: Girardota: Caolinita mal cristalizada y de cristales pequeños + illita; presencia de feldespatos no caolinizados.

M 74: Bolombolo: Caolinita de cristalinidad moderadamente buena dentro de mucha impureza.

M 75: Arcadia: Caolinita de mala cristalinidad y de cristales pequeños + illita.

LA PASTA:

M 72: *La pasta se hizo con material menor de malla 100.—La muestra tenía mucho cuarzo de tamaño silt; éste quedó dentro de la pasta. La cantidad de agua de plasticidad era relativamente grande y solamente aproximadamente 1/4 de ella formó el agua de contracción. La extensión dio un largo de 19 cm; esto se debe en parte al cuarzo fino, pues la arcilla no es muy abundante, máximo 30%. Conforme a esto, la contracción en la secadura era pequeña y el volumen de poros en la pasta secada, grande.*

M 73; M 74; M 75: *La pasta se hizo en M 73 y M 74 con material menor malla 270, y en M 75 con material menor malla 100.*

Los largos extruídos eran en M 73 = 56 cm; en M 74 = 2 a 3 cm; en M 75 = 11 cm. De esto se desprende que las impurezas no plásticas de M 73 fueron eliminadas con malla 270; mientras que en M 74 no; y en M 75 en poca cantidad, pero estas últimas usando malla 100.

LA COCHURA:

Recopilación de algunos datos a 900° y a 1200° de cochura.

		Porosidad aparente	Firmeza kg/cm ²	°D	Color	Tacto	Peso vol.	Peso esp. aparente	Contracción lineal
900°									
Gr. 17	M 72:	48,18	?	3	rosado claro	liso	1,82	2,60	2,81
Gr. 18	M 73:	38,89	131,06	3	café claro	liso	1,65	2,60	1,46
Gr. 19	M 74:	44,52	161,06	3	ladrillo	liso	1,54	2,77	4,84
Gr. 20	M 75:	39,21	200,10	3	ladrillo	liso	1,63	2,68	2,40
1200°									
Gr. 17	M 72:	36,54	?	6½	blanco	liso	1,70	2,68	8,95
Gr. 18	M 73:	9,96	194,18	7	vermellón	liso	2,15	2,38	8,38
Gr. 19	M 74:	19,40	525,79	5	ladrillo	liso	2,27	2,82	12,75
Gr. 20	M 75:	29,39	270,86	5	ladrillo	levemente áspero	1,94	2,71	6,86

NOTAS

M 72: No tiene pruebas de compresión. Los cubos se reventaron en el horno poco antes de llegar a 600°. Con las barritas sucedió lo mismo, mientras que las galletas, que son más delgadas y de confección diferente, no sufrieron daño. Según Salmang, comienza la vitrificación en ladrillos ricos en fundentes a 525°; la conversión del cuarzo se produce alrededor de 573°. Ambos efectos se producen antes de llegar a 600° y ambos con aumento de volumen. Este mayor volumen podría ser absorbido por la porosidad, pero la porosidad subió entre 350 y 600° —y hasta 800° también—. Esto lo prueban los ensayos.

En el mismo intervalo, antes de llegar a 600°, se produce también la deshidratación en el Aparato Termo-Diferencial. En la Cochura de las pruebas el intervalo de deshidratación llegó en M 72 hasta 800°. La deshidratación mantuvo los poros abiertos y hasta aumentó su volumen. Así en las galletas.

En los cuerpos de prueba más gruesos, ya semejante a trozos de ladrillo, el agua no estaba tan bien distribuída en toda la masa por los defectos de confección de estos cuerpos. (Vea pág. 61 de este informe). Los caminos a la superficie son más largos, el calentamiento interior y exterior es disperejo, especialmente por mala distribución, mala homogenización de la pasta. Las capas exteriores ya pueden comenzar a vitrificarse haciendo fundentes, mientras que en el interior aún se producen tensiones por expansiones de volumen (vidrio y cuarzo) y por la presión de vapor del agua de hidroxilo que sale hasta los 800° en este caso.

Los cuerpos de prueba dieron en Kerosene colores violáceos y podría culparse a la halloysita de estos efectos (A/I —8— (x_g) Grim), pero la temperatura de 600° parece muy baja para este caso.

Debemos suponer que homogenizando bien el material en malaxadoras, trabajando al vacío y con prensas mecánicas poderosas no sucederá en la práctica lo que ocurrió en el laboratorio.

M 73: No estaba agrietada y tampoco destiñó a 900°; y a los 1200° estaba firme.

M 74: Mostraba fuertes agrietamientos en sus galletas a 900 y 1200°.

M 75: Mostraba fuertes agrietamientos en sus galletas a 900 y 1200°.

Uso: Por los sucesos en la cochura, es difícil indicar algún uso para el material de M 72. La contracción de la galleta es moderada, la porosidad aún alta, la diferencia entre peso específico y de volumen también es grande aún. Podría suponerse que subsanando la dificultad en la cochura como indicado, que podría servir el material como refractario a base de sílice. Posiblemente chamota.

Pero como no se conoce análisis químico, es difícil expresarse sobre el caso.

M 73: Con una porosidad aparente de 9,96, y una total de 14%, este material está a 1200° no muy distante de su punto de vitrificación total, pero su resistencia es a esa temperatura apenas 200 kg/cm².

900°: *M 73, M 74, M 75*: tienen resistencia a la rotura moderada, buen color para ladrillo y su porosidad hace de este material un buen ladrillo de construcción para muros interiores; aísla, y es liviano a la vez.

M 74: tiene buena resistencia a la rotura a 1200°, pero las galletas estaban fuertemente agrietadas a 900° y 1200°. Un análisis químico no existe, pero se puede ver que la muestra tiene mucho hierro y que tiene carbonato. Si se quiere seguir adelante sin sacar el hierro y la cal, alentado por la buena firmeza obtenida, se pueden aun aumentar estos fundentes agregando óxido de hierro y tiza para la fundición mejor. El agrietamiento se debió seguramente al carbonato. Por consiguiente, debe procederse a calentar por largo tiempo a temperatura baja para sacar el CO₂ antes de que empiece la vitrificación. Igualmente, habiéndose conseguido finalmente vitrificación completa o casi completa, debe enfriarse igualmente lentamente. Se podría intentar así producir ladrillos vitrificados; pero también se puede sacar el hierro y la cal levigando ácido y se pueden probar adiciones de feldespato para producir loza.

GRUPOS 21 Y 22: LIBORINA Y MESOPOTAMIA

Muestras: *M 76 y M 77*.

Los especímenes:

- Gr. 21/*M 76*: El espécimen es laminado, de color gris-amarillento con manchas color naranja. Contiene piritas, hematitas y otros minerales de hierro, y clorita. Las impurezas principales son cuarzo y feldespato.
- Gr. 22/*M 77*: El espécimen contiene mucho cuarzo y otros minerales transparentes, además clorita y grafito opaco. El espécimen es estratificado, aparenta ser una filita descompuesta. En estado seco se siente arenoso y es entonces desmoronable.

LAS CLASES DE ARCILLA PRESENTES:

Curvas termo-diferenciales; sensibilidad, 5%; tamaños menor malla 270; presecado a 105°C.

	Ini- cia	Cul- mina	Ter- mina	Extensión grados	Amplitud 5% en mm	Clase de curva y forma
DT 29:						
Gr. 21/M 76	300	—	540	240	3 mm	Exot. impurezas.
	540	590	630	90	8 mm	Endot. Ppl. arcilla; simétrica, abierta.
	—	900	—	—	—	Leve inflexión.
	900	980	1000	100	1 mm	Exot. Ppl. arcilla; plana, debilísima.
Gr. 22/M 77	350	—	540	190	2 mm	Exot. impurezas.
	540	590	630	90	19 mm	Endot. Ppl. arcilla; simétrica, abierta,
	—	—	—	—	—	semi-aguda.
	970	1000	1030	60	12 mm	Exot. Ppl. arcilla; simétrica y aguda.
En 76 se trata de una caolinita de cristalinidad deficiente.						
En 77 de una caolinita bien cristalizada, de cristales grandes.						

LA PASTA PLASTICA:

En ambos casos se hizo la pasta con material menor malla 270.

M 76 necesitó 25,67% de *agua de plasticidad*, mientras que M 77 necesitó 40,28%.

La relación de agua de contracción a agua de plasticidad era

$$\begin{aligned} &\text{en M 76} = 1/3 \\ &\text{y en M 77} = 1/4 \end{aligned}$$

La relación de agua de poros a agua de plasticidad era

$$\begin{aligned} &\text{en M 76} = 2/3 \\ &\text{y en M 77} = 3/4 \end{aligned}$$

Los largos de extracción eran

$$\begin{aligned} &\text{en M 76} = 19 \text{ cm} \\ &\text{y en M 77} = 12 \text{ cm} \end{aligned}$$

La contracción linear en la *secadura* era

$$\begin{aligned} &\text{en M 76} = 5,72 \\ &\text{y en M 77} = 5,09 \end{aligned}$$

El volumen de intersticios entre las impurezas eran en M 77 más o menos el doble de M 76. Esta diferencia en el volumen de vacíos no se debe solamente a la cantidad de impurezas sino también a su forma. Colores de interferencia concéntricos en los granos de cuarzo de M 77 prueban que éstos son gruesos; en M 76

las formas son más planas. M 77 tiene por esto desde un principio una predisposición a mayor porosidad y menor firmeza por debilitación de la coherencia.

LA COCHURA:

Recopilación de algunos datos tomados a 900 y a 1200°C.

	Porosidad aparente	Firmeza kg/cm ² °D	Color	Tacto	Peso vol. aparente	Peso esp. aparente	Contracción lineal
900°C							
Gr. 21/M 76	36 %	54,05	2½ ladrillo claro	liso	1.78	2.65	+ 0,20%
M 77	44,96%	22,09	2½ blanco	finamente áspero	1.33	2.43	+ 0,01%
1200°C							
Gr. 21/M 76	9,76%	428,88	5 pardo	liso	2,27	2,52	8,76%
M 77	41,46%	78,64	4 blanco	liso	1,57	2,53	3,78%

A 900° había expansión en vez de contracción lineal, debido a la sílice libre finamente repartida. El mayor aumento lineal era a 800° con + 0,46 en M 76 y + 0,02% en M 77. También aquí se manifiesta el crecimiento más en M 76 con menor volumen de poros, que en M 77 con mayor volumen de poros, donde parte del crecimiento de las partículas pudo ser absorbida por los poros.

La mayor firmeza de M 76 a 1200° se produce por la contracción, debido al contenido de hierro que actúa como fundente. A esa temperatura M 76 ya está próxima al límite de contracción, mientras que M 77 aún tiene una gran porosidad y poca firmeza; y baja dureza superficial. A 1200° su dureza superficial es solamente 4; es decir, podemos llevar sin peligro a M 77 a temperaturas más altas, así que aglomere y forme un producto duro. Es de suponer que en M 77 tenemos un buen material refractario. Sin análisis es difícil decir más.

GRUPO 23: BETANIA

Los especímenes M 79 y M 80:

M 79: El espécimen es una arcilla blanda de color gris con manchas anaranjadas. Contiene impurezas claras, generalmente no transparentes, subangulares, restos de feldespatos, cuarzo secundario, calcedonia botroidal. El pigmento de los elementos opacos es limonita. *Betania, Mina Vieja.*

M 80: También este espécimen es una arcilla blanda. Las impurezas cristalinas son subangulares, claras, pero rara vez transparentes. Pigmentos pardo amarillos y alguna vez verdosos. Elementos oscuros son raros, salvo trozos grandes angulares a subangulares de chert negro.

LA CLASE DE ARCILLA PRESENTE:

CURVAS TERMO - DIFERENCIALES

	Ini- cia	Cul- mina	Ter- mina	Extensión grados	Amplitud 5% en mm	Clase de curva y forma
DT 30						
Gr. 23/M 79	50	—	200	150	1 mm	Endotérmica inicial; débil, doblete.
	521	574	600	79	8 mm	Endot. Ppl. (se inicia y culmina temprano); simétrica, abierta.
	—	610	—	—	—	Una débil inflexión.
	750	—	850	100	1 mm	Endot. 2ª; débil.
	923	945	968	45	2 mm	Exot. Ppl. (con débil inflexión inicial).
M 80	50	—	200	150	3 mm	Endot. inicial; débil, doblete.
	250	—	490	140	2 mm	Exot. impurezas.
	490	563	600	110	6 mm	Endot. Ppl. (inicia y culmina temprano); simétrica, abierta.
	—	610	—	—	—	Débil inflexión.
	750	—	850	100	2 mm	Endot. 2ª, débil.
	850	900	1000	150	2 mm	Exot. Ppl. (con pequeña inflexión inicial).

Se trata de una arcilla mixta. Illita y montmorillonita; la cristalinidad de ambas es baja. M 79 tiene más illita; M 80 más montmorillonita. El componente montmorillonita es cálcico.

La pasta plástica:

Ambas arcillas son ampliamente plásticas. El largo de extrusión de M 80 es 112 cm y el de M 79 = 66 cm.

M 79 necesitó 28,56% de agua de plasticidad, de la cual correspondieron 13,75% a agua de contracción y 14,81% a agua de poros.

M 80 necesitó 38,03% de agua de plasticidad, y de ésta correspondió 24,57% a agua de contracción, mientras que 13,46 eran agua de poros.

La disponibilidad para la futura porosidad es en ambos casos casi igual. En cambio, es la contracción linear en la secadura muy diferente: en M 80 = 13,24% y en M 79 = 7,78%.

LA COCHURA:

Recopilación de algunos datos correspondientes a 900° y a 1200°.

	Porosidad aparente	Firmeza kg/cm ²	°D	Color	Tacto	Peso vol.	Peso esp. aparente	Contracción lineal
900°								
Gr. 23/M 79	35,54%	165,78	5	ladrillo claro	liso	1,71	2,64	0,13%
M 80	35,20%	129,03	4	ladrillo claro	liso	1,73	2,66	1,16%
1200°								
Gr. 23/M 79	26,24%	279,24	8	pardo-rojizo	áspero	1,92	2,66	4,44%
M 80	3,04%	315,65	6	rojo indio	liso	2,09	2,14	6,55%

A 1200° M 80: Un cubo sufrió fuertes agrietamientos, las galletas estaban igualmente agrietadas en forma más leve. La porosidad *total* es aún 15,7 y el peso específico *verdadero* 2,48. El peso específico bajo se debe a la formación de vidrio.

M 79: Las muestras demuestran primeramente un crecimiento por sílice libre repartida, especialmente en M 79 a 600°. Por lo general son los valores de M 79 a 1200° mejores que los de M 80, salvo la resistencia a la compresión.

El mejor intervalo de temperatura para este material parece ser el entre

900 - 1000° para ladrillos y tejas. Trabajando con prensas y con galleteras al vacío, mejorarán los valores de firmeza mucho. A esas temperaturas los colores son buenos y el peso volumen bajo. Sin adición alguna servible como ladrillo, muros interiores por su porosidad.

GRUPO 24: ANDES

Los especímenes M 81 y M 82:

M 81: *Andes = Tejar del Municipio, Barrio San Pedro.*

El espécimen es una arcilla gris verdosa con costras pardo-rojizas intercaladas. Aparte del pigmento de hidróxido de hierro hay impurezas transparentes cristalinas a translúcidas, esencialmente sílice.

M 82: *Andes = Aereouerto (Adobe).*

Los componentes no-arcillosos son semejantes a los en M 81, pero contiene además guijarros de esquistos no cuarzosos.

LAS ARCILLAS PRESENTES:

DT 31: *Tamaño menor malla 270; sensibilidad 5%; presecado a 105°C.*

CURVAS TERMO - DIFERENCIALES

	Ini- cia	Cul- mina	Ter- mina	Extensión grados	Amplitud 5% en mm	Clase de curva y forma
M 81	—	130	—	—	1 mm	Inflexión endotérmica.
	—	310	—	—	1 mm	Endot. limonita.
	350	—	550	200	4 mm	Exot. impurezas.
	550	580	600	50	6 mm	Endot. Ppl. arcilla; débil, efecto de SiO ₂ .
	900	957	990	90	4 mm	Exot. Ppl. arcilla; débil.
M 82	100	—	170	70	2 mm	Endot. Inicial.
	—	310	—	—	—	Inflexión.
	500	570	594	94	9 mm	Endot. Ppl. arcilla.
	850	920	1000	150	1 mm	Exot. Ppl. de alta temperatura, muy plana, e inicia muy temprano.

La arcilla presente es una arcilla mixta, illita + halloysita.

La pasta plástica: M 81 con material menor malla 100, y M 82 menor malla 170. Los largos extruídos eran excesivamente largos: M 81 = 87 cm y M 82 = 104 cm. La contracción *en la secadura* era para M 81 = 11% y para M 82 = 11,60%, es decir, muy grandes.

LA COCHURA: A 900° Y A 1200°.

	Porosidad aparente	Firmeza kg/cm ²	Firmeza °D	Color	Tacto	Peso vol.	Peso esp. aparente	Contracción lineal
900°								
M 81	38,69%	176,63	4	ladrillo	liso	1,66	2,72	1,34%
M 82	36,35%	151,76	4	ladrillo oscuro	liso	1,71	2,68	1,33%
1200°								
M 81	20,89%	283,28	6	pardo rojizo	algo áspero	2,08	2,64	7,38%
M 82	7,39%	268,30	7	chocolate	algo áspero	2,34	2,42	8,40%

Nota: A 900° se reventó una galleta entre 800 y 900° en la M 81, y se trizó un cubo de esa misma pasta

En M 82 se agrietaron los cubos.

A 1200° se trizó un cubo de M 81, y los cubos de la 82 se agrietaron.

M 82 está a 1200° próximo al límite de temperatura a que puede quemarse.

900° - 1000° son las temperaturas más favorables para M 81 y M 82.

Uso: Ladrillos de construcción.

GRUPOS 25 Y 26: MUNICIPIOS DE ANDES Y JARDIN

M 83: Municipio Andes, Corregimiento San José.

M 84: Municipio Jardín, Tejar de la Parroquia.

Los especímenes:

M 83: Un adobe, contiene una cantidad moderada de arena.

M 84: Contiene casi ninguna arena.

LA CLASE DE ARCILLA PRESENTE:

CURVAS TERMO - DIFERENCIALES						
	Ini- cia	Cul- mina	Ter- mina	Extensión grados	Amplitud 5% en mm	Clase de curva y forma
M 83	70	119	172	102	5 mm	Endot. Inicial.
	524	570	612	88	7 mm	Endot. Ppl. arcilla; poco asimétrica.
	—	900	—	—	—	Débil inflexión.
	900	918	975	75	2 mm	Exot. Ppl. arcilla; muy plana.
M 84	70	119	172	102	6 mm	Endot. Inicial.
	519	570	612	83	9 mm	Endot. Ppl. arcilla.
	—	900	—	—	—	Débil inflexión.
	900	918	974	74	6 mm	Exot. Ppl. arcilla.

La arcilla es en ambos casos una mezcla de illita y caolinita.

LA PASTA PLASTICA:

Se hizo en ambos casos con material tamizado menor malla 170.

Los largos extruídos son en ambos casos muy grandes:

$$M 83 = 75 \text{ cm};$$

$$M 84 = 109 \text{ cm}.$$

La contracción linear en la secadura era:

$$M 83 = 13,74\%;$$

$$M 84 = 16,61\%.$$

M 84: Una galleta se dañó ya en la secadura.

LA COCHURA: A 900 Y A 1200°

	Porosidad aparente	Firmeza kg/cm ²	°D	Color	Tacto	Peso vol.	Peso esp. aparente	Contracción linear
900°								
M 83	37,62%	156,71	4	ladrillo claro	liso	1,69	2,70	0,83%
M 84	36,04%	162,45	4	pardo rojizo	liso	1,68	2,63	2,18%
1200°								
M 83	26,10%	315,31	4	ladrillo	áspero	1,93	2,66	7,38%
M 84	19,92%	370,02	6	rojo indio	liso	2,07	2,59	7,65%

Nota: M 84. Todas las galletas se agrietaron ya desde 700° en adelante; a 1200° se trizó un cubo. El material es demasiado graso; deben usarse magrantes.

Uso: M 83 y M 84 a 900 - 1000° ladrillos de construcción.

CONCLUSIONES

TIPOS DE ARCILLAS EXAMINADAS:

Pizarras arcillosas y arcillas duras, cuya explotación se hace posiblemente con explosivos y que tienen necesidad de trituración mecánica antes de todo otro trato:

Amagá: M 1, 2, 3, 4 / *El Loro*, Antioquia, M 5, 6, 7, 8, 9, 10.
Angelópolis: M 12, 13, 14, 15.

Arcillas blandas blancas: cuya explotación se puede hacer con medios manuales o palas mecánicas, etc.

Amagá: M 1, 2, 3, 4. *El Loro*, Antioquia, M 5, 6, 7, 8, 9, 10.
Rionegro: M 41 / *Sonsón:* M 72.

Levigación, etc., necesaria para purificar y concentrar la cao-
linita como materia prima.

Arcillas de Tejares: explotación con medios manuales, palas
mecánicas, etc.

El Guayabal: M 11, M 71, M 78 / *Girardota:* M 73.
Betania: M 79, 80 / *Andes:* M 81, 82 / *Andes, Jardín:* M 83, 84.

Arcillas plásticas: explotación con medios manuales, palas
mecánicas, etc.

Las Ovejas: M 22, 23, 24 / *Las Matas, Rionegro*: M 25, 26, 27, 28.

Erechos, Rionegro: M 31, 32, 33, 34 / *Sajonia, Rionegro*: M 35, 36.

Santa Elena: M 65, 66, 67, 68, 69, 70.

Rocas descompuestas:

Dioritas = Chaquiro — Sta. Rosa M 37, 38.

Rocas Verdes = Carretera Caldas M 42 / Prado, *Heliconia* M 43

Andesitas = *Bolombolo*: M 74.

Filitas = Liborina M 76 / Mesopotamia M 77.

USOS:

LOZA: ALFARERIA, TEJARES Y ESPECIALMENTE LADRILLOS DE CONSTRUCCION ORDINARIOS:

900 - 1000°: *Amagá*: M 1, 2, 3, 4 / *El Loro*: M, 5, 6, 7, 8, 9, 10 / *El Guayabal*: M 11 / *Angelópolis*: M 12, 13, 14, 15 / *Las Ovejas*: M 22, 23, 24 / M 71, M 78 / *Erechos*: M 31, 32, 33, 34 / *Rionegro*: M 41 / *Girardota*: M 73 / *Bolombolo*: M 74 / *Arcadia*: M 75 / *Betania*: M 79, 80. *Andes*: M 81, 82 / *Andes, Jardín*: M 83, 84.

1200° *Loro*: M 78 / *Erechos, Rionegro*: M 31 / *Carretera Caldas*: M 42.

GRES:

1100° *Loro*: M 8 / *Abejorral*: M 39, 40 / *Rionegro*: M 41.

REFRACTARIOS:

Erechos: M 31, 32, 33, 34 / *Sajonia, Rionegro*: M 35, 36.

La Unión: M 19 / *Carretera Caldas*: M 42 / *Rionegro*: M 41.

LADRILLOS VITRIFICADOS (CLINCA).

1200° *Amagá*: M 1, 2, 3, 4 / *Santa Elena*: M 65, 66.

PRACTICAMENTE SIN USO:

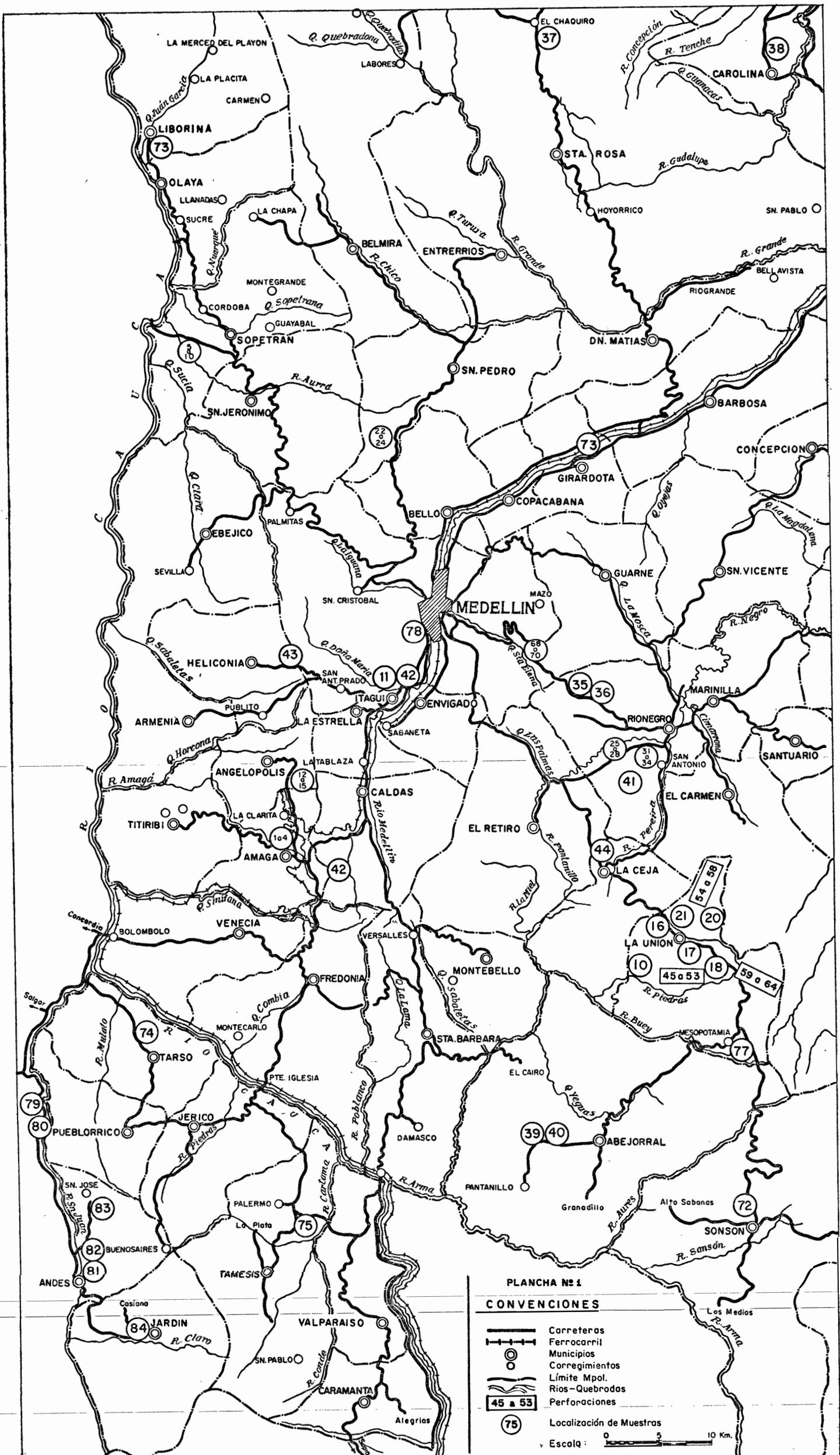
Chaquiro - Santa Rosa: M 37,38 / Prado, *Heliconia*: M 43.

La Ceja - Medellín: M 44.

Nota: Los ensayos se hicieron casi siempre con material tamizado, es decir, excluyendo muchas de las impurezas y concentrando la arcilla a cierto grado.

BIBLIOGRAFIA

- ADLER, HANS, M. — Bray, Ellis E. and Stevens, Nelson P.; Hunt, John M.; Kellar, W. D. and Pickett, E.E.; and Kerr Paul, Infrared Spectra of Reference Clay Minerals, Preliminary Report N° 8, Columbia University, 1950.
- DAVIS, D. W. — Rockow, T. W.; Rowe, F. G.; Fuller, M. L.; Kerr, Paul and Hamilton, Peggy Kay, Electron Micrographs of Reference Clay Minerals, Preliminary Report N° 6, Columbia University, 1950.
- ERECOS. — Estudios Generales sobre Materiales Refractarios, 1963.
- GRIM, RALPH E. — Clay Mineralogy, 1953.
- GRIM, RALPH E. — Applied Clay Mineralogy.
- KERR, PAUL, Kulp, J. Lawrence and Hamilton, P. K., Differential Thermal Analysis of Reference Clay Minerals, Preliminary Report N° 3, Columbia University, 1949.
- KERR, PAUL, Main, M. S., and Hamilton, P. K., Occurrence and Microscopic Examination of Reference Clay Minerals, Preliminary Report N° 5, Columbia University, 1950.
- KERR, PAUL; Hamilton, P. K.; Pill, R. J.; Wheeler, C. V.; Lewis, Donald R.; Benkhardt, W.; Rene, Duane; Taylor, Garerin, L., Analytical Data on Reference Clay Minerals, Preliminary Report N° 7, Columbia University, 1950.
- LANBORN, E.; Austin Chester R.; and Schaaf, Downs; Shale and Surface Clays of Ohio, Geological Survey of Ohio, 1938.
- LIPINSKI, BOLLENBACH, Das Keramische Laboratorium.
- LIPINSKI, BOLLENBACH, Keramische Reckentafeln.
- NIGGLI, PAUL, Gesteine und Minerallagerstätten, 1948.
- SALMANG, H., Die Keramik - Physikalische und Chemische Grunegen, 1958.
- SILVA MEJÍA, FRANCISCO, Análisis Termomodiferencial de algunos Suelos de Colombia y su Aplicación en la Fertilidad y Clasificación de Suelos. Pub. I.T. 8, 1961.
- SMOTERS, W. J. and CHIANG, YAO, Differential Thermal Analysis, Theory and Practice, Ohio Brass Company.



Pl. 1 - MAPA DE LOCALIZACION DE YACIMIENTOS

ARCILLAS RESIDUALES DE DIVERSOS TIPOS DE ROCAS SIN IMPORTANCIA ECONOMICA

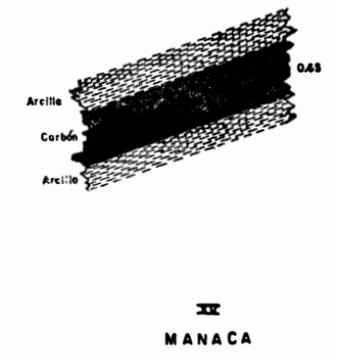
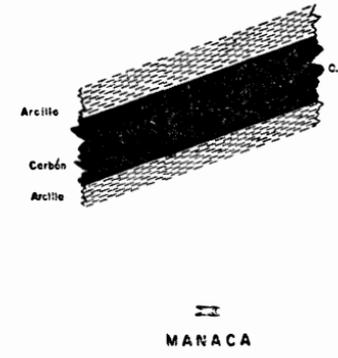
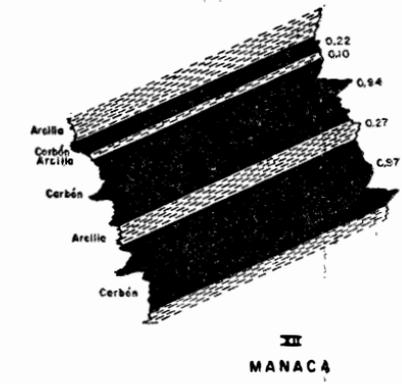
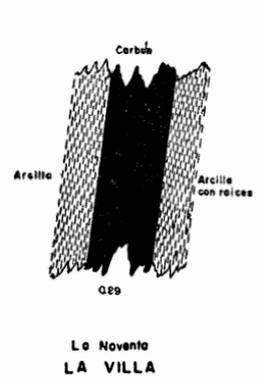
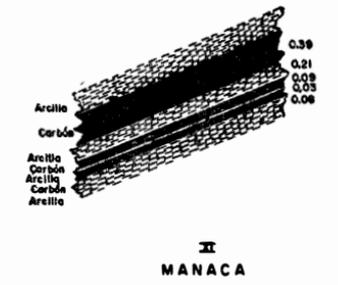
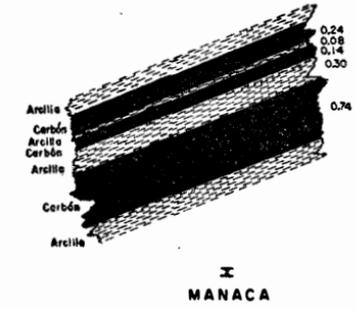
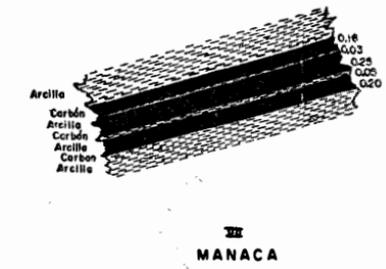
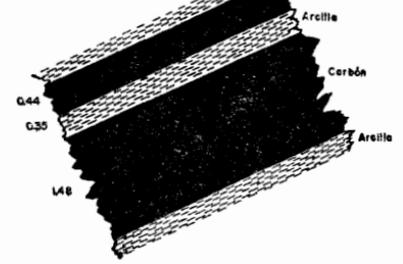
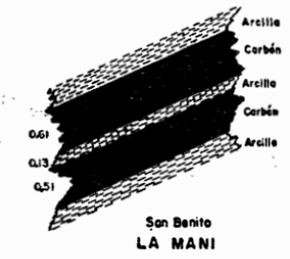
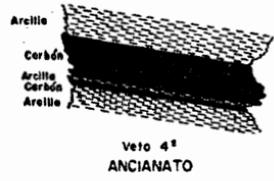
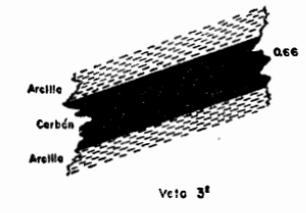
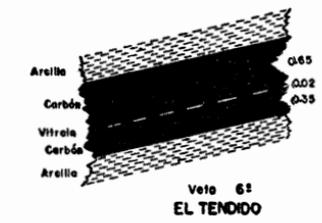
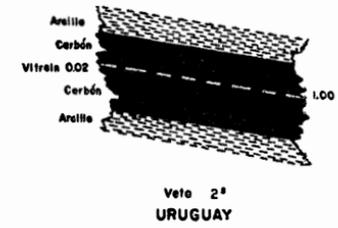
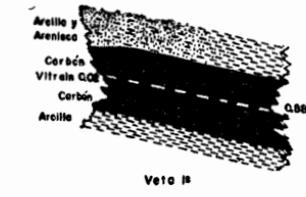
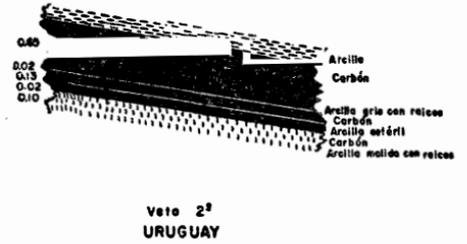
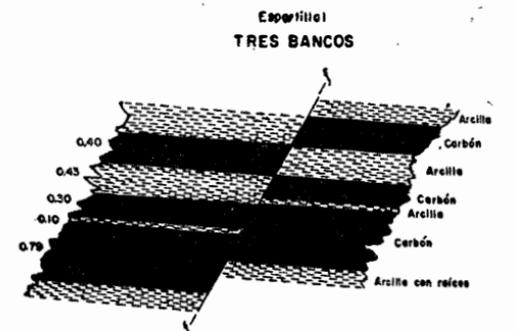
CUADRO Nº 10

MUESTRA Nº	PROCEDENCIA	GRANULOMETRIA														ANALISIS QUIMICO MUESTRAS SECADAS A 105° C						PROPIEDADES EN ESTADO PLASTICO Y SECO										PROPIEDADES RELACIONADAS A LA COCHURA DE LA PASTA																				MUESTRA Nº																		
																						% AGUA DE										DATOS REFERENTES AL ESTADO SECO % + Indica Dilatación										PESO ESPECIFICO g/cm ³					POROSIDAD % DE VOLUMEN																							
																						Durante el Secado a 105° C					Cambio de Volumen por Peso					Contracción Lineal					Contracción Volumétrica					Por Picnómetro			Aparente Exp. con Kerosene		Total		Efectiva				Aparente Exp. con Kerosene		Resistencia a la Rotura por comp. kn/cm ²															
																						Plasticidad					350°C					350°C					350°C					Ambiente			600°C		900°C		900°C				900°C																	
M-11	Guayabal, Medellín	6.62	18.19		26.48		15.05		11.64						18.40	362	2170	39.17	31.38	8.18	2.14	105	7.08	11.0	Menor que Malla No 10	72.52	42.30	30.32	62.60	17.60	72.52		1.48		2007	14.90	M-11				7.26	5.38	6.70			3.46	2.60	9.30			80	30.64	2.73	2.81		2.70		38.08	4.70		4.90	26.03	94.3	96.1	M-11					
M-37	El Chaquiro, Sta Rosa	8.19	20.94	19.98		17.02				12.83	2.52	18.52			17.25		45.34	30.11	8.13	0.55	1.82	2.34	11.71	Menor que Malla No 120	41.61	8.99	32.62	12.07	3.09	41.61	50.50	1.34	2.68	11.13	6.80	M-37		1.44		5.38			17.30		2.40		6.50			7.31		23.52	2.77	2.74		2.63		54.74	5.036		5.182	6.34			M-37					
M-38	Guadalupe, Carolina	1.07	18.03	28.68		2.84				2.910	1.10	19.18			2.488		4.713	3.385	6.81	2.35	1.46	0.14	8.26	Menor que Malla No 100	45.71	9.91	35.80	12.45	3.20	45.71	49.64	1.26	2.51	12.15	7.00	M-38		1.55		4.90			26.71		2.01		10.10			6.15		33.57	2.66	2.68		2.48		56.64	4.925		5.321	2.4			M-38					
M-42	Caldas	2.97	24.74		19.70				12.86			5.84	3.389		31.67		6.076	2.742	3.31	0.60	0.31	0.06	7.54	Menor que Malla No 100	35.20	9.27	25.93	14.40	4.48	35.20	41.40	1.55	2.66	12.33	7.70	M-42				1.85			5.07		1.03		2.78	0.71	1.00	3.09		8.61	2.65		2.56	2.02		47.65 (100°C)	27.80 (100°C)		44.05	45.90	16.94			M-42				
M-43	Heliconia		0.45		7.80		18.55		20.45	2.305	9.45	20.25			29.54		44.03	31.32	3.27	7.94	1.03	6.22	6.19	Menor que Malla No 100	35.70	10.16	25.54	10.17	3.45	35.60	39.27	1.52	2.52	15.21	9.40	M-43		1.93		2.12			Fundido		1.06		Fundido	1.54	1.34	3.19		Fundido	2.76	2.82		2.62	2.71		50.0	46.10		46.25	48.01	14.20			M-43			
M-44	La Ceja		0.07		2.05		24.31		30.82	7.08	0.35	35.32			44.50		35.83	2.778	9.69	0.92	0.73	11.79	13.26	Menor que Malla No 100	42.21	2.96	39.25	3.60	1.20	42.21		1.22			83.30	M-44		1.17		2.73					1.20				1.84	3.59		2.72	2.49		Desmoronable	55.42			Desmoronable							M-44				
M-65	Sta Elena, Medellín		0.08		7.92		9.90		27.11				51.87	3.12	43.55		49.04	32.61	7.52	3.20	0.58		7.05	Menor que Malla No 100	42.53	20.55	21.98	34.04	10.26	42.63	38.78	1.66	2.71	37.83	26.00	M-65		0.86		1.15	2.42	10.92			0.64	5.72			1.02	1.93	18.15		2.72	2.79	2.79	2.72	2.68	2.71	44.34	33.21	40.50		30.46	42.78	41.87	31.68	10.08	26.13	M-65	
M-66	Sta Elena Medellín		0.26		16.70		27.57		34.58				20.37	0.52	37.01		45.58	25.48	11.12	4.38	0.58	4.18	8.68	Menor que Malla No 100	43.66	21.26	22.40	34.01	9.25	43.66	38.47	1.60	2.60	36.51	29.00	M-66		1.09		1.13	2.72	13.35			0.60	6.68			1.19	1.82	21.41		2.69	2.65	2.65	2.64	2.61	2.56	44.15	30.43	42.64	2.717	42.99	43.13	28.25	90.1		146.4	M-66	
M-67	Sta Elena Medellín	0.10	2.21		23.02		11.96		13.87				47.34	1.50	6.26									Menor que Malla No 100	43.24	3.60	29.60	19.37	6.08	43.24		1.43		29.45	33.00	M-67	0.29		6.0	8.07	9.58	18.63		2.77	3.70	8.15		0.41		11.49	2.650	2.59	2.62	2.77	2.50	2.61	2.73	47.70	40.79	47.33		39.35	47.52	47.48	13.45	44.9	56.9	18.8	M-67	
M-68	Sta. Elena Medellín		0.60		23.20		13.70		18.00				42.50	2.10	4.386									Menor que Malla No 170	56.30	29.27	27.03	43.22	12.72	56.30		1.47		44.62	35.00	M-68	0.46		3.67	5.22	6.40	20.02		1.78	2.50	9.10		0.66		7.69	2.955	2.61	2.60	2.70	2.53	2.58	2.68	45.76	32.22	45.00	31.29	31.48	45.81	45.43		7.9	99.4	61.5	M-68	
M-69	Sta. Elena Medellín		1.11		33.33		23.33		20.56				20.11	1.56	8.51									Menor que Malla No 100	47.29	17.85	29.43	25.84	7.96	47.29		1.45		47.94	38.00	M-69	0.22		1.52	2.48	2.86	18.74		0.73	1.19	8.36		0.32		3.61	2.724	2.58	2.57	2.72	2.56	2.87	2.63	50.36 (100°C)	48.17	30.88	47.18	48.35	31.25	6.8	84.3	156.9	M-69			
M-70	Sta Elena Medellín	0.40	3.69		25.47		11.64		14.93				41.09	2.80	18.92									Menor que Malla No 100	38.96	13.56	25.40	21.60	6.74	38.96		1.59		19.88	15.00	M-70	0.18		2.56	4.41	4.41	12.30		1.34	2.29	6.00		0.29		7.02	19.05	2.57	2.77	2.80	2.70	2.76	2.73	44.76		44.40	45.99	36.78	43.92	45.10	3.770	5.79	93.9	211.3	M-70	
M-71	Guayabal, Medellín	0.60	13.21		2.603		10.51		10.11				25.03	1.451	4.21									Todo	29.48	15.48	14.00	29.50	9.00	29.48	31.17	1.91	2.76	10.465	6.900	M-71	0.26			1.66	4.19	12.83			1.07	7.55		0.50	1.11	3.17	24.41	2.66	2.74	2.39		2.70	2.32	33.57		32.12	27.88	0.05	3.337	32.65	0.42	1.95	1.95			M-71
M-74	Tarso		0.10		8.01		21.12		22.02				45.25	3.50	18.48									Menor que Malla No 270	45.41	22.72	22.69	35.62	10.69	48.41	37.22	1.57	2.50		2.5	M-74	1.29		6.15	9.67	11.04	2.751		3.10	4.84	12.75		0.61	6.29	15.23	4.330	2.52	2.84	2.83	2.67	2.77	2.82	54.23		43.30	14.41	15.90	46.50	44.52	19.40	16.11	22.42	52.58	M-74	
M-77	Mesopotamia		0.50		5.48		9.36		30.38				49.70	4.58	35.62									Menor que Malla No 270	40.28	10.97	29.31	16.07	5.09	40.28		1.48		17.58	12.00	M-77	+0.23		+0.43	+0.21	1.43	7.99		+0.02	+0.01	3.78		+0.35	+0.59	+0.32	11.77		2.63	2.58	2.71	2.39	2.43	2.53	48.44		42.64	1.50	3.763	43.57	44.96	41.46	22.1	23.0	78.6	M-77
M-78	Guayabal, Medellín		0.20		12.46		21.0		17.49				37.49	11.36	39.57									Menor que Malla No 270	40.57	22.82	17.75	40.18	11.19	40.57		1.76		22.022	15.00	M-78	+0.04		2.22	3.33	5.31	17.65		1.39	1.80	9.47		+0.07	+1.08	5.82	3.119	2.57	2.61	2.38	2.50	2.60	2.33	36.01		35.63		1.26	3.378	35.78	0.87	1.78	1.271	2.363	M-78	
M-79	Betania	0.10	1.0		27.17		19.48		19.98				26.97	5.30	26.78									Menor que Malla No 270	28.56	13.75	14.81	25.21	7.78	28.56	29.0	1.83	2.59	9.734	6.60	M-79	0.12		+0.03	0.21	0.66	7.54			0.13	4.44		0.21	+1.12	0.39	13.93	2.62	2.66	2.68	2.48	2.64	2.66	35.71		34.96	35.07	27.61	32.63	35.54	2.624	1.658	1.824	2.792	M-79	
M-80	Hispania, Betania	0.19	6.09		29.08		14.59		14.88				29.18	5.99	36.85									Menor que Malla No 270	38.03	24.57	13.46	45.19	13.24	38.03	26.06	1.75	2.50	16.115	11.20	M-80	+0.98		1.39	1.91	2.70	11.38		0.84	1.16	6.55		+1.80	1.64	3.55	20.97	2.56	2.68	2.48	2.57	2.66	2.14	35.45		34.70	28.41	6.04	33.65	35.20	3.04	129.0	147.3	315.7	M-80	
M-81	Andes		0.30		24.63		20.18		22.19				26.85	5.85	18.77									Menor que Malla No 100	39.02	20.91	18.11	36.72	11.0	39.02	34.24	1.76	2.67	13.093	8.700	M-81	0.23		1.66	2.31	3.40	13.57		1.0	1.34	7.38		0.41	1.68	4.06	2.384	2.52	2.73	2.70	2.63	2.72	2.64	39.19		38.83	38.55	20.74	37.22	38.69	20.89	17.66	1.808	283.3	M-81	
M-82	Andes		0.20		6.00		2.694		2.734				35.89	3.63	17.84									Menor que Malla No 100	37.74	21.77	15.97	38.97	11.60	33.74	31.32	1.79	2.61	15.830	10.4	M-82	0.22		1.68	2.27	3.14	15.22		1.00	1.33	8.40		0.39	1.65	4.08	2.735	2.56	2.70	2.54	2.59	2.68	2.42	36.67		35.93	33.15	7.09	34.28	36.25	7.39	15.2	1.65.8	2.633	M-82	
M-83	Andes				15.85		32.56		21.52				2.337	6.73	14.65									Menor que Malla No 100	41.94	24.67	17.27	44.38	13.74	41.94	31.64	1.80	2.64	11.280	7.5	M-83	0.07		0.76	1.39	2.33	8.61		0.48	0.83	7.38		0.13	0.68	2.50	15.50	2.52	2.70	2.72	2.70	2.70	2.66	37.41		37.41	36.16	2.684	3.795	3.762	2.610	1.567	1.			

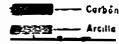
ARCILLAS TRANSPORTADAS RECIENTES O ALUVIALES, DE IMPORTANCIA ECONOMICA

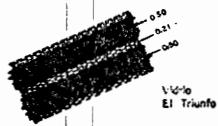
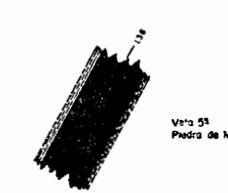
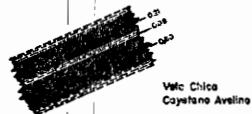
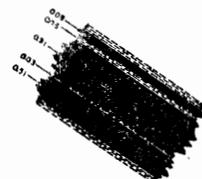
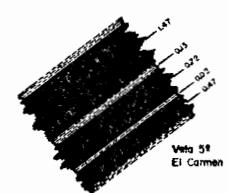
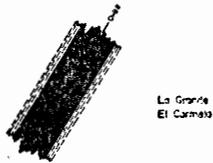
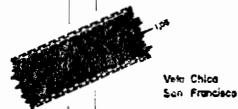
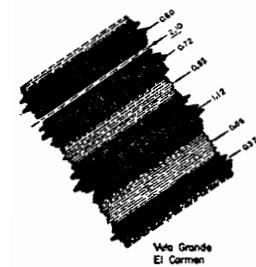
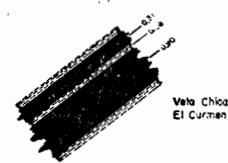
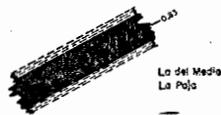
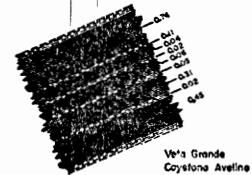
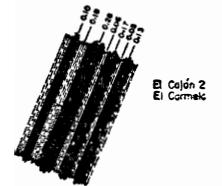
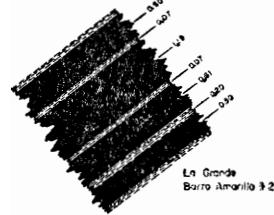
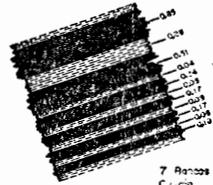
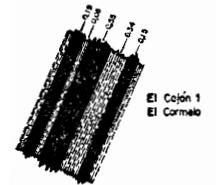
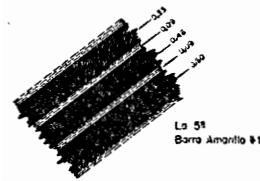
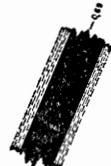
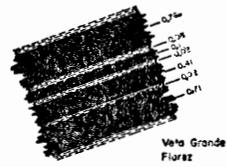
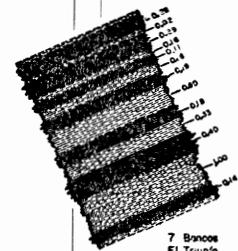
C U A D R O N° 12

MUESTRA N°	PROCEDENCIA	GRANULOMETRIA											ANALISIS QUIMICO										PROPIEDADES EN ESTADO PLASTICO Y SECO										PROPIEDADES RELACIONADAS A LA COCHURA DE LA PASTA																				MUESTRA N°																				
		MUESTRAS SECADAS A 105°C.											MUESTRAS SECADAS A 105°C.										% AGUA DE DURANTE EL SEDADO A 105° C.										DATOS REFERENTES AL ESTADO SECO										PESO ESPECIFICO											POROSIDAD																			
		Menor que 270											Menor que 270										Humedad a 105°C										+ Indica Dilatación										Peso específico por picnómetro g/cm³											Resistencia a Rotura por Comp. kg/cm²																			
		18	35	50	60	80	100	120	170	200	230	Menor que 230	Menor que 270	Humedad a 105°C	Si O₂	Al₂ O₃	Fe₂ O₃	Ca O	Mg O	Indeterminado	Perdida al Fuego a 900°C	Tamaño utilizado en el análisis	Agua de Plasticidad %	Agua de Contracción %	Agua de Porosidad %	Volumen de Contracción	Contracción lineal %	Perdida de Peso %	Porosidad aparente %	Peso Volumen	Gravedad Especifica aparente	Módulo de Rotura g/cm²	Resistencia a la extrusión cms	700°C	800°C	1100°C	1350°C	700°C	800°C	1100°C	1350°C	700°C	800°C	1100°C	1350°C	Ambiente	1100°C	1350°C	700°C	800°C	1100°C	1350°C		1100°C	1350°C	1100°C	1350°C	700°C	800°C	1100°C	1350°C	900°C	1100°C	1350°C									
M-22	Las Ovejas, San Pedro	3.4	23.0		26.5			12.7				33.6	0.8								28.45	45.45	36.62	1.23	2.14	0.86	2.79	10.91	Menor que	30.55	11.16	19.39	20.93	6.55	30.55	39.80	1.73		52.0	230	M-22		3.06	3.28	11.17		1.70	1.86	6.20		5.31	5.71	19.69	2.56	2.75	2.74		2.57	2.75	2.62	40.36	29.93	40.36	25.55		37.42	40.20	23.38		87.91		M-22	
M-23	" " "	4.0	13.5		25.0			6.0				51.0	0.5								36.80	42.62	35.61	1.38	3.60	2.39	3.79	10.61	Malla No. 200	39.53	21.62	17.91	36.83	11.00	39.53	33.90	1.57	2.58	115.10	78.00	M-23		2.64	12.20	22.01		1.60	6.50	11.20		4.71	20.83	37.43	2.63	2.62	2.56		2.51	2.65	2.40	28.24	7.81	29.18	1.56		38.37	29.18	1.04		157.4	68.4	M-23	
M-24	" " "	8.0	29.0		31.0			2.0				30.0									21.61	49.23	31.90	1.67	5.06	2.76	1.30	8.03	Menor que Malla No. 120	30.99	10.47	20.52	23.07	8.15	30.99	35.40	1.74	2.66	73.9	34.30	M-24		+0.10	4.99	12.73		+0.01	2.80	6.90		+0.71	8.57	22.08	2.67	2.64	2.54		2.56	2.44	2.43	35.98	20.87	28.41	16.53		37.05	32.02	15.96		173.5	196.3	M-24	
M-25	Llano Matas, Rionegro		1.3		16.4			18.0				63.0	1.3								32.01	67.65	11.88	3.63	2.11	0.83	4.85	9.05	TODO TAMANO	33.94	10.70	23.24	17.66	5.55	33.94	32.43	1.65	2.20	30.0	15.60	M-25		+0.31	0.14	0.44		+0.20	0.08	0.25		+0.61	0.23	0.74	2.48	2.66	2.58		2.53	2.67	2.45	42.86	34.88	42.23	29.34		40.22	43.12	38.20		29.8	146.0	M-25	
M-26	" " "		5.1		27.3			21.0				43.1	3.5								14.13	43.04	32.25	4.48	2.06	0.67	9.03	7.57	Menor que	37.78	16.49	21.29	26.34	8.02	37.78	35.94	1.60	2.49	48.0	30.50	M-26		3.83	9.86	26.10		1.75	5.30	12.30		5.34	15.81	41.62	2.54	2.71	2.64		2.57	2.68	2.55	40.59	12.50	39.48	9.09		42.70	39.03	12.14		232.8	290.2	M-26	
M-27	" " "	0.7	6.2		30.0			16.5				46.0	0.6								40.95	44.32	29.05	5.40	1.36	0.81	6.50	12.52	Menor que	39.58	15.30	24.18	24.91	7.07	39.58	38.13	1.61	2.61	106.0	60.0	M-27		3.23	10.73	24.77		1.72	5.40	11.90		5.25	17.15	40.11	2.56	2.68		2.59	2.70	2.51	54.10		36.25	5.73		41.66	36.25	5.73				M-27		
M-28	" " "	3.0	8.0		33.0			15.0				40.0	1.0								54.85	36.32	36.22	3.79	1.61	0.53	7.79	13.74	Malla No. 60	55.81	36.21	19.80	35.91	10.80	36.21	45.01	1.49	2.86	137.6	103.0	M-28		7.55	12.45	32.97		3.70	5.90	14.10		11.25	18.72	48.80	2.55	2.68	2.60		2.63	2.70	2.56	54.10	3.08	39.16	1.63		44.53	39.16	1.52		124.5	63.8	M-28	
M-29	Balcázar	2.0	10.6		29.5			16.1				40.4	1.4								5.80	66.42	14.49	2.99	4.62	2.29	2.72	6.47	TODO TAMANO	39.09	15.02	24.07	24.19	7.50	39.09	37.78	1.61	2.57	47.0	15.0	M-29		9.11	2.47	3.60		0.60	1.31	1.90		1.78	3.96	5.69	2.65			2.54	2.46	2.33			39.13	36.95	30.79				M-29					
M-30	Cadavid		1.3		67.6			19.72				11.38									0.09	90.67	4.67	0.14	2.08	0.68	0.96	0.80	Menor que	32.30	7.52	24.78	9.37	3.00	32.30	18.30	1.24	2.08			M-30		+1.82	1.64	+2.88		+0.81	0.72	+1.32		+2.45	2.17	+3.85	2.64	2.63	2.47		2.59	2.56	2.41	52.85	52.63	46.39	50.20		51.13	50.80	49.0				M-30	
M-31	Erecas, Rionegro	4.85	17.14	9.98		12.63						25.92	2.13	27.35							27.16	54.76	25.08	3.90	0.47	0.39	7.11	8.29	Menor que	27.75	10.91	16.84	13.80	6.95	27.75	30.66	1.81	2.64	41.20	31.00	M-31	0.10		1.04	5.87	0.06		0.63	3.40	0.19		1.90	10.69	2.65	2.71	2.71	2.54		2.64	2.55	37.04	31.0	34.32	25.09	32.50		35.74	26.61	136.6	161.8	237.1		M-31
M-32	" " "	7.08	20.67	13.52		14.62						23.82	2.31	17.98							36.72	50.73	33.63	2.46	0.27	2.29		10.96	Menor que	32.47	16.96	15.51	29.78	9.00	32.47	32.24	1.76	2.58	44.84	29.66	M-32	1.29		4.52	12.94	0.75		2.60	7.10	2.26		8.0	22.91	2.59	2.70	2.74	2.49		2.67	2.41	37.03	25.18	35.93	13.14	34.54		36.78	14.91	166.4	229.1	357.5		M-32
M-33	" " "	4.0	16.0	11.83		15.35						30.17	3.41	19.24							28.89	59.29	22.37	5.66	2.86	0.56	1.45	7.81	Menor que	34.43	18.55	15.88	32.57	9.85	34.43	33.17	1.76	2.59	83.35	57.50	M-33	0.51		4.86	10.16	0.30		2.76	6.15	0.90		8.50	19.71	2.60	2.73	2.66	2.52		2.56	2.43	36.63	28.57	30.40	19.92	35.51		32.16	22.06		199.5	327.4		M-33
M-34	" " "	3.53	18.12	13.10		15.29						20.66	3.41	25.83							4.25	49.55	30.62	7.80	2.16	0.84	0.07	8.96	Malla No. 120	31.49	20.28	11.21	34.94	0.50	31.49	32.24	1.72	2.51	32.10	22.50	M-34	0.94		4.85	9.36	0.54		2.70	5.20	1.61		8.30	16.30	2.62	2.72	2.68	2.54		2.61	2.48	38.49	30.47	34.36	23.13	38.40		36.10	24.80	195.8	174.9	226.7		M-34
M-35	Sajonia, Rionegro	0.75	18.62	18.84		38.40						9.0	10.93	3.46							50.31	18.72	46.85	2.83	2.00	0.48	6.86	22.96	Menor que	42.19	10.72	31.47	14.53	4.60	42.19	42.82	1.68	2.38	6.0	9.00	M-35	5.40		10.70	23.01	2.40		4.60	8.50	7.36		14.47	30.52	2.46	2.93	3.14	2.89		2.87	2.87	58.18	53.43	57.00	44.90	60.56		57.22	42.83	44.4		78.47		M-35
M-36	" " "	0.56	14.78	18.78		29.43						31.93	1.71	2.81							41.29	31.69	44.88	1.95	0.45	0.37	3.26	17.40	Malla No. 200	43.63	12.03	31.60	16.39	5.20	43.63	44.24	1.68	2.45	11.0	17.52	M-36	5.57		12.67	27.01	2.46		5.60	11.10	7.58		17.21	36.56	2.52	2.76	3.10	2.79		2.73	2.75	52.17	59.35	51.09	48.07	56.67		51.70	38.84	21.5	36.8	151		M-36
M-41	Rionegro	0.06	4.40		29.55		13.10		33.23	9.44	0.27	9.95									18.95	57.36	29.17	1.29	0.47	0.58	2.66	8.47	Menor que Malla No. 200	29.58	10.64	18.94	17.99	8.55	29.58	32.86	1.69	2.52	19.902	51.00	M-41	0.65		3.65	12.84	0.40		2.04	6.70	1.10		6.23	21.49	2.63	2.65	2.64	2.59		2.68	2.56	36.60	26.0	36.49	23.86	39.67		36.49	24.97	115.3	18.49	242.4		M-41
M-73	Ladrillera San Diego, Girardota	0.10	1.49		32.41		21.01		1526			27.35	2.38	10.61							31.25	14.42	16.83	25.42	7.84	31.25	28.82	1.76	2.47	85.55	5600	M-73		1.64		3.59 (1200°C)		0.93		838 (1200°C)		2.88		27.28 (1200°C)	2.60		2.50 (1200°C)		2.66		2.38 (1200°C)	35.33		32.33 (1000°C)	9.20 (1200°C)		39.31		9.96 (1200°C)	131.1		194.2 (1200°C)				M-73							



CUENCA CARBONIFERA DE TAUSA-CUCUNUBA
Cortes esquemáticos de los mantos

CONVENCIONES
 Carbón
 Arcilla
FIGURA Nº 7



CUENCA CARBONIFERA DE GUACHETA

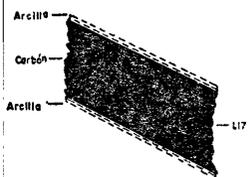
Cortes esquemáticos de los mantos

CONVENCIONES

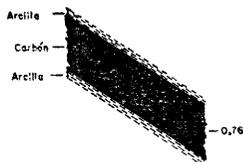
 — Carbón
 — Arcilla

FIGURA N° 8

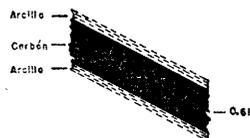
NOTA- Las vetas El Milagro y Aracuara no aparecen en esta lámina por no haberse conocido trabajos en dichas vetas



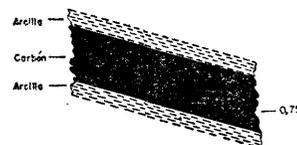
LA CISQUERA
Mina San Luis



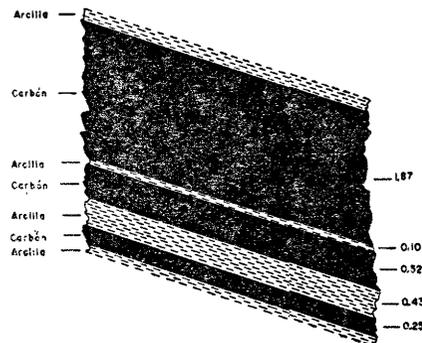
EL TESORO
Mina San Luis



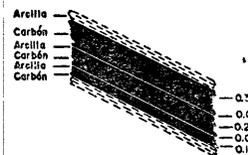
TESORITO
Mina San Luis



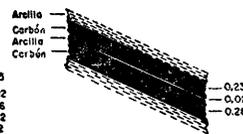
EL RUBI
Mina El Carmen



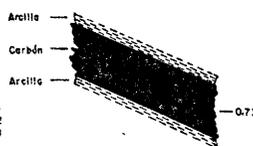
BOCATOMA
Mina de Carlota Vázquez



PLANTA DE SODA
Mina La Maná



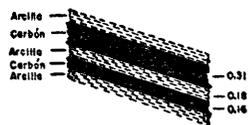
LAS GEMELAS
Mina La Maná



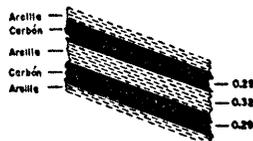
EL CONSUELO
Mina La Maná



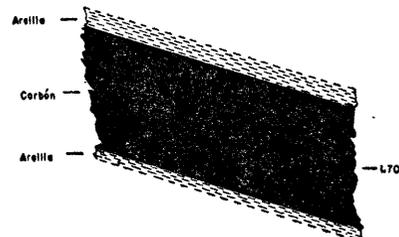
VETA 4ª
Mina La Maná



VETA 4ªA
Mina La Maná



VETA 5ª
Mina La Maná



CISQUERA DEL SANTUARIO
Mina Cisquera del Santuario de Carlos Condates

**CUENCA CARBONIFERA DE "TAUSA-GUACHETA"
CORRELACION ESTRATIGRAFICA DE LOS
MANTOS DE CARBON**

0 50 100 150 200 mts.

FIGURA Nº 5

