

promedio del yeso de un 85,3 % el cual puede ser superior en un 3 % . Estos valores son corroborados por difracción de

rayos-x y termogravimetría. Sería ventajoso un beneficio del yeso por simple lavado, lo cual elevaría su contenido a un 95 %.

REFERENCIAS

1. BROWN , G.: The x-ray indification and cristal structures of clay minerals . Mineralogical Society (clay minerals group) London , 1972.
2. GOTO, M. y Otros : Austrial Journal Chemical . p. 316, 1966.
3. KOSTOV, I.: Mineralogy . Sofia, Oliver and Boyd, 1968.
4. KLOG, H.P. y L.E. ALEXANDER: X-ray diffraction for poly crystallin and amorphous materials. New York, Ithony and Sons, 1954.
5. LJUNGGRE, P.H.: Journal American Ceramic Society . Vod.3 , p. 227 , 1960.
6. MACKENZIE, R.C.: The differential thermal investigation of clays . London Mineralogical Society (clay minerals group), 1975.
7. MIJAEV, V.I.: Determinador roentgenométrico de minerales. (en ruso). Moscú Editorial Ciencia y Técnica, 1957.
8. ORUS ASSO, F.: Materiales de construcción - Habana. Ediciones Revolucionarias, 1966.
9. SCHULTZE, D.: Differential thermoanalyse. Berlin . Verlag Chemie, 1969.
10. TAYLOR, F.W.: La química de los cementos . Bilbao. Ediciones Likmo, 1971.

CDU : 624.12 / 131 : 551 - 2 : 552 . 1 (729.17)

PROPIEDADES FISICO MECANICAS DE LAS ROCAS DE LA FORMACION EL COBRE EN LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CUBA

C.Dr. Rafael Guardado Lacaba , Instituto Superior Minero Metalúrgico .

RESUMEN

La Fm. El Cobre ocupa un área aproximada al 35 % del territorio de la ciudad de Santiago de Cuba.

En este artículo se realiza un estudio de las características, composición, estado y propiedades físico mecánicas de las rocas de la Fm. El Cobre. También se hace un análisis ingeniero geológico del agrietamiento de estas rocas, se valora su influencia en la resistencia y estabilidad del macizo rocoso que compone las rocas de los miembros Caney y Hongolosongo.

A partir de los resultados del análisis de las propiedades físico mecánicas de las rocas, se ofrece la valoración ingeniero geológica del territorio como

ABSTRACT

"El Cobre" Formation comprises approximately 35 % of Santiago de Cuba's area.

This work studies the features, composition, state and physical and mechanical properties of rocks from "El Cobre" Formation.

Furthermore, an engineering-geological analysis is carried out on the jointing of these rocks, evaluating its influence on the strength and stability of the rocky massif as composed by rocks of the Caney and Hongolosongo members of the formation.

Based on the results of the analysis of the physical and mechanical properties of the rocks, an engineering-geological eva-

base natural para las obras ingenieriles. Se analiza el área como posible variante (variante norte) para la ampliación y crecimiento de la ciudad de Santiago de Cuba, según el Plan Director de la ciudad.

INTRODUCCION

Las propiedades físico mecánicas de las rocas y suelos desempeñan un papel importante en el planeamiento y remodelación de las ciudades, ya que rocas y suelos son las estructuras naturales que servirán de base a la proyección de construcciones. De esto se infiere la necesidad de conocer la composición, constitución y propiedades físico-mecánicas de las rocas y cómo podrán comportarse ellas ante la carga que se les imponga, entre otros aspectos.

El conocimiento de las propiedades físico-mecánicas de una región ingeniero geológica posibilita una utilización más racional de las zonas de desarrollo constructivo.

Al analizar el programa de desarrollo de la ciudad de Santiago de Cuba, según su Plan Director, nos dimos a la tarea de valorar las propiedades físico-me-

luation of the area is given as a natural base for engineering works.

This area is analyzed as a possible variant (northern variant) to expand and enlarge Santiago de Cuba City, according to the city Master plan.

cánicas de los suelos y rocas que conforman la ciudad y sus áreas periféricas; y a realizar la valoración ingeniero geológica de las mismas, con el fin de brindar a los proyectistas la información requerida en relación con las áreas más favorables para la construcción de la ciudad.

La composición geológica del territorio de la ciudad de Santiago de Cuba presenta tres complejos ingeniero geológicos de rocas: complejo de rocas del paleógeno (Fm. El Cobre), complejo de rocas del neógeno (Fm. La Cruz) y complejo de rocas cuaternarias. En este artículo se realiza el análisis y la generalización de las investigaciones dadas por las características de la composición, constitución y propiedades físico mecánicas ampliamente distribuidas en los tipos petrográficos de rocas.

Analizando los datos sobre las propiedades físico mecánicas de las rocas de la ciudad de Santiago de Cuba es necesario señalar, que en el perfil existen sedimentos que están relacionados con todos los grupos de rocas, desde la primera hasta la quinta, según la clasificación Savarenski-Lomtadze.

Propiedades físico mecánicas de las rocas de la Fm. El Cobre.

La Fm. El Cobre representa un complejo de rocas vulcanógeno sedimentarias. Ella aflora al norte de la periferia de la ciudad y al este de la bahía de Santiago de Cuba.

Las rocas de esta formación para la ciudad quedan divididas en tres miembros Caney, Hongolosongo y Boniato, los cuales están diferenciados por su edad, composición, condiciones de su formación y propiedades físico mecánicas.

Las rocas del Miembro Boniato se distribuyen fuera del radio de acción del desarrollo prospectivo de Santiago hasta el año 2 000, por tal razón no serán analizadas en este trabajo.

Valoración ingeniero geológica de las rocas del miembro Caney.

El Miembro Caney se encuentra en la parte baja del perfil estratigráfico de la Fm. El Cobre; está compuesta por rocas tobáceas de color gris claro y argilitizadas, que se intercalan en el perfil con estratos de arenis-

cas tobáceas, tobas, mantos de lava de composición andesítica y aglomerados. En la parte superior del perfil (en la región de Santa María) y en la autopista de Santiago-San Luis se observa un manto de andesitas porfiríticas y diabasas. Estas son las más distribuidas en el miembro Caney, a diferencia de las rocas vulcanógeno sedimentarias (tobas, aglomerados, formaciones terrígeno-vulcanogénicas) y las rocas carbonatadas (calizas Cuabitas).

Las rocas del miembro Caney se pueden agrupar dentro de las rocas duras, ellas se diferencian de las rocas del miembro Hongolosongo en una mayor resistencia y un menor agrietamiento, además de presentar poca potencia su corteza de meteorización.

El agrietamiento de las rocas del miembro Caney es un índice para su valoración ingeniero geológica. La elaboración y la sistematización realizada a partir del estudio del agrietamiento de las rocas de este miembro muestran que las tobas brechosas estratificadas con las tobas y areniscas poseen tres sistemas bien definidos: I.- Az del Buz $NE < 85^{\circ}$; II.- Az del Buz $NW 78 < 84$; III.- Az del Buz $84 < 30^{\circ}$.

Las porfiritas andesíticas y las diabasas poseen dos sistemas: I.- Az del Buz $NW 82 < 84^{\circ}$ y II.- Az Buz sur $W 165 < 86^{\circ}$.

Estos dos sistemas de grietas pueden observarse en el esquema de desarrollo del agrietamiento en las rocas de la Fm. El Cobre en el territorio de la ciudad de Santiago de Cuba [1], ellos dependen de las direcciones de las fallas tectónicas.

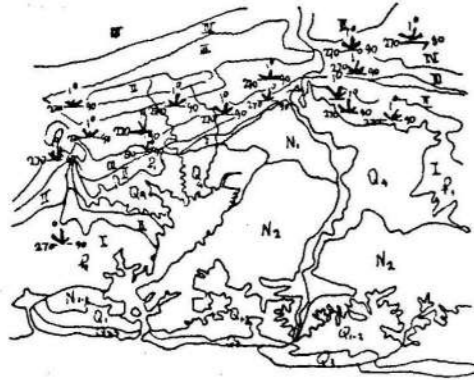


Fig. 1.- Esquema del desarrollo del agrietamiento en las rocas de la Fm El Cobre para el territorio de la ciudad de Santiago de Cuba (confeccionado por R. Guardado)
Escala: 1 : 50 000
I. Rocas débilmente agrietadas (K_{ag} menor 2 %)
II. Rocas con un agrietamiento medio (K_{ag} desde 2 hasta 5 %)
III. Rocas con un agrietamiento fuerte (K_{ag} desde 5 hasta 10 %)
IV. Rocas con un agrietamiento muy fuerte (K_{ag} desde 10 hasta 20 %)
P₁ Paleógeno-Paleoceno Fm El Cobre, miembro Caney
P₁₋₂ Paleógeno-Paleoceno eoceno Fm El Cobre, miembro Hongolosongo
N₁ Neógeno-Mioceno, Fm La Cruz miembro Quintero
N₁₋₂ Neógeno-Mioceno-Plioceno, Fm La Cruz miembro Versailles
Q₁₋₂ Cuaternarios - Fm Ciudadamar
Q₄ Sedimentos cuaternarios

De esta forma, las direcciones fundamentales de las grietas coinciden con las fundamentales dislocaciones disyuntivas de la región.

Al estudiar las rocas en los afloramientos naturales, se determinó el coeficiente de agrietamiento:

$$K_{ag} = \frac{\Sigma a}{A} \cdot 100 = \frac{\Sigma a}{\Sigma a + \Sigma b}$$

Donde

A = área total

Σa = suma de las áreas agrietadas en los límites de A

Σb = suma de las áreas no alteradas en el macizo dentro de los límites de A

Las rocas del miembro Caney se caracterizan por su menor intensidad de agrietamiento, en relación con las rocas del miembro Hongolosongo. Estas rocas poseen un agrietamiento medio $\bar{K}_{ag} = 2-4 \%$ y cerca de las zonas de falla K_{ag} alcanza un valor mayor, $\bar{K}_{ag} = 7,9 \%$. Son las rocas tobáceas las que presentan el agrietamiento más fuerte, 3-8 %, las andesitas están menos agrietadas que las tobas y según el grado de agrietamiento pueden ser clasificadas como rocas débilmente agrietadas, $\bar{K}_{ag} = 0,5$ hasta 2 %. En las zonas donde los estratos de rocas desarrollan sistemas de grietas locales, pueden surgir desprendimientos de rocas en los taludes.

Las porfiritas andesíticas poseen una textura masiva, estructura porfirítica, su composición es cuarzo, feldespato, horblenda y otros minerales accesorios.

Las areniscas tobáceas poseen una textura masiva, su estructura varía de gruesa a fina. En la tabla I se presentan los resultados de las investigaciones de las propiedades físico mecánicas de las rocas más distribuidas en el miembro Caney: andesitas porfirí-

ticas débilmente agrietadas, calizas, calizas poco agrietadas, areniscas, tobáceas y aglomerados.

El análisis de los resultados de estas investigaciones muestra que las rocas que yacen en el miembro Caney son las mejores bases para las cimentaciones, ellas poseen una alta densidad, 2,64 ; 2,82 t/m³, la resistencia de estas rocas varía de 70 a 130 M Pa. El agrietamiento muestra sustancialmente la influencia de la resistencia de las rocas en las condiciones de yacencia natural, el coeficiente de ablandamiento estructural alcanzó valores de 0,35 ; 0,50, en dependencia del grado de agrietamiento y la magnitud de la estructura de bloque. Además al determinar la disminución de la resistencia debido al cálculo de su agrietamiento, estas rocas deberán analizarse como las bases de cimentaciones más confiables para las obras pesadas.

Con el grupo de rocas semiduras se relacionan los sedimentos vulcanógenos sedimentarias del miembro Hongolosongo. Su potencia alcanza los 1,330 m y se distribuyen por un área aproximada de alrededor de 25 km en el área de estudio. Comprende las rocas terrígeno piroclásticas, que están representadas fundamentalmente por aglomerados de clastos medios a finos y

tobas, que contienen una diversidad de estratos de tufitas, areniscas tobáceas, calizas, aleurolitas y otros. En estas rocas se expresa claramente la estratificación. En el miembro Hongolosongo frecuentemente encontramos conglomerados formados por clastos de composición tobácea, areniscas, tobas de granos finos, tufitas y aleurolitas.

Los aglomerados son rocas piroclásticas cuyos clastos y cemento poseen distinta composición. En el miembro Hongolosongo presentan un tamaño de clastos desde 1 hasta 20 cm. La manifestación de clastos medios de andesitas y sus tobas testimonian, que en el período de formación de estos aglomerados el papel fundamental lo desempeñan los productos de composición andesítica. Las rocas con clastos más finos se relacionan con las tobas. En los aglomerados, por lo general, no se expresa la estratificación, los clastos en ellos poseen forma angular y redondeada. El valor promedio de los clastos lo tienen las andesitas, y las tobas poseen distinta coloración y pigmentación, su estructura y grado es variable. En algunos casos se encuentran clastos de diabasas, basaltos, calizas, tobas arenosas y tufitas. La masa fundamental de los aglomerados está representada por clastos de forma muy angulo-

sa, material tufogénico, que por lo general se encuentra cloritizado y sericitizado. En la zona del camino viejo del Cobre el tamaño de estos clastos alcanza 10-20 cm y un 70 % del volumen de las rocas

tramos concreciones carbonatadas. Estas rocas presentan un grado de meteorización mayor que las del miembro Caney, aunque están menos cloritizadas. La composición mineral de estas arcillas y argilitas

TABLA N.º. I: PROPIEDADES FÍSICAS DEL MIEMBRO HONGOLOGONGO

Rocas	No. de Muestras	Densidad de la parte mineral	Densidad de la roca	Porosidad
Rocas tobáceas	24	$\frac{2,70 - 2,84}{2,76}$	$\frac{2,42 - 2,58}{2,48}$	$\frac{1,6 - 18,5}{-}$
Argilitas	18	$\frac{2,67 - 2,85}{2,72}$	$\frac{2,38 - 2,64}{2,48}$	$\frac{2,4 - 14,1}{-}$
Arcillas tobáceas	35	$\frac{2,62 - 2,78}{2,70}$	$\frac{2,28 - 2,58}{2,47}$	$\frac{2,7 - 19,0}{15}$
Areniscas tobáceas	16	$\frac{2,65 - 2,76}{2,72}$	$\frac{2,49 - 2,59}{2,50}$	$\frac{2,1 - 16,0}{-}$

En el perfil de las rocas del miembro Hongolosongo se observa que en sus partes bajas frecuentemente se encuentran rocas terrígenas, y en las partes superiores piroclásticas. Las areniscas tobáceas poseen una composición media y un color gris verdoso. La Potencia varía desde unos centímetros hasta 25 m .

Estas rocas están relacionadas con tobas andesíticas de color verde oscuro y carmelita.

En su composición predominan las plagioclasas, labrador, los piroxenos, anfíboles, y componentes vitroclásticos. En los sedimentos del miembro Hongolosongo se encuentran arcillas tobáceas y argilitas. Siempre en ellas encon-

ha sido poco estudiada.

Todas las rocas del miembro Hongolosongo están fuertemente meteorizadas y agrietadas, lo que se observa con claridad en el esquema de agrietamiento. Al estudiar el agrietamiento es preciso establecer el número de sistemas de grietas, la frecuencia, los elementos de yacencia y otros.

El agrietamiento de las rocas del miembro Hongolosongo constituye un factor importante para su valoración ingeniero geológica. Las grietas en las rocas de este miembro se pueden dividir en tectónicas y no tec-

tónicas. Las grietas tectónicas se desarrollan en todos los tipos de rocas bajo la influencia de las fuerzas tectónicas. En general sus particularidades son: 1.- Gran resistencia de las grietas según la superficie y la profundidad. Pueden observarse a decenas de metros de profundidad cortando los paquetes de rocas de distintas composiciones petrográficas. 2.- Presentan una determinada distribución espacial, dando lugar a sistemas bien

Luis. Cuando se explotan grietas de este tipo ocurren deformaciones considerables, las que están acompañadas de desplazamientos de grandes masas de rocas.

Para estas rocas tienen un gran valor las grietas no tectónicas y litológicas .

En las rocas del miembro Hongolosongo se observan dos sistemas verticales de grietas y uno horizontal que se solapa con las capas (grietas de estratificación).

TABLA N.º. II: PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LAS ROCAS DEL MIEMBRO CANEY

Rocas	Número de muestras	Densidad de la parte mineral	Densidad de la roca	Porosidad %	Módulo de deformación general	Resistencia a la expansión	Resistencia a la compresión
Andesita porfirita	17	$\frac{2,70 + 2,88}{2,78}$	$\frac{2,72 - 2,77}{2,74}$	$\frac{0,2-4,1}{1,81}$	$\frac{1,7-4,1}{2,7}$	$\frac{16 - 20}{17,5}$	$\frac{125 - 125}{125}$
Andesita porfirita débilmente agrietada	16	$\frac{2,71 - 2,78}{2,74}$	$\frac{2,68 - 2,72}{2,70}$	$\frac{2,3-4,0}{2,7}$	$\frac{1,2-3,4}{1,6}$	$\frac{13 - 18}{15,8}$	$\frac{38 - 120}{119}$
Calizas	12	$\frac{2,70 - 2,72}{2,70}$	$\frac{2,67 - 2,72}{2,68}$	$\frac{3,9-7,0}{5,3}$	$\frac{1,2-2,3}{1,8}$	$\frac{9 - 12}{13,6}$	$\frac{89 - 116}{111}$
Calizas débilmente agrietadas	16	$\frac{2,65 - 2,68}{2,67}$	$\frac{2,64 - 2,68}{2,64}$	$\frac{6,1-7,3}{6,6}$	$\frac{0,9-2,0}{1,4}$	$\frac{6 - 9}{6,8}$	$\frac{70 - 88}{78}$
Areniscas tobáceas	15	$\frac{2,7 - 2,79}{2,75}$	$\frac{2,68 - 2,72}{2,70}$	$\frac{2,7-5,1}{4,1}$	$\frac{0,8-1,9}{1,2}$	$\frac{11 - 15}{13,6}$	$\frac{85 - 100}{88}$
Aglomerados	17	$\frac{2,72 - 2,77}{2,73}$	$\frac{2,67 - 2,76}{2,68}$	$\frac{1,6-3,8}{2,7}$	$\frac{1,5-2,4}{2,0}$	$\frac{10 - 17}{12,1}$	$\frac{82 - 88}{75}$

definidos. 3.- Combinación normal de los sistemas de grietas con las dislocaciones disyuntivas y plicativas.

De las grietas tectónicas una de las más importantes en la zona es la grieta por cizallamiento, que se presenta en los cortes de la autopista Santiago - San

En este miembro las grietas de estratificación se forman por los contactos de las capas de distinta composición litológica, y también en el interior de las capas según la superficie de estratificación donde las rocas tobáceas son débiles. Una mayor densidad en el agrietamiento de

las rocas se observa en las aleurolitas de granos muy finos y en las arcillas tobáceas. Según el grado de agrietamiento, los estratos tobáceos del miembro Hongolosongo poseen un sistema de grietas NO. $86 < 26^\circ$ o 30° .

rización, las gravitacionales y las artificiales (tecnogénicas). Ellas se desarrollan en conjunto hasta una profundidad de 6 a 10 m.

En el campo las grietas tectónicas se dividen en zonas de dis-

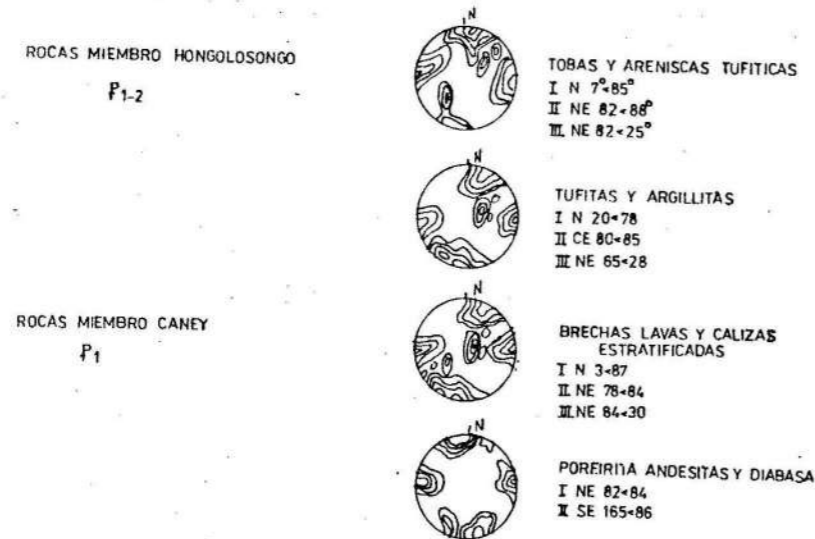


Fig. 2.- Diagrama de agrietamiento en las zonas donde se distribuyen las rocas de la Fm El Cobre (confeccionado R. Guardado)

La distancia entre las grietas interiores depende de la composición de las rocas y de la potencia de las capas. En las arcillas tobáceas y las argillitas (en ellas un poco menor) alcanza valores desde la unidad de centímetros hasta decenas; en las areniscas, calizas y conglomerados desde decenas de centímetros hasta el metro.

Con las grietas no tectónicas se relacionan las grietas de meteo-

tinta intensidad fuertemente agrietadas donde \bar{K}_{ag} va desde 5 hasta 10%, muy fuertemente agrietadas donde \bar{K}_{ag} va desde 10 hasta 20%, las que se encuentran estrechamente relacionadas con las alteraciones tectónicas, su anchura es de 10-15 m a lo largo de las fallas longitudinales (de acuerdo con las fallas de Boniato y Pelado). La intensidad del agrietamiento alcanza su máxima magnitud según el

golosongo se caracterizan por una alta porosidad, sin embargo ellas pueden agruparse dentro de las rocas semiduras, con una resistencia de baja a mediana (3-4 M Pa). Son débilmente comprensibles y el módulo de deformación general (E_o) no sobrepasa los 1 000 M Pa.

Para valorar las condiciones de construcción de la autopista, en el tramo Santiago-San Luis, en el estadio de proyecto técnico, fueron realizados algunos ensayos para determinar los valores de las propiedades de deformación de las rocas en la Fm.

El Cobre. Del análisis de los materiales según el agrietamiento y los resultados de estos ensayos, fue establecida una correlación entre el módulo de deformación general (E_o) y el coeficiente de agrietamiento (\bar{K}_{ag}) para las rocas vulcanógeno sedimentarias y las calizas de la Fm. El Cobre.

Como se observa en el gráfico, $E_o = f(\bar{K}_{ag})$, las calizas poseen un módulo de deformación general más alto que las tobas del miembro Hongolosongo.

Al analizar las condiciones ingeniero geológicas existentes para la zona de desarrollo del norte de Santiago de Cuba, variante norte del Plan Director de la ciudad podemos afirmar que:

1. En el área donde se ubica la

zona de desarrollo norte de la ciudad de Santiago de Cuba afloran las rocas vulcanógeno sedimentarias de la Fm. El Cobre, la cual se subdivide en tres miembros geológicos: Hongolosongo, Caney y Boniato, éste último aflora fuera de los límites del territorio y no fue tomado en cuenta.

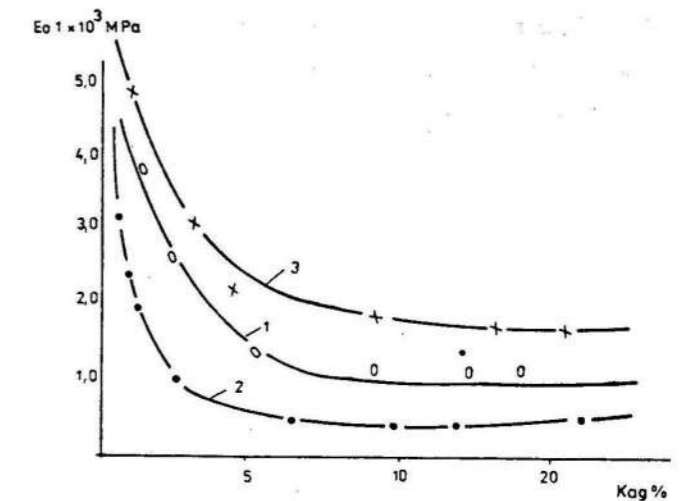


Fig. 4. Dependencia entre el módulo de deformación general E_o y el coeficiente de agrietamiento K_{ag}

- 1. ■ Tobas
- 2. □ Tobas meteorizadas
- 3. ■ Calizas

2. Las rocas del miembro Caney se agrupan dentro de las rocas duras y semiduras. Se caracterizan por un bajo índice de agrietamiento, poseen una alta resistencia, son estables, poco deformables. Este miembro presenta las mejores bases naturales para las cimentaciones de cualquier tipo de edificio u obras industriales.

3. Las rocas del miembro Hongolo-

sistema de grietas: Az del Buz $7^{\circ} < 85^{\circ}$ y Az del Buz $82^{\circ} < 86^{\circ}$. Un mayor valor del coeficiente de agrietamiento ($K_{ag} = 10-15\%$), se observa en los taludes a lo largo de la autopista Santiago-San Luis.

Las manifestaciones de las regularidades del desarrollo del agrietamiento se encuentran expresadas en el modelo de agrietamiento de las rocas del miembro Hongolosongo. En este modelo se muestra la distribución de los sistemas fundamentales de grietas

en distintas génesis, el agrietamiento y la intensidad por zonas expresan el carácter estático de distribución de cada sistema; conlleva las dislocaciones tectónicas, su orientación, anchura y se dividen con distinta génesis de agrietamiento e intensidad.

Los resultados de las investigaciones experimentales al determinar las propiedades físico mecánicas de las muestras de rocas se muestran en la tabla II. En esta tabla las rocas del miembro Hon-

songo son rocas semiduras, que poseen un mayor grado de alteración y agrietamiento. El agrietamiento de las rocas de este miembro constituye un factor importante en la valoración ingeniero geológica de la zona.

Puede afirmarse que los sedimentos del miembro Hongolosongo se caracterizan como bases de cimentaciones confiables. Las mayores dificultades surgirán en la acción de las obras en zonas cercanas a las dislocaciones tectónicas, don-

de se presenta una variabilidad de las rocas debido a su debilitamiento. En tales zonas pueden ocurrir asientos diferenciales.

REFERENCIAS

1. GUARDADO LACABA, RAFAEL : Esquema ingeniero geológico de la ciudad de Santiago de Cuba. Tesis de candidatura en idioma ruso . Leningrado , 1984 .

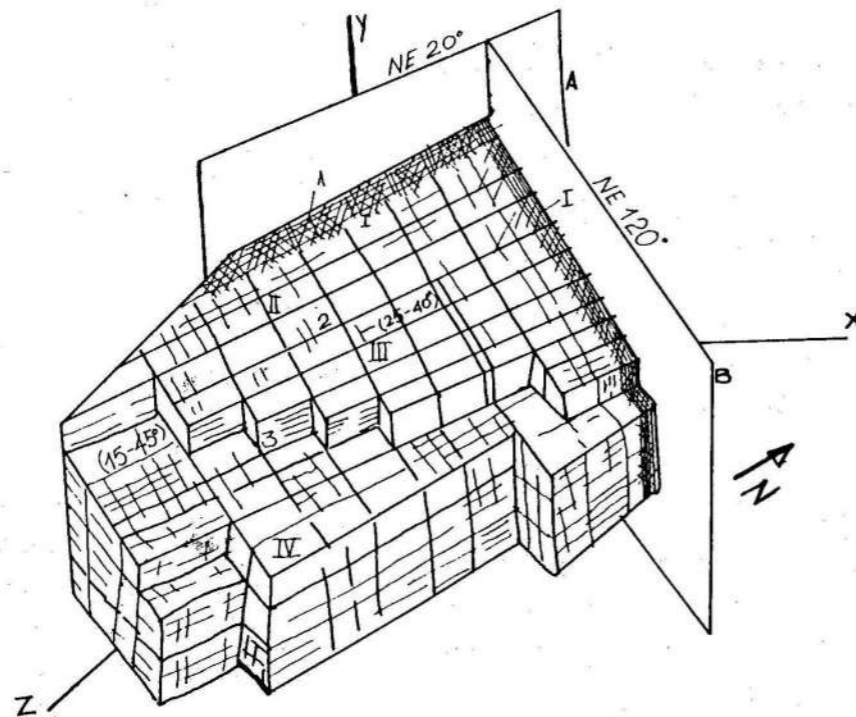


Fig. 3.- Modelo esquemático del agrietamiento en los paquetes rocosos del miembro Hongolosongo - Fm El Cobre
 I. Zona con un agrietamiento muy fuerte
 II. Zona con un agrietamiento fuerte
 III. Zona con un agrietamiento medio
 IV. Zona con un agrietamiento débil.
 A y B Planos de dislocaciones disyuntivas (Planos de fallas)
 1. N ($7^{\circ} - 15^{\circ}$) < ($80^{\circ} - 87^{\circ}$)
 2. Az del Buz NE ($80^{\circ} - 86^{\circ}$) < ($85^{\circ} - 87^{\circ}$)
 3. Az del Buz N-NE (86°) < ($15^{\circ} - 30^{\circ}$)