



Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=mD4pbD9HiqU>

Caracterización Físico-Mecánica de Rocas para Propósitos de Ingeniería en la Región Llanos

Torres H. Jenny Carolina
Baquero E. Vivian Yineth
Barbosa H. Camila Andrea

Caracterización Físico-Mecánica de Rocas para Propósitos de Ingeniería en la Región Llanos

TORRES H. Jenny Carolina
Universidad Santo Tomas,
jennytorres@usantotomas.edu.co
Estudiante de pregrado

BARBOSA H. Camila Andrea
Universidad Santo Tomas,
Camila.barbosa@usantotomas.edu.co
Estudiante de pregrado

BAQUERO E. Vivian Yineth
Universidad Santo Tomas,
vivianbaquero@usantotomas.edu.co
Estudiante de pregrado

Resumen: Las rocas han sido uno de los materiales predominantes en la construcción por sus propiedades físicas y su comportamiento mecánico tales como su resistencia, durabilidad y rigidez. En este estudio se recogieron muestras de roca en un área del Vaupés donde aflora el complejo Migmatítico de Mitú. Sobre los núcleos de rocas graníticas extraídos en cuatro zonas diferentes del área de estudio, se realizaron ensayos de caracterización básica, compresión inconfiada y velocidad de ondas sónicas con el objeto de definir el comportamiento mecánico de los materiales. Los resultados ilustran que los valores de densidad, resistencia a la compresión inconfiada y las constantes elásticas se encuentran dentro de los rangos esperados para los granitos. En la evaluación como material de construcción estructural u ornamental se encontraron parámetros que arrojan resultados bajos de susceptibilidad a procesos patológicos de deterioro.

Las rocas estudiadas presentan condiciones óptimas para ser utilizadas como materiales de revestimiento, previo un proceso de extracción, corte, aserrado y acabado. Su uso como material triturado de agregación en la elaboración de concretos y en la gradación de afirmados, subbase y bases, complementándolo con otros materiales de diferentes tamaños de partícula, sería óptimo debido a su alta resistencia al desgaste.

Palabras clave: Granitos, resistencia a compresión, constantes elásticas, rocas en construcción.

Abstract: The rocks have been one of the main materials used in construction for their physical properties and mechanical behavior such as its strength, durability and stiffness. In this study rock samples were collected in an area where we can show Vaupés Mitu Migmatítico complex. On the nuclei of granitic rocks extracted in four different areas of the study area, basic characterization tests, unconfined compression and velocity of sound waves in order to define the mechanical behavior of materials they were made. The results illustrate that the density values, unconfined compressive strength and the elastic constants are within expected ranges for granites. The evaluation as structural or ornamental material construction parameters results show low susceptibility to pathological processes of deterioration found. The rocks studied are optimal for use as coating materials condition, before an extraction process, cutting, sawing and finishing. Its use as aggregate crushed material in the preparation of concrete and affirmed gradation, subbase and base, supplemented with other materials of different particle sizes, it would be optimal due to its high wear resistance.

Keywords: Granites, compressive strength, elastic constants, rocks under construction.

1. Introducción:

En proyectos de ingeniería civil, el hombre ha usado las rocas como material de cimentación y como materia prima para la construcción; entre las aplicaciones que pueden tener estos materiales en la construcción se encuentran: Decoración de interiores, revestimientos de fachadas, materiales para pavimentos (p.e. adoquines), etc. El uso que se dé a la roca en la industria de la construcción dependerá de la composición mineralógica, propiedades químicas, características texturales, estructurales y demás propiedades físicas y de comportamiento mecánico. Estas características son consecuencia del origen del material pétreo principalmente. En el departamento de Vaupés - Colombia, aflora el complejo Migmatítico de Mitú, donde se explota de manera artesanal rocas en algunos sectores de la vía Mitú - Monforth. Esta explotación minera se realiza en cinco canteras a través de variación de la temperatura para fracturar la roca.

Con el objeto de conocer características básicas de éstas rocas, algunas propiedades sobre su comportamiento mecánico y definir las cualidades para potenciar los usos de estos materiales; se definió un programa experimental sobre muestras extraídas en los sitios de explotación. Los materiales de este estudio corresponden a rocas ígneas de textura granular tipo granito, en la cuales la distribución casi homogénea de sus componentes y sus características texturales darían lugar a un buen comportamiento mecánico en diversos tipos de obra civil, según Ángulo (2005).

Las pruebas de laboratorio corresponden a contenido de agua, densidad, absorción, velocidad de ondas sónicas y resistencia a la compresión simple. Con los resultados de estas pruebas se conocieron las propiedades de los materiales a través del comportamiento de las curvas esfuerzo deformación, velocidades de ondas y los parámetros elásticos obtenidos a partir de los anteriores.

El análisis de las muestras y la interpretación de las propiedades ingenieriles de las rocas de este estudio, se realizará en términos de las constantes elásticas y el estudio de los valores de la velocidad ultrasónico (compresión y corte). A partir de este análisis se

define los usos y las limitaciones que se les puede dar a las rocas como insumo o material de construcción.

2. Material en Estudio y Técnicas Experimentales

2.1. Propiedades de las Rocas en Estudio.

El material de este estudio corresponde al tipo de rocas ígneas graníticas, y su afloramiento se encuentra en el municipio de Mitú capital del departamento del Vaupés - Colombia. Los minerales esenciales presentes en estas rocas en su mayoría corresponden a cuarzo, plagioclasa y feldespato.

Se tomaron cuatro muestras, cada una de ellas en diferente lugar, por sus diferentes características visuales y usos en la región, de estas se extrajeron los correspondientes núcleos para realizar los ensayos de caracterización básica tales como contenido de agua, porosidad, absorción y densidad según la norma ISRM. Se requiere que las dimensiones de los núcleos tengan aproximadamente un diámetro de 54mm con una relación altura diámetro 2:1. Teniendo en cuenta las recomendaciones de la norma y las normas ASTM D2845-08 y ASTM D2938, al igual que las recomendaciones brindadas por S. Siegesmund y R. Sneathlage (2014).

De esta manera, según (Ingeominas, 2011), se puede evidenciar que las rocas Ígneas son mineralógicamente de composición similar y las principales diferencias son texturales macroscópicas y estructurales.

La roca cristalina identificada como Migmatita de Mitú, en general, es una roca masiva de color gris claro a pardo con moteado rosado y negro, de grano medio a grueso de composición granítica: cuarzo, feldespato alcalino (microclina con cristales hasta 4 cm tabulares), cuarzo de color blanco traslucido, plagioclasa (Andesina-Oligoclasa), micas (Biotita). Véase la Tabla 1.

Tabla 1. Ejemplo porcentual de la composición mineralógica de una Migmatita

36,8	19,9	32,8	7,4	2,9	TR	
Cuarzo	Plagioclasas	Feldespato Potásico	Biotitas	Opacos	Zircón y Rutilios	Migmatita

Una vez identificada la composición mineralógica de la roca, se procede a nombrarla como Migmatita del

Mitú y así mismo renombrarla por el orden de extracción de la cantera como se evidencia en la tabla 2.

Tabla 2. Códigos de las rocas

No.	Código	Localización	Tipo de roca	Clase de roca
1	M1	Vaupés-Cantera afloramiento del complejo migmatítico	Migmatita	Ignea
2	M2	Vaupés-Cantera afloramiento del complejo migmatítico	Migmatita	Ignea
3	M3	Vaupés-Cantera afloramiento del complejo migmatítico	Migmatita	Ignea
4	M4	Vaupés-Cantera afloramiento del complejo migmatítico	Migmatita	Ignea

3. Técnicas Experimentales

3.1. Compresión Uniaxial

Este ensayo es utilizado en las diferentes ecuaciones constitutivas para decidir el tipo de perforación o excavación que debe usarse. Los parámetros encontrados en pruebas de laboratorio pueden ser cercanos a los que tiene la roca in situ. (Mateus, 2005). Según Mosch and Siegesmund (2007) La clasificación de las rocas varía según la fuerza de compresión. Los valores alcanzados de resistencia brindados son los siguientes:

- Roca dura > 110 MPa
- Roca media entre 70 MPa y 110 MPa
- Roca débil entre 55 MPa y 70 MPa

3.2. Velocidad de Sonido en las Rocas

El ensayo de velocidad de sonido en las rocas permite conocer propiedades de forma no destructiva, manteniendo las propiedades naturales del material, a partir de este ensayo pueden encontrarse de manera indirecta los valores de Módulo Young (E), Relación de Poisson (ν) Módulo de rigidez (G).

4. Análisis y Discusión de Resultados

Teniendo en cuenta que durante el programa experimental se encontraron algunas propiedades físicas como: contenido de agua, densidad, absorción, porosidad; y los parámetros elásticos, como: Módulo de Young (E) Relación de Poisson (ν), Módulo de corte, a partir de pruebas de velocidad de onda y ensayos de resistencia a la compresión simple (RC); se realiza el análisis de los resultados obtenidos y su importancia para lograr definir algunos usos que se le pueden dar a estos materiales como materia prima en obras civiles.

Las rocas están compuestas por cuarzo, plagioclasa y feldespato K, con una mínima presencia de circón. La tabla 4 muestra la composición mineralógica general de las muestras estudiadas. De acuerdo a esto se pueden identificar algunos parámetros de dureza y densidad de los minerales con los cuales es posible establecer valores tentativos de densidad y dureza de acuerdo a la composición mineralógica que posee cada roca. En las tablas 5 se observa que la densidad de las muestras tiende a ser muy similar a la de sus principales componentes mineralógicos, con variaciones menores.

Tabla 3. Propiedades físicas de las muestras

Código muestra	Contenido de agua (% W)	Densidad ρ (g/cm ³)	Porosidad (% n)
M1	0,12	2,64	0,44
M2	0,12	2,63	1,06
M3	0,11	2,62	1,12
M4	0,11	2,60	2,15

Tabla 4. Composición mineralógica esencial de las muestras y su densidad.

Roca	Cuarzo	Plagioclasa	Feldespato K	Densidad (g/cm ³)
M1	--	--	--	2,635
M2	37,0%	31,5%	31,5%	2,647
M3	26,4%	34,0%	39,6%	2,624
M4	41,1%	20,5%	38,4%	2,605

Tabla 5. Propiedades de dureza y densidad de acuerdo a la mineralogía. Información suministrada.

Minerales esenciales	Dureza (Mohs)	Densidad relativa (g/cm ³)
Cuarzo	7	2,65
Plagioclasa	6 - 6,5	2,62
Feldespato K	6	2,55 - 2,63

4.1. Constantes Elásticas

Resistencia a la compresión simple (RC): La composición mineralógica de la roca sugiere una resistencia admisible en el rango entre 78 MPa y 265 MPa. En la tabla 6, se observa que la resistencia a la compresión simple de las muestras M1 y M2, se encuentra dentro del rango mencionado anteriormente. En las muestras restantes los valores no se encuentran en el rango esperado, se infiere que este resultado esté relacionado con la presencia de microfisuras presentes en los núcleos ensayados. El material se clasifica como una roca de resistencia media a alta de acuerdo con Plaza (2010).

Tabla 6. Resistencia a la compresión simple

Muestra	Resistencia a la compresión Simple, RC (MPa)
M1	107,75
M2	80,59
M3	62,81
M4	67,64

Módulo de Young (E): El módulo representa la rigidez del material en términos del valor del esfuerzo. Esta constante elástica se determinó a partir de los resultados del Ensayo de Compresión Simple. La Tabla 7 muestra los valores de la constante elástica para las cuatro muestras de roca. De acuerdo con Farmer (1968), el rango de valores para rocas graníticas para el módulo de elasticidad se encuentra entre 19000MPa y 59000MPa, lo cual corresponde con lo encontrado en las rocas de este estudio. La muestra M1 presenta un E superior al esperado, lo cual podría estar asociado a su composición mineralógica.

Tabla 7. Módulo de Elasticidad

Muestra	Módulo de elasticidad, E (MPa)
M1	75781
M2	46461
M3	27223
M4	33020

La figura 1 presenta la clasificación ingenieril [véase tabla 12] de las rocas en términos de rigidez del material dependiendo de la relación entre la resistencia a la compresión simple y el módulo de Elasticidad. Las muestras M1, M2 y M4, presentan una resistencia alta, con una rigidez alta a muy alta, mientras que la muestra M3 presenta resistencia media y rigidez alta.

Varios autores han determinado los valores aproximados de velocidad de onda compresional (Vp) y velocidad de onda de corte (Vs) para diferentes tipos de roca. La tabla 8 muestra los encontrados por Bautista (2011) y la Figura 2, los encontrados por Shön (1996). Los obtenidos en las muestras de este estudio se presentan en la tabla 9. Se observa que valores de las velocidades de onda están dentro de la magnitud esperada, teniendo bastante correspondencia con el tipo de material que se está ensayando.

Tabla 8. Velocidad de onda en diferentes tipos de roca. (Bautista, 2011)

Muestra	Velocidad de onda P, Vp(m/s)	Velocidad de onda S, Vs(m/s)
Granito	5200	3000
Basalto	6400	3200
Calizas	2400	1350
Areniscas	3500	2150

Tabla 9. Velocidad de onda en las muestras

Muestra	Velocidad de onda P, Vp(m/s)	Velocidad de onda S, Vs(m/s)
M1	5268	2622
M2	4522	3044
M3	4058	2631
M4	4420	2866

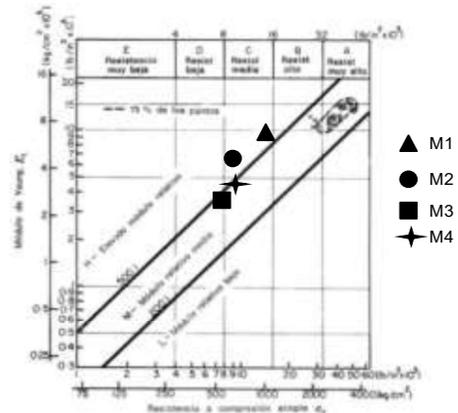


Figura 1. Clasificación ingenieril de roca intacta en términos de su rigidez y resistencia. (Correa,

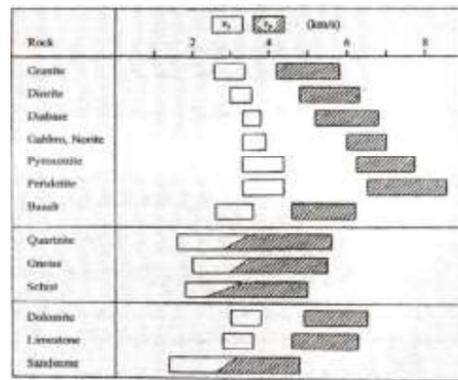


Figura 2. Rangos de velocidad de ondas de compresión (Vp) y ondas de corte (Vs) de diferentes tipos de roca (Shön, 1996).

Se usaron los resultados de los diferentes ensayos para encontrar el valor del módulo de elasticidad. En la tabla 10 se presenta los valores deducidos para cada tipo de ensayo usando valores directos (Ensayo de compresión simple) y una correlación en el caso de la prueba de velocidad de ondas sónicas. Se observa una variación del parámetro determinado a partir del ensayo de velocidad de onda entre el 14% y 52% con respecto al ensayo de compresión simple. De esta manera, distintos autores indican que para rocas no-elásticas el valor de Módulo de Elasticidad, E es 49000 MPa.

Tabla 10. Módulo de Elasticidad usando ensayo de compresión simple y correlación en ensayo de velocidad de ondas sónicas

Muestra	Módulo de elasticidad, E (MPa)		
	Velocidad de onda	Compresión simple	Variación
M1	48511	75781	36%
M2	52820	46461	14%
M3	41305	27223	52%
M4	48497	33020	47%

Una vez establecidos los Módulos de Elasticidad y la resistencia a la compresión simple se realiza la clasificación definida por Deere y Miller (1969). Figura 1.]

Tabla 11. Clasificación de las rocas según Deere y Miller

Muestra	Resistencia a la compresión Simple, RC (MPa)	Módulo de elasticidad, E (MPa)	Clasificación
M1	107,75	75781	CH-2
M2	80,59	46461	CH-2
M3	62,81	27223	DM-3
M4	67,64	33020	CM-3

Se observa que las cuatro muestras presentan una rigidez muy alta, con algunas variaciones en su resistencia, siendo la muestra M3 la de menor resistencia. Se destaca que la muestra M1 presenta un comportamiento de alta resistencia y rigidez.

Relación de Poisson (ν): Al igual que el Módulo de Young (E), el coeficiente de Poisson (ν) es una de las cinco variables elásticas necesarias para definir cualquier material, está es muy utilizada en ingeniería ya que da una medida directa de una roca a una fuerza, esto se puede evidenciar por medio de las curvas tensión/ deformación. Figura 3.

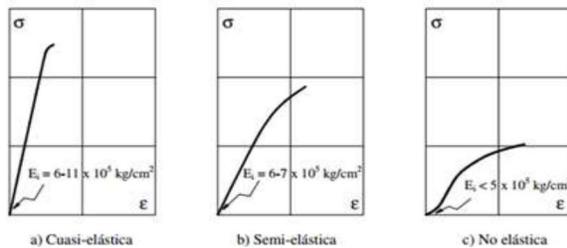


Figura 3. Típica relación tensión/ deformación en rocas.

En la tabla 12 se observan los datos obtenidos por medio del ensayo de velocidad de onda sónica realizado y en la tabla 13, se presentarán los obtenidos por el ensayo de compresión simple. Con estos datos se elabora un análisis comparativo de los resultados.

Tabla 12. Variables elásticas obtenidas por medio del ensayo de ultrasonido, para definir la roca.

Muestra	Relación de Poisson (n)	Módulo de elasticidad, E (MPa)	Módulo de corte, G (MPa)
M1	0,335	48511	18165
M2	0,086	52820	24318
M3	0,137	41305	18160
M4	0,137	48497	21325

Tabla 13. Variables elásticas obtenidas por medio del ensayo de compresión simple, para definir la roca.

Muestra	Relación de Poisson (n)	Módulo de elasticidad, E promedio (MPa)
M1	0,43	62357
M2	0,159	52598
M3	0,166	29541
M4	0,28	49983

De esta forma, en la figura 4, se puede relacionar E y (ν), y así realizar un análisis basado en el supuesto de rocas elásticas con un valor constante ν y así, por medio de este ideal poder mostrar cómo las rocas un elevado módulo de elasticidad se acercan al mismo, y ver como valores de ν para rocas de bajos módulos representan rocas no elásticas, muestran valores bajos y variables. (Canoba & Fraga, 2004)

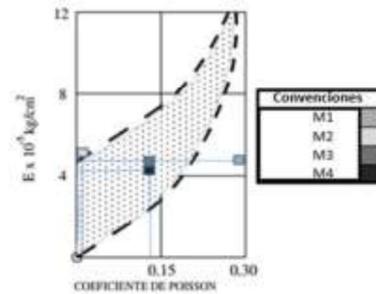


Figura 4. Módulo de Elasticidad vs Coeficiente de Poisson. (Canoba & Fraga, 2004)

De lo anterior se puede deducir que tanto el ensayo de velocidad de onda como el de compresión simple, por medio del módulo de Young, arrojan parámetros elásticos que definen las rocas como materiales semi-elásticos y no elásticos, los cuales en conjunto con el coeficiente de Poisson señalan que pertenecen a la gama de los granitos y microgranitos.

Módulo de corte (G): Se plantea que entre el módulo de corte (G) y Módulo de Young (E), existe una relación lineal, por lo tanto la roca será más rígida si presenta un mejor comportamiento elástico, caso de la muestra M1. [Véase tabla 13 y figura 5]

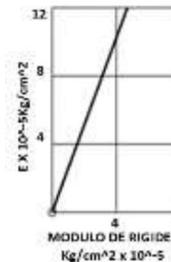


Figura 5. Módulo de Young. vs Módulo de Rigidez (Canoba & Fraga, 2004)

Relación Módulo de Young - Velocidad de onda P: La relación entre la velocidad de onda P y el módulo de Young de las muestras presenta un aumento de rigidez del material conforme aumenta la velocidad de onda de compresión.

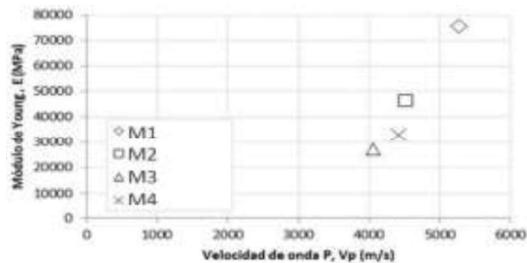


Figura 6. Relación entre velocidad de onda P y módulo de elasticidad

La figura 6 muestra esta relación y la probeta que mejores condiciones presenta es la definida como M1, de la cual no se tiene información sobre su composición mineralógica. La velocidad de onda es altamente influenciada por la porosidad y la cantidad y orientación de fisuras o grietas que tenga el espécimen. En los materiales probados al parecer no se encuentran fisuras en sentido transversal y se prevé que la variación de la rigidez debe estar influenciada principalmente por la distribución del tamaño de los granos y la mineralogía.

4.2. Formas de Fractura en Ensayos de Compresión Simple.

El tipo de falla de los especímenes puede estar asociado al tamaño y distribución de los granos. En el espécimen M1 se presentan macro fisuras a lo largo de la dirección axial, esto quiere decir que para que se presentará la rotura a compresión se tenía que evidenciar una densidad alta de fisuras. En la figura 7, se evidencia una de las dos formas en las que una roca se rompe por compresión, como lo es la fractura, la cual es generada por la concentración local de fisuras microscópicas que se unen formando una fisura macroscópica durante la aplicación de la carga uniaxial. (Benavente, 2006)

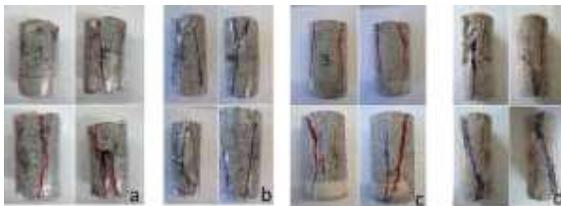


Figura 7. **a.** Tipo de Falla en muestra M1. **b.** Tipo de Falla en muestra M2. **c.** Tipo de Falla en muestra M3. **d.** Tipo de Falla en muestra M4.

Cabe resaltar que, si bien se asume que la fractura de la roca por compresión ocurre al alcanzarse la resistencia máxima, experimentalmente se ha comprobado que la generación de microfisuras y proceso de rotura comienza para esfuerzos previos al mismo, entre 50% y 95% de la resistencia a la compresión simple. (Guéguen & Palciauskas, 1994). Se observa que el plano de falla principal de todas las muestras ensayadas forma un ángulo recto de 90° con respecto a los puntos de apoyo, esto evidencia que el plano más débil se forma en la dirección de aplicación de la carga. Debido a la gran rigidez que poseen los materiales, una vez superada su capacidad portante, la falla se forma de manera súbita y debido a esto ocurre un desequilibrio estructural en la muestra de forma inmediata.

4.3. Usos de los Materiales Estudiados.

Los resultados obtenidos sugieren que las muestras representan rocas muy resistentes y duras, cuya extracción sugiere la utilización de explosivos o sometimiento a altas temperaturas debido a que su resistencia a la helicidad es baja. Sin embargo, el material obtenido proporciona fragmentos irregulares que dificultan su manipulación y labrado, por el contrario su pulimiento es muy sencillo. Así mismo, este tipo de rocas puede usarse con fines estructurales u ornamentales. Estructuralmente, proporciona estabilidad en cimentaciones, muros de contención y arcos gracias a su resistencia a la compresión. Así mismo, se puede usar triturado como agregado para hormigón, dicho material transmite propiedades resistentes al conglomerado y además brinda estabilidad a vías férreas. Ornamentalmente, este tipo de rocas permite la instalación de revestimientos internos y externos de edificios, lo cual se hace atractivo para la vista. Por último y más importante, se recomienda su uso para la instalación de pavimentos, sean adoquines, baldosas o bordillos, en especial para la muestra M1, el cual posee un valor agregado en cuanto a elasticidad.

5. Conclusiones

La densidad y las constantes elásticas determinadas en el programa experimental para las rocas de este estudio, tienen unos valores con tendencia consistente a lo encontrado en la literatura para rocas graníticas.

Las cuatro muestras de roca presentan alta resistencia al ser sometidas a esfuerzos de compresión uniaxial. Sin embargo, las constantes elásticas como el módulo de Young, tienen variación en los valores obtenidos, quizá debido a la diferencias en la distribución en los tamaños de los granos y en la composición mineralógica. Se destaca que para la muestra M4 no se tiene información sobre composición mineralógica y esta es la que presenta el mejor comportamiento.

Los resultados obtenidos sirven para identificar y caracterizar las rocas. Se revisó la información teórica sobre las rocas graníticas y el trabajo experimental, resalta los valores de parámetros elásticos presentes en los especímenes del macizo estudiado. Se evidencia la importancia del estudio no solo mineralógico, sino físico, en la optimización de diversos materiales que pueden ser extraídos de una cantera, para su implementación en obras civiles y de arquitectura.

Con los resultados de las pruebas realizadas se evidencia que las rocas son de buena calidad (baja fisuración), lo cual aparentemente no ha permitido su degradación, encontrándose características de baja porosidad y baja absorción. Estas dos características permiten obtener altas resistencias a la compresión confinada y presentan altos valores de velocidades para las ondas de compresión (P) propios de materiales de baja meteorización. Esta característica de roca sana dificulta la labor de extracción y labrado de estas rocas; pero da ventajas con respecto a su uso como material de construcción.

Este material se puede usar en construcción y mantenimiento de vías, realizando previamente un proceso de trituración. La roca aporta gran dureza y resistencia al desgaste. El material en tamaños uniformes sin finos puede usarse como balasto. El material triturado se puede mezclar con otros materiales tamaño arena con gradaciones intermedias y formar gradaciones que pueden ser usados como afirmados. Al mejorar la gradación se podrían establecer como materiales tipo subbase o base.

Gracias a las propiedades de las rocas, estas se pueden aprovechar como agregado para concreto (material triturado). La alta resistencia, rigidez y elasticidad se transmitirán al conglomerado, por lo que junto con el material cementante y los finos

agregados en la adecuada proporción, se podrá crear un concreto de alta resistencia para su uso en construcciones de gran envergadura. Para proyectos que demanden una resistencia normal, el uso de este material proveerá una resistencia mayor en el concreto, con respecto a la mezcla realizada con la grava común.

Además es posible su utilización como bloque de construcción, ya que aparte de aportar un efecto visual ornamental, debido a sus propiedades provee una mayor resistencia al intemperismo y a la falla que el ladrillo común, aunque cabe tener en cuenta que debido al alto costo que supone el corte y pulimento en comparación al ladrillo no es una alternativa muy viable a menos que el proyecto lo requiera.

Se recomienda el uso de los materiales en la construcción y reparación de vías, mediante la instalación de adoquines, baldosas y bordillos, ya que el material tiene la capacidad de soportar cargas de vehículos tanto livianos como pesados, brindando un mayor desarrollo en la región gracias a la construcción y aprovechamiento de las conexiones viales.

Las rocas extraídas en la cantera del complejo migmatítico de Mitú, cuentan con muy buenas propiedades intrínsecas, lo cual se ve reflejado a través del presente estudio, por medio de factores indicadores que por sus características pueden ser usadas como materiales en revestimientos de fachadas, haciendo uso de las características de baja porosidad y baja absorción de agua del material, parámetros que favorecen en menor medida la movilidad de la misma; no obstante se debe tener en cuenta la baja susceptibilidad de los granitos a diferentes mecanismos de meteorización química y física.

6. Referencias

- Akbar, Anwar Huser; Brown, Tim; Delgado, Roger; Lee, Don; Marsden, Rob; Prado-Velarde, Erling; Ramsey, Lee; Spooner, Dave; Stone, Terry; Stouffer, Tim. (2003). Observación del cambio de las rocas: modelado mecánico del subsuelo.
- ASTM. D2216-98. 2014. Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.

Annual book of ASTM standards. American Society for Testing and Materials. ASTM, Philadelphia.

- ASTM. D2845-08. 2014. Standard Test Method for Laboratory Determination of Pulse Velocities and Ultrasonic Elastic Constants of Rock. Annual book of ASTM standards. American Society for Testing and Materials. ASTM, Philadelphia.
- ASTM. D2938. 2014. Method for Determining the Unconfined Compressive Strength of Intact Rock Core Specimens. Annual book of ASTM standards. American Society for Testing and Materials. ASTM, Philadelphia.
- Benavente, D. 2006. Propiedades físicas y utilización de rocas ornamentales. Pág 145-147. Laboratorio de Petrología Aplicada. Unidad Asociada CSIC-UA. Departamento de Ciencias de la Tierra y del medio ambiente. Universidad de Alicante.
- Canoba, Carlos. A.; Fraga, Héctor R. 2004. Propiedades elásticas de las rocas (traducción). (pág. 8-10). Londres: E & F.N. SPON Ltd.
- Correa, A. A. (2002). Métodos recomendados por la ISRM para la caracterización de rocas en laboratorio. En a. C. Arroyave, métodos recomendados por la isrm para la caracterización de rocas en laboratorio (pág. 8). Bogotá: r. Ulusay & j. A. Hudson.
- Czelada, Jorge Alberto; Sfriso, Alejo Oscar; Strina, Ernesto. 2009. Tesis de grado en Ingeniería civil, "Medición del módulo de Young y módulo de corte mediante técnicas geofísicas. Laboratorio de mecánica de suelos. Facultad de Ingeniería – UBA.
- Farmer, I. 1968. Engineering properties of rocks. E & F.N. SPON Ltd. Londres
- Guéguen. Y., Palciauskas, V, (1994). Introduction to the physics of rock. Princeton, pág 294, University Press. Princeton.
- ISRM Suggested Method for Determination of the Uniaxial Compressive Strength of Rock Materials.
- ISRM Suggested Methods for Determining Sound Velocity
- ISRM Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties.
- Plaza, Oscar. 2010. Geología aplicada. Universidad Politécnica de Madrid.
- Siegesmund, S. and Sneathlage, R. (eds.), Stone in Architecture, DOI: 10.1007/978-3-642-45155-

3_3, [1] Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014.

7. Autores

JENNY CAROLINA TORRES HERNÁNDEZ, VIVIAN YINETH BAQUERO ESPINOSA, CAMILA ANDREA BARBOSA HERNÁNDEZ. Estudiantes de ingeniería civil, pertenecientes al semillero de Geotecnia (EICS) de la Universidad Santo Tomás – Bogotá.