

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES
GEOLOGICO-MINERAS**

Informe No. 1559

**POSIBLES APLICACIONES INDUSTRIALES DE LA SERPENTINITA
EN COLOMBIA**

Por

Humberto González Iregui
Geólogo

BOGOTÁ, 1970

CONTENIDO

	<u>Página</u>
RESUMEN	49
INTRODUCCION	49
DESCRIPCION PETROGRAFICA Y CLASIFICACION	49
COMPOSICION MINERALOGICA	49
SERPENTINITA	49
OLIVINO	49
ORTOPIROXENO	49
CLINOPIROXENO	52
MAGNETITA	52
CROMITA-PICOTITA	52
TEXTURA Y ESTRUCTURAS	52
COLOR	53
COMPOSICION QUIMICA	53
NUEVOS EMPLEOS DE LAS SERPENTINITAS	53
PIEDRA DE CONSTRUCCION	53
PROPIEDADES FISICAS	53
RESISTENCIA A LA COMPRESION	53
ESFUERZOS TRANSVERSALES	55
DUREZA Y PROPIEDADES RELACIONADAS	56
POROSIDAD Y ABSORCION	56
COLOR	56
DURABILIDAD	56
FERTILIZANTES	57
REFRACTARIOS	57
CONCLUSIONES	58
BIBLIOGRAFIA	58
APENDICE	58

CUADROS

1. Análisis modales de la serpentinita	52
2. Variedades petrográficas de rocas ultrabásicas	53
3. Análisis químico en peso	54
4. Cálculo de la norma en peso	55
5. Comparación entre los valores obtenidos para peridotita, serpentina y otros tipos de roca	55
6. Comparación entre los valores obtenidos en la Cordillera Central con diversos tipos de rocas, incluyendo serpentinas en otras partes de mundo	56
7. Valor comparativo de los rangos entre la serpentinita y otros tipos de roca	56
8. Valor comparativo de la absorción y porosidad de las rocas de la Cordillera Central con los obtenidos para los diversos tipos de rocas en otras localidades	56

FIGURAS

1. Distribución de Rocas ultrabásicas en la Cordillera Central	50
2. Variación de densidad en Rocas ultrabásicas de la Cordillera Central	51

RESUMEN

La abundancia de cuerpos ultrabásicos serpentinizados en la Cordillera Central, hace pensar en la aplicación industrial de estas rocas.

En el presente trabajo se hace un estudio preliminar de su posible aplicación como abono mezclado con fosfatos; como refractario y como piedra ornamental, tanto de enchape como para pisos.

* * *

INTRODUCCION

La abundancia de serpentinitas a lo largo de la Cordillera Central (fig. 1), hace pensar en la posible aplicación industrial de estas rocas.

El presente informe considera las posibilidades de su uso como piedra de construcción, en la fabricación de abonos y para refractarios.

Los estudios petrográficos fueron hechos por el autor; los análisis químicos, ejecutados en el Laboratorio Químico de Ingeominas. Los ensayos de resistencia, se llevaron a cabo en los laboratorios de la Facultad Nacional de Minas.

El autor quiere agradecer la colaboración prestada por el Director del Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras "Ingeominas", ingeniero Andrés Jimeno Vega, para la elaboración del presente trabajo.

DESCRIPCION PETROGRAFICA Y CLASIFICACION

La mayoría de las rocas ultrabásicas serpentinizadas se encuentran localizadas a lo largo del margen occidental de la Cordillera Central, siguiendo zonas de falla a las cuales están íntimamente relacionadas.

Ocurren como cuerpos alargados con dirección general norte-sur; su forma y tamaño son muy variables alcanzando en algunos casos, varios kilómetros de longitud.

COMPOSICION MINERALOGICA

De los distintos estudios efectuados en la Cordillera Central, se relacionaron algunas muestras de las más representativas, con el fin de hacer un estudio detallado de su composición mineralógica, cuyo resultado puede observarse en el Cuadro No.1.

Los minerales más importantes en este estudio fueron determinados por métodos

ópticos; en unos pocos casos se emplearon rayos X y separación de minerales por medio del separador magnético isodinámico.

Las rocas denominadas serpentinitas pueden dividirse en tres grupos fácilmente cartografiables: masivas, cizalladas y foliadas. La transición entre las serpentinitas masivas y las ridotitas y dunitas frescas, es a menudo difícil, a no ser que se haga un estudio cuidadoso de densidades.

SERPENTINA

El mineral predominante en el grupo de la serpentina es la antigorita, pseudomorfa, según olivino en la mayoría de las muestras, aunque en algunas se observa antigorita, según piroxenos. Este mineral en algunas muestras llega a formar hasta el 90% de la roca.

Crisolito es escaso, excepto en el área de Campemento y por lo general, se encuentra rellenando fracturas. Generalmente estas rocas, a medida que aumenta el contenido de crisolito, disminuye su densidad (fig.No.2).

Otras variedades de minerales del grupo de la serpentina son menos abundantes; se encuentra serpofita íntimamente mezclada con antigorita, lo que hace muy difícil su identificación, excepto por medio de rayos X (Difactómetro de rayos X).

Al Este de la población de Ituango se observa el desarrollo de picrolita en fibras, producida posiblemente, por recristalización de serpentina a lo largo de zonas de cizalladura.

OLIVINO

En la mayor parte de las muestras estudiadas aparece parcial o totalmente serpentizado.

Granos anhedrales incoloros, con bordes irregulares corroídos, invadidos por antigorita. Bastante fracturado; presentando por lo regular, las facturas rellenas con magnetita-cromita posiblemente, como producto residual de la serpentización. La birrefringencia es baja, gris amarillo a rojizo de primer orden.

ORTOPIROXENO

Se presenta en algunas variedades de peridotita, como núcleos parcialmente alterados a una masa fibrosa y con parting, de extinción 40°, posiblemente de una clinopiroxeno. El núcleo presenta extinción paralela, birrefringencia baja, biáxico positivo con ángulo 2V grande, parece corresponder a enstatita.

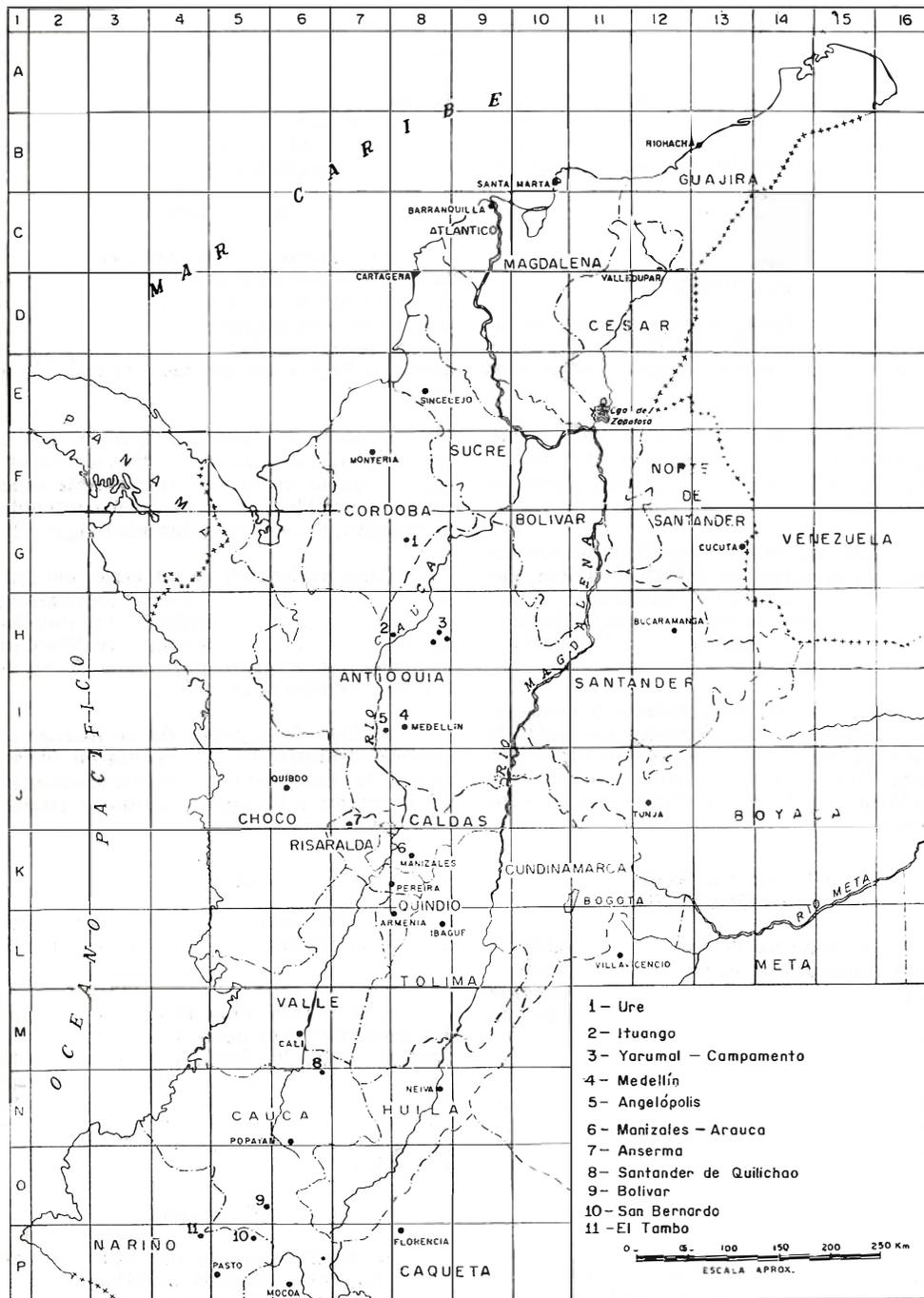


Fig.1-Distribución de Rocas Ultrabásicas en la Cordillera Central

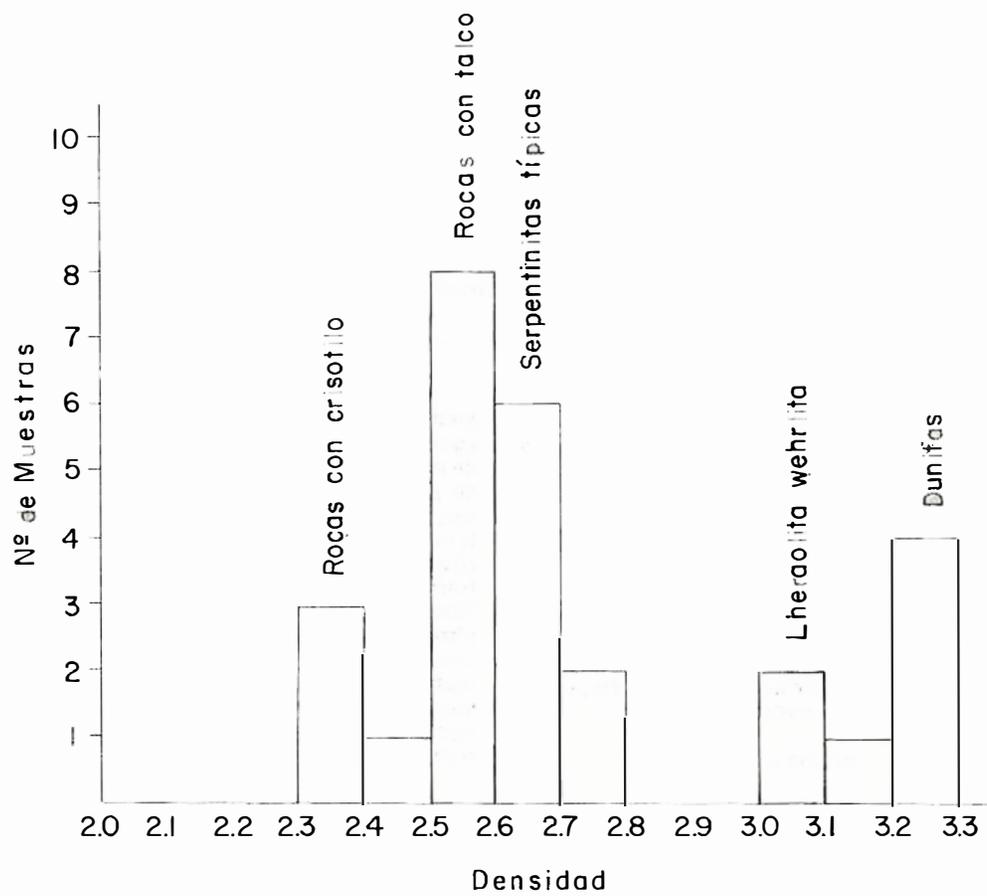


Fig.2 – Variación de Densidad en rocas ultrabásicas de la Cordillera Central.

CUADRO No. 1

ANALISIS MODALES DE SERPENTINITAS

Muestra*	Olivino	Piroxeno	Antigorita	Opacos	Carbonato	Plagioclasa	Talco	Clorita
HGJ-264	56.0	10.9	(1)	0.8	0.3	32.0	-	Tr
AE-84	34.0	17.0	46.0	3.0	-	-	-	-
AE-107	Tr	-	87.0	3.0	1.0	-	9.0	-
AE-283	Tr	Tr	95.5	3.0	-	-	-	1.5
JCH-86	33.9	11.6	50.5	1.8	0.6	-	Tr	1.6
RHB-"SM"	87.6	8.3	2.6	1.2	0.2	-	-	0.1
La Paloma	Tr	Tr	2.9	1.6	16.4	-	79.1	-
650-A (2)	7.95	-	84.7	7.10	-	-	-	-
724-A (2)	-	-	95.5	2.80	-	-	-	1.5
665-A (2)	34.9	-	61.0	2.00	-	-	-	2.0

(1) Incluido en olivino

(2) Muestras de la Facultad Nacional de Minas

* Para localización de muestras, ver apéndice al final.

CLINOPIROXENO

Como mineral primario en la mayoría de las muestras es dialaga con parting característico. En unas pocas muestras se encontró augita. También se encuentra jadeita, pero como producto de alteración de ortopiroxeno.

MAGNETITA

Residual, en polvo fino a lo largo de las fracturas en olivino y muy poca en pequeños granos diseminados.

CROMITA - PICOTITA

Accesorio en parte asociado a magnetita.

En la vecindad de la población de Yarumal, las rocas están compuestas esencialmente por talco-magnesita tremolita-actinolita.

Debe anotarse que aún dentro de un mismo cuerpo existe una gran variación en la composición mineralógica de las rocas, encontrándose distintas variedades petrográficas (Cuadro No.2).

TEXTURA Y ESTRUCTURAS

Las texturas originales de las rocas analizadas, en la mayor parte de ellas, son muy difíciles de determinar debido al grado de alteración que presentan.

En algunas muestras se pueden observar constituyentes alotriomorfos.

Las muestras ricas en olivino, especialmente dunitas, presentan textura en mosaico equigranular, variando el tamaño del grano de medio a grueso, siendo raras las variedades de grano fino. Los tipos porfiríticos son raros; pero se encontraron muestras cuya textura varía de microporfirítica a macroporfirítica. En las rocas con olivino-piroxeno, es frecuente la textura pseudoporfirítica-poiquilítica, en la cual cristales alotriomorfos de piroxeno, tienen inclusiones de magnetita-cromita y en algunos casos, de olivino. La textura sideronítica rara, aparece en una muestra en la cual, la magnetita intersticial figura como cementando masas de antigorita según olivino.

Las sustituciones del olivino y en algunos casos piroxeno por: serpentinita, talco-clorita, magnetita, dan lugar a una amplia variedad de texturas secundarias como: aureolas, residuos, reticular, pseudobrechas, etc. Texturas cataclásticas son frecuentes.

Algunas de estas rocas presentan una esquistosidad definida debida a los efectos de de las distintas fallas a las cuales están asociadas, desarrollando una buena foliación. En su mayor parte pueden considerarse como rocas masivas.

Las deformaciones mecánicas producen cataclastitas y milonitas, orientando la roca en ciertos tramos; no obstante, tienen un carácter local si se compara con la orientación general de las serpentinitas de Medellín, las de Ituango y del Departamento del Cauca.

CUADRO No. 2

VARIEDADES PETROGRAFICAS DE ROCAS
ULTRABASICAS

Nombre de la roca	Número de Secciones delgadas estudiadas
Serpentinitas	31
Dunitas	3
Dunitas serpentinizadas	12
Wehrlitas con serpentización	5
Harzburgitas con serpentización	3
Lherzolitas con serpentización	2
Piroxenitas con serpentización	3
Rocas de talco-carbonato	16

Según D. Barrero et al., 1969

COLOR

El color varía en tonalidades de verde grisáceo (10Y 4/2) Rock color chart a gris y verde oscuro y aún negro, en las más frescas, por lo general, la cara superficial muestra colores diferentes debidos especialmente a picrolita, dándole a la roca un atractivo color. Otros minerales que juegan papel importante en la coloración son: el talco y los carbonatos. El carbonato invade la serpentinita en multitud de venas irregulares y pequeñas masas aisladas que cuando frescas, tienen color blanco grisáceo a pardo claro, con superficies lustrosas en los planos de clivaje; cuando se alteran se tornan pardo-amarillentas o pardo-rojizas, por la presencia de limonita. Es común encontrar zonas de serpentinita moteada de manchas pardo-rojizas. El talco tiene un efecto decolorante y acompañado por carbonatos, da un moteado gris verdoso.

La clorita, cuando está presente, da tonos más oscuros si se halla diseminada; o en manchas y vetas oscuras, cuando está en agregados.

COMPOSICION QUIMICA

En el cuadro No. 3, se da el resultado de los análisis efectuados a algunas de las rocas representativas de los distintos cuerpos de serpentinitas.

El H_2O^+ se calculó deduciendo de las pérdidas por calcinación entre 105° y 1000°C, el contenido de CO₂. Esto es cierto, siempre y cuando el contenido de materia orgánica en la roca, sea despreciable.

Se hizo el cálculo de la norma para la muestra HGI-264 (cuadro No.4, recolectada cerca a Anserma. Es una roca, con un contenido alto en olivino parcialmente serpenti-

nizado y con plagioclasa cálcica, pudiéndose considerar como una picrita.

NUEVOS EMPLEOS DE
LAS SERPENTINITAS

Entre las nuevas aplicaciones industriales en las cuales se pueden utilizar las serpentinitas tenemos, de acuerdo a su aplicación inmediata:

- 1) Piedra de construcción.
 - a) ornamental, tanto para pisos como de enchape.
 - b) afirmados y terrazzo.
- 2) Como refractario.
- 3) Como fertilizante.

A continuación se hace un análisis de las características de las serpentinitas, para cada uno de los usos mencionados anteriormente.

PIEDRA DE CONSTRUCCION

Las serpentinitas pueden emplearse tanto como piedra ornamental para enchapes y pisos, como triturada para afirmados especialmente en carreteras y para terrazzo.

Las características que hacen que una roca pueda emplearse como piedra de construcción, dependen de su composición mineralógica y química (descritas anteriormente) y de sus propiedades físicas.

PROPIEDADES FISICAS

Las propiedades físicas de la piedra de construcción difieren algunas veces, de acuerdo al uso que se les vaya a dar. En general, la durabilidad y resistencia son los factores primordiales, aunque existan otras de importancia, si va a ser usada en enchapes de exteriores, para decoración de pisos, piezas de ornamentación, etc. Las propiedades físicas más importantes son:

RESISTENCIA A LA COMPRESION

La resistencia a la comprensión es una medida de la capacidad soportante de la roca; es de especial importancia en el caso de serpentinitas usadas para pisos o triturada para afirmado de carreteras.

Ensayos hechos siguiendo normas de A.S.T.M. (C 99-52) en los laboratorios de la Facultad de Minas, dieron los siguientes resultados: para muestras frescas 11.000 a 23.000 psi; muestras serpentinizadas 3.600 a 9.100 psi.

El límite dado por la USBS es de 3.000 psi o sea que las muestras ensayadas cumplen

CUADRO No. 3

Muestra	Pozo-27-510	Pozo 045	AE-115	AE-340	AE-310-B	JD-564	DU-783	JMC-39D	HGI-264
No. Laborat.	001488	001489	001492	001496	001500	001509	001512	001553	
ANALISIS QUIMICO % EN PESO									
SiO ₂	37.09	39.44	34.99	37.14	39.24	44.52	38.48	38.16	40.20
Al ₂ O ₃	15.76	15.76	8.17	4.24	12.94	4.83	13.44	5.16	7.21
Fe ₂ O ₃	1.43	6.03	0.27	0.57	7.31	0.00	0.00	1.52	2.80
FeO	1.63	2.77	5.59	0.93	4.93	3.29	1.70	4.45	15.41
MgO	26.90	26.05	38.31	40.37	19.70	33.68	22.63	18.01	24.02
CaO	2.80	2.80	2.80	1.54	5.53	1.32	9.20	20.58	5.54
Na ₂ O	0.02	0.02	0.05	0.04	0.67	0.12	0.14	0.08	0.78
K ₂ O	0.01	0.01	0.01	0.08	0.08	0.00	0.00	0.09	0.24
H ₂ O ⁺	11.45	13.61	7.27	12.25	8.26	9.89	7.35	10.19	1.42
H ₂ O ⁻	1.51	0.84	0.88	1.18	0.32	0.54	0.20	11.06	0.06
TiO ₂	0.75	0.66	0.38	0.56	0.32	0.47	0.47	0.24	0.64
P ₂ O ₅	0.05	0.05	0.00	0.00	0.01	0.12	0.06	0.00	0.05
MnO	0.09	0.15	0.15	0.09	0.34	0.06	0.10	0.12	0.29
CO ₂	0.13	0.10	0.52	0.66	0.00	0.68	5.80	0.02	0.38
Cr ₂ O ₃	0.03	0.02	0.01	0.00	0.15	0.53	0.10	0.03	0.03
NiO	0.26	0.45	0.53	0.27	0.19	0.21	0.34	0.33	0.05
CL	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01
F	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01

CUADRO No. 4

CALCULO DE LA NORMA EN % PESO

Muestra: HGI-264 - Anserma -Caldas-

Ortoclasa	or	0.832		
Albita	ab	7.453	Salic:	24.103
Anortita	an	15.784	Fonic:	75.896
Leucita	Lc	0		
Nefelina	ne	0	Diópsido	di 6.585
Halita	Hl	0.0179	Di - Wo	3.413
Wollastonita	Wo	3.409	Di - EN	2.243
Enstatita	En	3.860	Di - fs	0.928
Ferrosilita	fs	1.602		
Forsterita	fo	41.801	Hipersteno	hy 2.275
Fayalita	fa	19.069	hy - En	1.609
Ortosilicato de Ca	Cs	0	hy - fs	0.666
Magnetita	mt	4.120		
Ilmenita	il	1.037	Olivino	ol 60.870
Apatito	ap	0.120	ol - fo	41.805
Fluorita	fr	0.010	ol - fa	19.065
Calcita	cc	0.870		
Total :		99.9849		

los requisitos de resistencia. Los ensayos de otras clases de esfuerzos se realizan muy rara vez, admitiéndose en la práctica valores por comparación a los de compresión. Para la resistencia a la flexión se acepta como coeficiente 1/ 10el esfuerzo de compresión, para la cizalladura 1/ 15 y para la tracción 1/30 del mismo esfuerzo.

En el cuadro No.5 puede hacerse una comparación entre el valor obtenido para las peridotitas y serpentinitas y los valores usuales en otros tipos de rocas (tomando de Kesler et al., 1940).

CUADRO No. 5

Roca	Rango (psi)
Mármol	8.000 - 27.000
Caliza	2.600 - 28.000
Arenisca	5.000 - 20.000
Cuarcita	16.000 - 45.000
Serpentinita	3.600 - 9.100
Peridotitas	11.000 - 23.000
Granitos	13.000 - 47.000

ESFUERZOS TRANSVERSALES

Los ensayos para determinar los esfuerzos transversales dan un valor más tangible, ya que determinan la flexión que puedan sufrir las rocas cuando estén sometidas a grandes cargas.

El ensayo de la A.S.T.M. (c 99 - 52) determina el módulo de ruptura según la fórmula:

$$R = \frac{3 w L}{2b t_2} ; \text{ en donde}$$

- W = Carga de ruptura, en libras.
- L = Longitud de la luz, en pulgadas.
- b = Ancho de la muestra, en pulgadas.
- t = Espesor de la muestra en pulgadas.
- R = Módulo de ruptura, psi.

Los valores obtenidos variaron entre 1.000 y 9.600 psi, mostrando a medida que aumenta el grado de serpentización, disminuye el módulo de ruptura. Estos valores los podemos comparar (Cuadro No. 6) con los valores dados por Kesler (1940) para diversos tipos de rocas, incluyendo serpentinitas de otras partes del mundo.

CUADRO No. 6

Roca	Rango (psi)
Granito	1.380 - 5.500
Mármol	600 - 4.000
Caliza	500 - 2.000
Pizarra	6.000 - 15.000
Serpentinitas	1.300 - 11.000
Arenisca	700 - 23.000

Las características textuales de la roca, influyen directamente en el esfuerzo transversal; entre mayor coherencia presenten los cristales, mayor será el módulo de ruptura de la roca.

DUREZA Y PROPIEDADES RELACIONADAS

La dureza de una roca es diferente a la dureza de sus constituyentes; es una función compuesta de la dureza de sus minerales, dependiendo en parte, de la abundancia relativa de éstos, de su textura y algunas veces, de la porosidad de la roca.

No existen ensayos definidos para determinar la dureza de una roca; pero hay ciertas pruebas que pueden servir para determinar la dureza relativa, tal como la resistencia a la penetración.

Relacionada a la dureza, se halla la resistencia a la abrasión. El desgaste producido por frotamiento es una de las características principales a considerar, en las piedras destinadas a pisos. Depende de la naturaleza de la misma piedra y la del material con que se efectúa el rozamiento.

El ensayo de la A.S.T.M. (c 241 - 51) dió como resultado (ensayo efectuado en el Ministerio de Obras Públicas), un rango en Ha, entre 13 y 110, dependiendo del grado de serpentización de la roca. Estos valores podemos compararlos en el cuadro No. 7, con valores para otros tipos de roca.

CUADRO No. 7

Material	Rango (Ha)
Granito	37 - 88
Mármol	8 - 42
Caliza	1 - 24
Arenisca	2 - 26
Pizarra	6 - 12
Serpentinita	13 - 110
Travertino	1 - 16

POROSIDAD Y ABSORCION

La porosidad y la absorción tienen una influencia directa en la resistencia a la meteorización y por lo tanto, en la duración de una roca. La porosidad se refiere al volumen de espacios vacíos; la absorción se refiere a la cantidad de líquido que puede absorber cuando se sumerge en éste y se halla íntimamente relacionada a la porosidad.

El ensayo de la A.S.T.M. (c 97 - 47) para determinación de absorción y porosidad, dió el siguiente resultado para serpentinitas de Ituango y Manizales:

0.4 a 1.62 como rango de porosidad.

Estos valores se pueden comparar en el cuadro No. 8 con valores obtenidos por la A.S.T.M., para diversos tipos de rocas.

CUADRO No. 8

Material	Volumen (%)
Granito	0.4 - 3.84
Mármol	0.4 - 2.30
Pizarra	0.1 - 1.70
Cuarcita	1.5 - 2.90
Arenisca	1.9 - 27.30
Caliza	1.1 - 31.00
Serpentinita	0.6 - 3.00

COLOR

El color es una propiedad importante en piedras que van a ser usadas en construcción, especialmente cuando tienen fines ornamentales. El color arquitectónico de una piedra se debe al color del mineral predominante, afectado parcialmente por los demás constituyentes. En la parte descriptiva de las serpentinitas, se hizo un análisis del color y de su variaciones, de acuerdo a los cambios en la composición mineralógica y al grado de alteración de los constituyentes.

DURABILIDAD

Tanto al productor como al consumidor les conviene un patrón mediante el cual, la duración o vida de una piedra, pueda determinarse satisfactoriamente por medio de constantes físicas. La A.S.T.M. tiene dos ensayos tentativos, A.S.T.M. C 217 - 48 T y C 218 - 48 T, ya que es muy difícil trasladar las medidas de laboratorio, en términos de un proceso natural.

Se define como durabilidad, el número de años que una piedra pueda conservar su integridad como material de construcción.

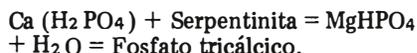
De estudios hechos en la ciudad de New York, se presume que durabilidad, en condiciones normales, de la una serpentinita usada en exteriores, es de 50 - 100 años.

FERTILIZANTES

La abundancia de roca fosfórica en la Cordillera Oriental y el futuro desarrollo de la industria de fertilizantes en el país, basada en estos hallazgos, hace pensar en la posible fabricación de superfosfatos de magnesio.

Mezclando tres partes de superfosfato con una parte de serpentinita, se produce al ser aplicado en el terreno, un fosfato de magnesio que contiene magnesio soluble en agua y disminuye la cantidad de ácido fosfórico soluble (Askew, Stanton).

La química de esta reacción podría presentarse aproximadamente por la siguiente reacción:



La mezcla resultante, tiene la ventaja de convertir el agua hidrosfópica en agua de cristalización, dando un fertilizante que no es aglutinante (Askew, 1942). El carácter no aglutinante es una gran ventaja, ya que el superfosfato-serpentinita, puede aplicarse fácilmente por medio de avionetas, evitando en parte, el empaque en bolsas y haciendo una repartición más uniforme sobre grandes áreas con mayor economía de tiempo.

Originalmente se pueden hacer ensayos mezclando tres partes de superfosfato con una de serpentinita, ya que probablemente, el factor determinante es el contenido de P_2O_5 por unidad. Para usar una proporción 3:1 el contenido de P_2O_5 debe ser de 25% (66-70 FCH). Otra característica del superfosfato-serpentinita, es que tiene un PH neutro o casi neutro, permitiendo su uso en aquellas áreas donde la germinación de las semillas requiere un fertilizante activo, pero es inhibida por un PH bajo.

En estudios recientes, se ha descubierto que una cantidad considerable de magnesio es desplazada de los suelos cuando a éstos se les aplica superfosfato o cloruro de potasio. Hogg (1962) demostró que la aplicación de la mezcla superfosfato-serpentinita, da una cantidad suficiente de magnesio soluble (2.3-5.6 %) para reemplazar el desplazado por la aplicación de cloruro de potasio o de superfosfato.

Las explotaciones para serpentinita deben ser a cielo abierto, buscando aquellas áreas de mayor accesibilidad de modo que se justifique su transporte al centro de produc-

ción de fertilizantes, sin que afecte en mucho el precio del superfosfato y aprovechando inicialmente las zonas de mayor cizallamiento que facilitan la explotación.

Los trabajos sobre fertilizantes especifican que la serpentinita debe contener un 30% de MgO soluble en ácido (en HCL - normal) y menos del 10% de P_2O_3 (Al_2O_3 , Fe_2O_3), soluble en ácido. Estos valores no son difíciles de obtener en la mayoría de los cuerpos de serpentinita de la Cordillera Central (ver cuadro No. 3) ya que algunas muestras llegan a tener hasta 40% de MgO y menos del 10% de Al_2O_3 - Fe_2O_3 combinado. Serpentinitas que contienen inclusiones tectónicas y alteraciones secundarias que produzcan carbonato o pérdida de magnesio, puedan ser perjudiciales para la fabricación de fertilizantes.

REFRACTARIOS

Las serpentinitas y rocas ultrabásicas como fuente probable de materiales para fabricación de refractarios, tendrían varias alternativas:

a) Como fuente de magnesita para fabricación de refractarios básicos La magnesita se encuentra en algunas zonas rellenando venas y fracturas y se ha derivado de la serpentinita por acción de aguas superficiales que contienen CO_2 . Desde hace algún tiempo en España se ha patentado un sistema para obtener magnesita por síntesis directa de las serpentinitas (H. Restrepo, comunicación oral).

b) Como roca olivínica, el olivino es un silicato de magnesio y hierro con cantidades variables de hierro y magnesio, constituyente esencial de rocas básicas y ultrabásicas. La forsterita variedad rica en magnesio con menos del 10% de hierro, tiene un alto punto de fusión y es la clase empleada para refractarios básicos.

c) Como serpentinita; en este caso se emplea mezclada con magnesita fundida (magnesita). Entre nosotros, ésta podría ser la aplicación más inmediata, ya que roca de serpentinita es la más abundantes; pero por ahora debería importarse magnesita. Se usa para refractarios básicos.

d) En la fabricación de refractarios neutros se usa cromo. El cromo ocurre en las rocas básicas y ultrabásicas o en rocas derivadas de éstas por alteración y gran parte se halla asociado a serpentinitas y rocas ultrabásicas ricas en magnesio. Hasta ahora el único depósito conocido para cromo se encuentra en Santa Elena, cerca a Medellín y se está explotando actualmente, para fabricación de refractarios y aceros al cromo en Furesa.

CONCLUSIONES

De los análisis mineralógico, petrográfico, químico y la determinación de las propiedades físicas de los diversos tipos de serpentinitas que ocurren a lo largo de la Cordillera Central, se puede deducir:

1o. Las serpentinitas de esta area pueden emplearse como piedra de construcción, ya que cumple las condiciones mínimas de los ensayos propuestos para la A.S.T.M., para piedras de construcción.

2o. Estas rocas, tienen en parte, estructura fibrosa, de brillo sedoso, de color verde, a veces con manchas rojizas, con muchas irregularidades, veteados y gran riqueza de tonalidades, que se realzan con el pulimento, haciéndola muy apreciada en decoración.

3o. Se deben hacer algunos ensayos sobre aplicación de fosfato-serpentina, en zo-

nas pobres en magnesio para entrar a analizar el factor económico en la producción de este fertilizantes, aprovechando la abundancia de roca fosfórica en la Cordillera Oriental y el auge en la industria fertilizante.

4o. Estudio detallado por métodos geofísicos, geoquímicos, etc., de las zonas de rocas ultrabásicas con el fin de determinar posibles anomalías en cromo. Debe aprovecharse este estudio para bucar anomalías en minerales asociados a este tipo de rocas como: platino, níquel, oro, etc.

5o. El contenido de Ni en todas las muestras analizadas, es mayor que el porcentaje promedio de las rocas de la corteza (0.008 Ni) y por lo tanto, estas rocas pueden considerarse como una fuente potencial para níquel, en el futuro.

BIBLIOGRAFIA

- ADAMS, P. J., 1965 *Geology and ceramics. Institut of Geological Sciences, London.*
- A.S.T.M., 1952 *Book of A.S.T.M: Standards, part 3.*
- BARRERO, D. et al, 1969 *Actividad ígnea y tectónica en la Cordillera Central durante el Meso-Cenozoico. Instituto Nacional de Investigaciones Geológico Mineras, Bogotá, Informe 1552 - Inédito.*
- COLEMAN, R.G., 1966 *New Zeland serpentinites and associated metasomatic rocks. New Zeland Geological Survey. Bull. 76.*
- CURRIER, L. W., 1960 *Geologic Appraisal of Dimension-stone Deposits. Geological Survey. Bulletin 1109. Washington.*
- ESTRADA, A., 1967 *Asociación magnética básica del Nechí. Facultad Nacional de Minas, Medellín. Tesis de grado inédita.*
- GONZALEZ, I. H., 1967 *Estudio petrográfico de las formaciones geológicas del sur de Antioquia y norte de Caldas. Fac. Nacional de Minas, Medellín. Tesis de grado inédita.*

APENDICE

LOCALIZACION DE MUESTRAS MENCIONADAS EN ESTE TRABAJO

HGI-264	Carretera Anserma-Belén de Umbría. Puente Umbría 205-I-D.
AE - 84	Afluente Río Nechí. Plancha 116 II-B.
AE -107	Cerca a Santo Domingo. Plancha 116 II-B.
AE -283	Camino a Cedeño. Plancha 116 II-B.
JCH- 86	Carretera a Mistrato. Cerca a Puente Umbría.
RHB-"SM"	Cerca a Medellín. Salida para Guarne.
La Paloma	Yarumal.
650-A	Carretera Medellín Rionegro-Los Caunces.
724-A	Carretera Medellín-Las Palmas.
665-A	Carretera Loreto-Las Palmas - 2 km de Loreto.
Pozo 27-510	Uré - Plancha 93-I-B.
Pozo 045	Uré - Plancha 93-I-B.
AE-115	Afluente Río Nechí -Plancha 116-II-B.
AE-340	Afluente Río Nechí - Plancha 116-II-B.
AE-310B	Camino a Cedeño - Plancha 116-II-B.
JD-564	Quebrada Zabaletas - Planchas 205-II-A.
DU-783	Quebrada San Sereno-Plancha 104-II-A.
JMC-34D	El Mandarin - Plancha 104-III-D.