

VÍNCULO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y DECORATIVAS DE LAS ROCAS ORNAMENTALES DE CUBA CON SU COMPOSICIÓN, ESTRUCTURA Y CONDICIONES DE FORMACIÓN

Donis Pablo Coutín Correa, Amelia Brito Rojas

Centro de Investigaciones de Geología y Paleontología, Vía Blanca N° 1002 y Carretera Central. S.M.
Padrón, La Habana, Cuba; mlaportilla@infomed.sld.cu

RESUMEN

El estudio sistemático integral de los depósitos conocidos mas importantes de las rocas ornamentales de Cuba, incluidos los granitoides y gabroides, que aún no se explotan, permitió establecer los principales grupos genético-industriales, su ubicación estratigráfica y geólogo-estructural, composición química y mineralógica, estructura interna de sus diferentes tipos litológicos y propiedades físico-mecánicas y decorativas.

En los prospectos más representativos se examinaron minuciosamente y muestrearon canteras en explotación o abandonadas y afloramientos naturales. Se investigaron blocosidad, características de la masa rocosa (masividad, textura, tamaño de cristales, color, grosor de los estratos, inclusiones, vetillas, partes o sectores de color y textura diferente) y el carácter del agrietamiento, así como las relaciones entre esas propiedades y la composición química y mineralógica, estructura y condiciones de formación de las rocas.

Las muestras tomadas se analizaron por diferentes métodos para determinar composición sustancial, estructura interna, alteraciones secundarias y minerales que afectaran su pulimento y conservación ulterior del brillo.

Por ensayos físico-mecánicos en los bloques se determinaron: masa volumétrica, saturación, porosidad efectiva, resistencia a la flexión y a la compresión en estado seco, saturado y después de 35 ciclos de congelación; la dureza, la perdida por desgaste a la fricción. También se evaluaron pulimentación, brillo y color en planchas pulidas.

Tienen trascendencia especial las determinaciones de las propiedades elásticas por el método dinámico en muestras orientadas: velocidad de las ondas elásticas longitudinales y transversales; el coeficiente de Poisson; los módulos de Young, de deslizamiento y de compresión; además, el coeficiente de anisotropía.

Los resultados de este exhaustivo estudio sirven como referencia a laboratorios de producción, a la investigación y a la docencia.

ABSTRACT

The systematic integral study of the well-known and most important deposits of the ornamental rocks of Cuba, including the granitoids and gabroids that are not still exploded, allowed to establish the main genetic-industrial groups, their stratigraphical and geologic-structural location, chemical and mineral composition, internal structure of their different lithological types and physical-mechanical and ornamental properties

In the most representative prospects, were detailed examined and sampled quarries in exploitation or abandoned and natural outcrops. There were investigated the possibilities for obtain standard blocks, the characteristic of the rocky mass (texture, size of crystals, color, thickness of the strata, inclusions, little veins, parts or sectors with different color and texture) and the character of the cracking, as well as the relationships between those properties and their chemical and mineralogical composition, structures and conditions of formation of the rocks.

The taken samples were analyzed by different methods, to determine substantial composition, their internal structures, secondary alterations and the minerals that affected theirs polish and ulterior conservation of the shine.

By physical-mechanical tests were determined in the blocks: volumetrical mass, saturation, effective porosity, resistance to the flexion and the compression in dry, saturated state and after 35 freezing cycles; the hardness, and the lost of weight by the friction. Polish, shine and color were also evaluated.

An special transcendence have the determinations of the elastic properties by the dynamic method in oriented samples, as well as the speed of the longitudinal and transverse elastic waves; the coefficient of Poisson; the modules of Young, of flexion and compression; and also, the anisotropic coefficient. The results of this exhaustive study serve like reference to production laboratories, to the investigation and the educational purposes.

INTRODUCCIÓN

El estudio de los depósitos de minerales y rocas industriales de Cuba llevado a cabo principalmente por geólogos de los Ministerios de la Industria Básica (actual Ministerio de Energía y Minas), del Ministerio de la Industria de Materiales y del Ministerio de la Construcción (Centro de Investigaciones de Geología y Paleontología, empresas y entidades geólogo-mineras, de mármoles y otras) permitió establecer que en todo el territorio nacional existen yacimientos de piedras decorativas y ornamentales de todos los tipos genéticos: metamórficos, sedimentarios y magmáticos. De este último tipo aún no ha sido explotado ninguno, aunque hay algunos con buenas perspectivas que han sido estudiados y tienen recursos evaluados.

MATERIALES Y MÉTODOS

En una investigación integral de los depósitos de rocas industriales para piedra decorativa y ornamental realizado por el principal autor de este trabajo (Tesis doctoral) se definieron los diferentes tipos genético-industriales de yacimientos existentes en Cuba, pertenecientes a los grupos genéticos mencionados, tanto donde se trabajó anteriormente, como en aquellos que se explotan en la actualidad.

Para este estudio multilateral e integral de las piedras decorativas, se visitaron los depósitos conocidos, en los cuales se hicieron minuciosas observaciones y tomas de muestras. Como resultado de los trabajos de campo en las diferentes localidades, se llegó a criterios acerca de las características específicas de cada depósito, tales como: el grado de meteorización, macro y micro cavernosidad, tipo de agrietamiento, blocosidad, espesor de los horizontes y capas productivas, las texturas de la masa rocosa, tamaño de granos, inclusiones nocivas, diseño, color y su forma de distribución, así como de otros aspectos relacionados con la decoratividad de las posibles variedades a extraer.

Como complemento básico a los trabajos de campo, a las muestras colectadas se les realizaron diferentes análisis y ensayos de laboratorio: petrografía óptica y electrónica, análisis térmico-diferencial, análisis completo de silicatos, diferentes ensayos para determinar las propiedades físico-mecánicas y elásticas: resistencia a la compresión, la flexión, la congelación y al desgaste. También se determinaron la porosidad, el peso específico y el volumétrico, la pulimentación, análisis de los espectros de la absorción óptica para valorar la decoratividad de las diferentes variedades y otros análisis especiales.

Desarrollo

Algunas regularidades de la ubicación de los grupos de depósitos de rocas para piedra decorativa y ornamental

Los estudios geológicos realizados permitieron esclarecer algunos aspectos acerca del surgimiento y ubicación de los grupos más importantes de los depósitos de rocas ornamentales de nuestro territorio nacional. Ver Figura. 1. A continuación se hace referencia acerca de dichos grupos, teniendo en cuenta su tipo genético y edad.

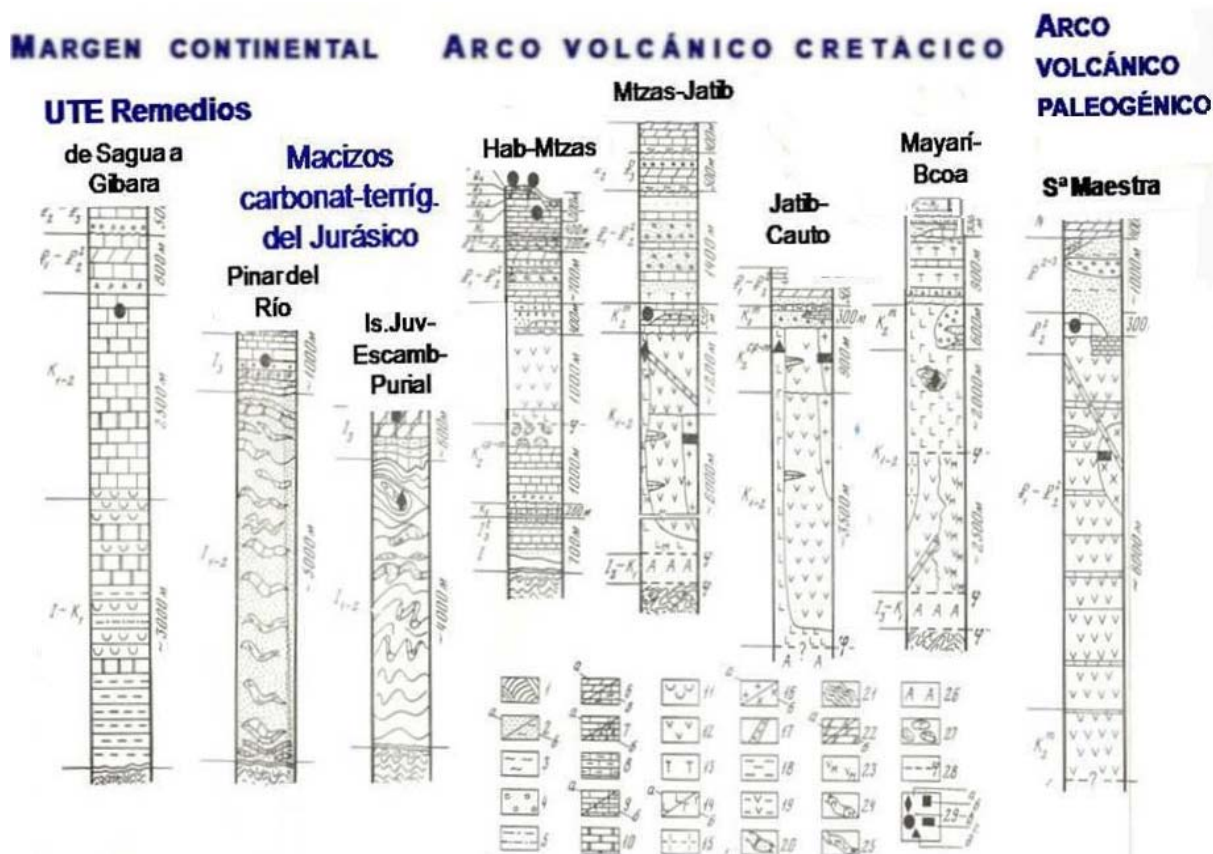


Figura. 1. **Ubicación estructuro-formacional de los grupos de depósitos de piedra decorativa de Cuba**
Leyenda: 1 a 8 – Depósitos areno-arcillosos, arenoso-calcáreos, margosos y calcáreos, diferentes tipos de calizas. 9 – Calizas. 10 – Dolomitas. 11 – Depósitos evaporíticos. 12 – Rocas vulcanógenas de diferente composición. 13 – Tobas. 14 – Ultrabasitas serpentinizadas. 15 – Pórfidos dioríticos. 16 – Granitoides del Cretácico y del Eoceno Medio. 17 – Diques. 18 a 21 – Esquistos de diferente composición. 22 – Mármoles. 23 – Metavulcanitas. 24 – Metaintrusivos básicos. 25 – Metaintrusivos ultrabásicos (Serpentinitas antigoríticas. 26 – Ortoanfibolitas. 27 – Bloques tectónicos. 28 – Planos de sobrecorrimiento de las escamas tectónicas. 29 – Fundamento preMesozoico. 30 – Grupos de yacimientos: a)-Serpentinitas antigoríticas, b)-Mármoles, c)-Calizas, d)-Granitoides, e)-Gabroides

Yacimientos de rocas metamórficas para piedra decorativa y ornamental

Depósitos de serpentinitas decorativas del Jurásico Superior-Cretácico Inferior

Todos los *depósitos de serpentinitas decorativas* de alta blocosidad en Cuba están constituidos por antigorita. Ellos se formaron a costa de los cuerpos ultrabásicos, que se localizan dentro del complejo carbonato-terígeno de edad Jurásico Superior-Cretácico Inferior(?) y sufrieron un metamorfismo regional de alta presión. La génesis de las serpentinitas con elevada blocosidad se aclaró al estudiar los depósitos in situ en el macizo Escambray: El Obispo, Maria Teresa y Guayabal. Las serpentinitas antigoríticas de los depósitos Pelo Malo, La Jíquima y la Corea tienen esa misma composición y génesis, sin embargo, por lo visto, después de su formación ellos fueron extraídos de su yacencia original, por protrusiones de serpentinitas lizardito-crisotílicas hacia los horizontes superiores de la corteza terrestre.

Las regiones mas perspectivas para la búsqueda de depósitos de este grupo en su yacencia original, resultan ser las cúpulas de Trinidad y Sancti-Spíritus en el macizo Escambray. Los depósitos del tipo Pelo Malo pueden esperarse en los macizos ultrabásicos serpentinizados, como

los de Santa Clara, Mayarí y Moa- Baracoa. Dentro de estos macizos se conocen inclusiones tectónicas de rocas metamórficas, entre las cuales, las serpentinitas antigoríticas resaltan como formas positivas en el relieve, gracias a su alta estabilidad ante los procesos de intemperización.

Las *serpentinitas lizardito-crisotílicas* no pueden ser utilizadas como material decorativo (de enchape), en vista de sus bajas propiedades físico-mecánicas (Ver Tabla I) y por la imposibilidad de obtener de ellas bloques de tamaño estándar.

Depósitos de mármoles decorativos del Jurásico Superior y del Eoceno Medio

Mármoles decorativos del Jurásico Superior

Los *depósitos industriales de mármoles* se concentran en el complejo carbonato-terrágeno de la Isla de la Juventud. Por la composición mineral de los esquistos encajantes (cuarzo-moscovita-calcíticos, cuarzo-moscovíticos, biotito-anfibolíticos con granates y otros) se estableció, que los mármoles decorativos se formaron aquí, a costa de un metamorfismo regional, que transcurrió a grandes profundidades y en condiciones de la facie anfibolítica. Las rocas que dieron origen a la formación de los mármoles, posiblemente fueron calizas, semejantes por composición y edad a las secuencias de las formaciones Jagua y Viñales del macizo Guaniguanico. Los sectores mas perspectivas para la prospección y extracción de mármoles decorativos y ornamentales están localizados en las Sierras Las Casas, Caballos y Chiquita, así como también en las colinas de Guanábana I y II.

Mármoles decorativos del Eoceno Medio.

Los depósitos de mármoles de granos finos del Eoceno Medio, parte baja, originados por el metasomatismo de contacto del macizo de granitoides sobre las calizas del Miembro Cuabitas del Grupo Cobre, aparecen en la ladera sur de la Cordillera de La Gran Piedra dentro de los límites del Arco Volcánico del Paleógeno.

Yacimientos de rocas sedimentarias para piedra decorativa y ornamental

Grupo de depósitos de las calizas gris oscuras y negras del Jurásico Superior

Los depósitos de las *calizas ornamentales gris-oscuras y negras del Jurásico Superior* están desarrolladas exclusivamente en los límites de la cordillera de la Sierra de los Órganos en el complejo carbonato-terrágeno del macizo Guaniguanico y se ubican en la parte superior de la formación Jagua y en la inferior de la formación Viñales, inmediatamente en la zona de contacto entre dichas formaciones. En la mencionada zona es factible localizar nuevos depósitos de este tipo de calizas de alta decoratividad.

Grupo de las calizas blancas del Cretácico Superior

Los *depósitos de calizas blancas del Cretácico Superior* se localizan en la parte norte –central del territorio del margen continental, en los límites de la Unidad tectónico-estructural Remedios. Ellos surgieron en una situación tectónica bastante tranquila, fuera de la región de influencia surgida en el borde frontal del sobrecorrimiento del Arco Volcánico Cretácico. Por lo anterior, el área de esta parte productiva de la Formación Remedios, que no sufrió efectos considerables por las tensiones tectónicas, es muy perspectiva para la búsqueda de calizas blancas con buena decoratividad

Grupo de las calizas coloreadas recristalizadas del Maestrichtiano, del Eoceno Medio y del Pleistoceno Superior



Los depósitos de las *calizas coloreadas parcialmente recrystalizadas del Maestrichtiano* se localizan hacia las partes periféricas de las cuencas superpuestas, que cubren a las estructuras jurásicas y cretácicas más antiguas. Estas últimas fueron cubiertas por una potente cobertura de productos de la corteza de intemperismo y sirvieron de fuente de los componentes colorantes, principalmente del hierro y del manganeso que llegaron a las cuencas cercanas donde se depositaban las calizas maestrichtianas. Acerca de la naturaleza arrecifal de dichas rocas, nos hablan sus restos fósiles.

Estos depósitos de calizas coloreadas del maestrichtiano se formaron sin dudas después del sobrecorrimiento del Arco Volcánico del Cretácico Superior, por lo cual prácticamente casi no están afectados por la tectónica.

Regiones perspectivas para la localización de nuevos depósitos resultan las partes periféricas de las cuencas del Cretácico Superior-Paleógeno, tales como Cienfuegos, Los Palacios y Cabaiguán.

Los depósitos de *calizas recrystalizadas coloreadas del Eoceno Medio* se localizan en el territorio de contacto de la cuenca terciaria El Cauto con el anticlinorio Sierra Maestra, dentro de los límites del Arco Volcánico del Paleógeno. En esta área, los horizontes de estas calizas constituyen la Formación Charco Redondo, la cual cubre discordantemente al complejo vulcanógeno-sedimentario del Grupo El Cobre. La actividad volcánica que dio origen a este complejo, prácticamente cesó en la región antes del comienzo de la deposición de la cobertura carbonática eocénica. No obstante, en algunas áreas esta actividad continuó esporádicamente por algún tiempo, dando lugar a pequeños cuerpos subvolcánicos y emanaciones hidrotermales que afectaron a las calizas de la Formación Charco Redondo en todo el proceso de su formación y consolidación. Esto último se confirma por la coloración rosácea hasta violácea y por la compactación y recrystalización de dichas calizas que conservaron las estilolitas de sutura y el aspecto brechoso, mudos testigos de diferentes momentos de su surgimiento y evolución geológica. También se debe tener en cuenta la presencia de dendritas volumétricas de óxidos de manganeso (todorokita) dentro de las capas de calizas que le sirven de roca encajante a los depósitos de este mineral y que solo se pudieron formar cuando estos sedimentos aún estaban blandos.

Por lo anteriormente expuesto, consideramos como territorio de búsqueda de yacimientos de calizas coloreadas con estratos gruesos y masivos del Eoceno Medio, a la región de desarrollo de la Formación Charco Redondo, en las cercanías de los pueblos de Santa Rita, Guisa, Charco Redondo y otros a lo largo de una estrecha franja al sur de la carretera central que va paralela al piedemonte de la Sierra Maestra.

También se incluyen en este grupo las *calizas coloreadas de Sigua*, que se encuentran dentro de los lentes de calizas parcialmente recrystalizadas del Miembro Cuabitas, del Eoceno Inferior a Medio, perteneciente a la Formación El Cobre.

Especial atención merecen los depósitos de las *calizas densas y cavernosas de color rosado del Pleistoceno inferior y medio*, tipo Dubroc II, que se caracterizan por altas propiedades físico-mecánicas y decorativas; ellos ocupan una posición especial entre las rocas carbonáticas cuaternarias frágiles, porosas y poco consolidadas, de las cuales se diferencian por una mayor densidad y resistencia. Dichos depósitos están localizados en la franja costera de la Isla, tanto en el occidente, como en las partes orientales. Se establece claramente su ubicación en los bloques levantados de la línea de costa.

Además de las mencionadas regiones, para la búsqueda de depósitos similares, puedes ser recomendada la parte oriental de la provincia de Guantánamo, además de las regiones de cabo Cruz y cabo Corrientes, en los extremos de la Isla.

Grupo de las calizas blandas de aserrar del Neógeno y del Cuaternario

Los depósitos de *calizas de aserrar del Neógeno* están situados en la cobertura sedimentaria de la Isla y se localizan hacia las partes periféricas exteriores de las depresiones neogénicas en las regiones de La Habana y Matanzas. Estas rocas no son suficientemente resistentes y se reblandecen, por lo cual como piedra decorativa solo pueden servir algunas de sus variedades.

Los depósitos de *calizas cavernosas para aserrar, del Pleistoceno Superior*, están localizados en los sectores de la línea litoral pertenecientes al tipo erosional. Se concentran en la llamada formación Jaimanitas, la cual conforma la primera terraza costera. La secuencia de calizas que sirve de caja a los depósitos de este grupo, como son Santa Fé I, Santa Fé II y Dubroc I, posee en promedio 4-6 m de espesor, lo cual limita las perspectivas de explotación. La búsqueda de tales depósitos se debe concentrar en aquellos sectores de la costa, donde la secuencia de calizas Jaimanitas esta levantada sobre el nivel del mar y posee mayor espesor y amplitud.

Yacimientos de rocas magmáticas para piedra decorativa

Depósitos de granitoides del Cretácico Superior y del Eoceno Medio

Los *granitoides para piedra decorativa del Cretácico Superior* están desarrollados en las regiones de Manicaragua, Camagüey y las Tunas. Los más perspectivas para búsqueda resultan los sectores de los macizos donde la erosión dejó al descubierto rocas relativamente poco intemperizadas, como por ejemplo en la región entre las ciudades de Sibanicú y Cascorro. También son de interés en otras regiones los sectores descubiertos por los valles de los ríos.

Los depósitos de las *granodioritas decorativas del Eoceno Medio* están localizados en los macizos del flanco sur de las cordilleras de la Sierra Maestra y de la Gran Piedra. Los mas perspectivas resultan aquellos sectores de granitoides de alta blocosidad, donde la corteza de intemperismo fue eliminada por los procesos erosivos. En nuestros trabajos anteriores se propusieron aquí dos sectores para la prospección, uno de los cuales constituye hoy día el yacimiento de granodiorita decorativa en Rio Carpintero, cerca de Las Guásimas.

Depósitos de gabroides del Cretácico

Los depósitos de *gabroides* están representados por troctolitas y gabro olivínico. Están localizados en la franja de desarrollo de los macizos ultrabásicos, principalmente cerca de la zona del costurón hiperbasítico. Dichos depósitos están representados por cuerpos con formas de bolsones y lentes de gabroides de granos gruesos, por ejemplo, en la región de Perea (provincia de Sancti-Spíritus), en las regiones de Senado, Yucatán y San Serapio (provincia. Camagüey)

Conviene señalar, que las rocas intrusivas no están suficientemente estudiadas como piedra decorativa y que en el proceso de investigaciones geológicas mas detalladas, pueden ser encontrados nuevos y mas perspectivas depósitos de esta valiosa materia prima mineral. Entre las formaciones efusivas y vulcanógeno-sedimentarias, aun no han sido encontradas rocas de alta blocosidad, que pudieran utilizarse en calidad de piedra decorativa. Las perspectivas en el territorio nacional para este tipo de depósitos son escasas.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Ensayos físico-mecánicos y análisis de laboratorio de las rocas decorativas pertenecientes a los diferentes grupos de depósitos.



Los resultados de los ensayos y análisis realizados se ofrecen, al final, en la Tabla I.

Serpentinitas antigoríticas del Jurásico Superior-Cretácico Inferior

Este grupo de rocas representa un considerable interés teórico por su génesis y valor práctico, como caso raro de serpentinitas con extraordinaria blocosidad y altas propiedades de resistencia.

Yacimientos con semejante blocosidad son poco conocidos en la práctica mundial. Por eso, el análisis de las propiedades de estas serpentinitas representa un gran interés práctico y científico.

Ensayos completos de dos muestras de serpentinitas del yacimiento de Pelo Malo evidenciaron su alta resistencia a la compresión y masa volumétrica (cerca de $3500 \text{ kgf}\cdot\text{cm}^{-2}$) para una dureza mediana (68 unidades Shore). Además se ensayó una muestra de serpentinita de la Loma El Obispo que mostró una porosidad natural elevada y por consiguiente valores disminuidos de la resistencia (cerca de $2500 \text{ kgf}\cdot\text{cm}^{-2}$). Ver Tabla I.

La alta resistencia a la compresión está determinada por la estructura de granos finos y acicular-escamosa entrelazada de la roca (Ver Figura. 2) ; la composición mineral determina la dureza promedio (la dureza de la antigorita es baja).

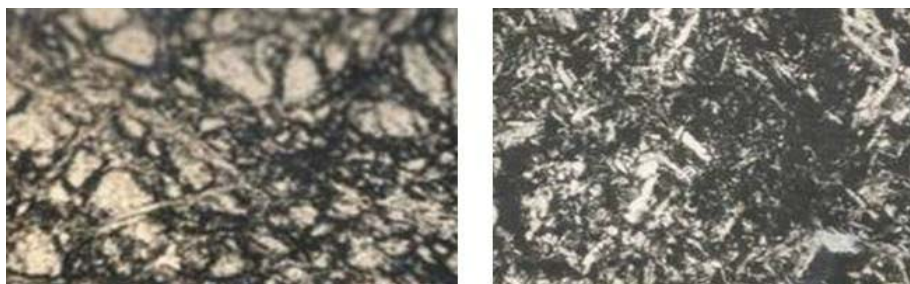


Figura. 2. **Estructura de las serpentinitas lizardito-crisotílicas y antigoríticas**

- a) Estructura relíctica. Serpentinita crisotílica, Cajalbana, Pinar del Río
- b) Estructura entrelazada escamosa. Serpentinita antigorítica, Pelo Malo, Villaclara

La extraordinaria alta resistencia a la flexión ($570 \text{ kgf}\cdot\text{cm}^{-2}$) también denota la influencia de la estructura y permite disminuir el grosor o espesor de las planchas de enchape obtenidas hasta lo que permiten las máquinas de aserrar en los telares y los trabajos de montaje en la construcción.

La disminución de la resistencia por saturación, que alcanza el 23%, es considerable, por esa razón los ensayos de resistencia a la congelación se establecieron y llevaron a cabo en tres etapas: hasta 35, 50 y 100 ciclos.

La congelación no implicó, sin embargo, una disminución sustancial en las magnitudes de la resistencia a la compresión, en comparación con las de las muestras saturadas. La diferencia en los valores de la resistencia obtenidos después de 35-50 y 100 ciclos de congelación se encuentra en los límites de la variación habitual de esas cifras y está determinada por la heterogeneidad de las rocas ensayadas. Este ciclo de ensayos muestra que la congelación, por sí misma, influye poco en la resistencia de la serpentinita, la cual representa en sí un material suficientemente estable a la congelación. Ver Tabla I.

El desgaste de las serpentinitas ($1,0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$), es más bajo que en los mármoles ($2,1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$), y que en las calizas marmorizadas (cerca de $1,3 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}$). La combinación de una alta resistencia (3500

$\text{kg}\cdot\text{cm}^{-2}$) con una poca dureza (68 unidades Shore) caracteriza a la serpentinita como un material tenaz, fácil de trabajar.

El color es de hierba verde de diferentes tonos con un dibujo diminuto, a veces de aspecto brechoso. Asimila bien la pulimentación; la decoratividad, después de ser brillada es extraordinariamente alta (Ver Figura. 5).

El material es apto para enchape; algunas de sus variedades sirve incluso para ser tallada, como una piedra tipo nefrita, ya que por su composición y propiedades físico-mecánicas dicha roca (serpentinita antigorítica) es similar a los “nefritoides” de Osetia del Sur (Cáucaso del Norte) descritos por G. P. Barsanov. En el mercado artesanal cubano es común encontrar souvenirs y otros artículos tallados en este tipo de roca.

Para la comparación con las serpentinitas antigoríticas fue ensayado un bloque de serpentinita lizardito- crisotílica, rocas ampliamente desarrolladas a todo lo largo del territorio cubano, sin embargo inútil por completo en calidad de material ornamental, debido a su denso agrietamiento. Las investigaciones mostraron que la porosidad promedio de esta roca (17%) es en muchas veces menor que la porosidad de las serpentinitas antigoríticas, que no sobrepasa generalmente el 1,5%, a causa de lo cual la resistencia de la serpentinita lizardito-crisotílica alcanza sólo $880 \text{ kgf}\cdot\text{cm}^{-2}$, lo que es tres veces más baja que la resistencia de las variedades antigoríticas. Ver Tabla I.

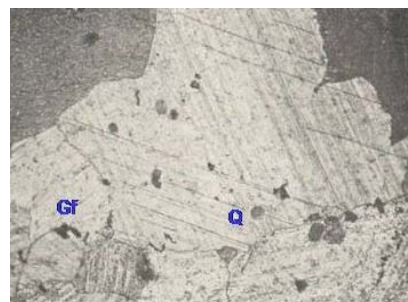
Es posible que precisamente por esta diferencia de resistencia se deba explicar el hecho de que en el proceso de protrusión las variedades antigoríticas conservaron su condición monolítica, mientras que las serpentinitas lizardito-crisotílicas que les sirven de caja fueron mezcladas y trituradas.

Mármoles blancos y gris claro de granos gruesos del Jurásico Superior

Las características físico-mecánicas de los mármoles están determinadas por su estructura granoblástica y de granos gruesos, con tamaño de granos hasta 5 mm, además de que los límites entre los granos son rectilíneos (Figura. 3), lo que condiciona una débil unión entre los granos.

Figura. 3. **Microestructura de los mármoles grises de la Sierra de las Casas, Isla de la Juventud.**

Estructura de granos gruesos con contactos rectilíneos entre los granos.
Variedad Gris Siboney



Con una baja porosidad (cerca de 0,5%), se caracterizan por una poca dureza (43 unidades Shore) y una resistencia a la compresión no alta ($720 \text{ kgf}\cdot\text{cm}^{-2}$ los blancos y $800 \text{ kgf}\cdot\text{cm}^{-2}$ los grises) y a la flexión ($84 \text{ kgf}\cdot\text{cm}^{-2}$).

Es muy significativa (hasta 2,5%) la pérdida por desgaste, lo que hace no deseable el uso de estas rocas para cubrir los pisos de los edificios públicos con flujo considerable de personas.

Su uso en enchapado de interiores y en artículos funerarios, incluyendo lápidas, a juzgar por las observaciones del autor en cementerios, se justifica totalmente. En Cuba sus planchas se conservan mejor que las análogas de mármol de Carrara, estas últimas se comban o se hunden

por los efectos de los cambios de temperatura, dando grietas y en el transcurso de 70-100 años períodos de verano, se destruyen completamente.

La pulimentación es muy alta, correspondiéndose con las mejores marcas internacionales de mármoles.

Calizas negras y gris oscuras del Jurásico Superior

Se ensayaron 3 bloques de color gris oscuro y 2 negros de los depósitos La Palma, Laguna de Piedra y Portales.

Los resultados obtenidos mostraron propiedades bastante homogéneas. Las diferencias se asocian fundamentalmente a la porosidad, que varía desde 0,17 hasta 1,79%; en promedio la porosidad es alrededor de 1%.

La resistencia media en estado seco es cercana a los $1700 \text{ kgf}\cdot\text{cm}^{-2}$, lo que es típico para las calizas marmorizadas (Ver Tabla I).

Las constantes de resistencia de las calizas del depósito La Palma resultan comparativamente menores que las rocas de otros depósitos, lo que por lo visto está relacionado con la presencia de bitumen en las calizas de este depósito y su grado de triturabilidad.

El peso volumétrico de las calizas negras y gris oscuras ($2,70 \text{ g}\cdot\text{cm}^3$) es similar al de los mármoles, es decir, es cercano al peso específico de la calcita ($2,71 \text{ g}\cdot\text{cm}^3$).

La dureza es 58 unidades Shore, o sea, más alta que las de las otras rocas ornamentales carbonáticas ensayadas, lo que posiblemente esté vinculado con la estructura de la roca.

Teniendo las mismas composición calcítica, porosidad y peso específico, las propiedades de resistencia de los mármoles y de las calizas marmorizadas son diferentes: las calizas negras y gris oscuras marmorizadas del Jurásico Superior de la provincia Pinar del Río son dos veces más resistentes que los mármoles de esa misma edad de Isla de la Juventud. Esto se explica por la estructura, que es de granos finos hasta pelitomórfica dentada en esas rocas calizas y en los mármoles es de granos gruesos con contactos rectilíneos entre los granos.

Para aquellos depósitos de calizas negras del Jurásico Superior en los cuales no fue posible obtener bloques para los ensayos, se determinaron las constantes de elasticidad y por ellas se calculó indirectamente la resistencia.

Caliza blancas del Cretácico Superior

Las calizas blancas de la Formación Remedios, a veces débilmente marmorizadas, están ampliamente extendidas en las regiones septentrionales de la parte central de la Isla. Aquí se investigaron una serie de localidades a lo largo de la franja donde están desarrolladas, sin embargo, sólo se tomaron muestras en dos depósitos. Dichas muestras son de testigos de pozos de perforación del depósito El Purio y un bloque tomado del talud que aflora en la margen izquierda del río Máximo en el depósito Los Cangilones.

Las muestras estudiadas resultaron porosas (hasta 10,54%) debido a lo cual las propiedades de elasticidad y resistencia en las mismas son bajas. Los resultados de los ensayos de las muestras de estos lugares se deben considerar eventuales, ya que es factible localizar otros sectores con menos porosidad y consecuentemente índices de resistencia más altos.

En general, las calizas blancas del Cretácico Superior se caracterizan por una porosidad más alta que las de las calizas coloreadas del Maestrichtiano y del Eoceno Medio: en el primer caso -6,48 y en el segundo -2,66 y 0.83% respectivamente. Ver Tabla. I.

Las constantes de resistencia de las calizas blancas son por esto menores que las de las calizas coloreadas, aunque responden a las exigencias para la piedra decorativa de este grupo.

Los coeficientes de reblandecimiento de las calizas blancas están dentro de los límites de uso, al mismo tiempo que las calizas coloreadas marmorizadas muestran valores altos.

Este grupo de depósitos debe investigarse más, ya que las calizas presentan alta blocosidad y al mismo tiempo una composición química muy pura, lo que permite una utilización integral.

Calizas coloreadas recristalizadas y marmorizadas del Maestrichtiano

Fueron ensayadas las rocas de los depósitos de las regiones de Real Campiña, en Cienfuegos y de Lagunillas, en Pinar del Río.

Las calizas marmorizadas de este grupo, independientemente de su porosidad relativamente alta respecto a las rocas del Eoceno Medio (2,66 y 0,83% respectivamente), se caracterizan por altos índices de resistencia a la compresión (en promedio 1850 kgf.cm^{-2}), ya que la aparición de pequeñas grietas aquí casi no se manifiestan.

Los coeficientes de reblandecimiento y de estabilidad a la congelación son más bajos que los de las calizas del Eoceno Medio, aunque también están dentro de los límites de las normas. La resistencia a la flexión responde a las exigencias técnicas para las planchas de mármol. La capacidad de recibir pulimento es alta, independientemente de su porosidad algo más elevada.

En este aspecto son mejores que muchas otras rocas de composición similar.

Existen además los siguientes datos adicionales del yacimiento Cariblanca perteneciente a este mismo grupo de calizas coloreadas del Maestrichtiano (Laboratorio LACEMAT, abril 2002):

Masa Volumétrica: 2.70 g/cm^3 , Absorción: 0.05 %, Resistencia a la Compresión: 768 kgf.cm^{-2} y Resistencia a la Flexión: 100 kgf.cm^{-2} .

Calizas coloreadas marmorizadas del Eoceno Medio

Se estudiaron detalladamente las rocas de las canteras donde se extrajeron calizas marmorizadas blancas, amarillas y rojas (hasta lilas), localizadas en la serie carbonática de la formación Charco Redondo, la cual yace discordantemente sobre la formación El Cobre (Grupo El Cobre)

La mayor parte de los ensayos se llevó a cabo para las rocas de las canteras en explotación: Botticino (7 bloques); Rosa de Oriente (2 bloques) y Rosa Aurora, Orquídea Sierra I y Orquídea Sierra II (1 bloque respectivamente).

Las rocas del grupo descrito se caracterizan por las particularidades siguientes:

- La porosidad que varía en límites estrechos, de 0,7 a 1,6 % y el correspondiente peso volumétrico, desde 2,69 hasta 2,66, lo que nos habla acerca de la pureza de su composición calcítica.
- La resistencia a la compresión que varía desde los 1500 hasta los 2600 kgf.cm^{-2} , lo que junto a su poca disminución por la saturación y la congelación (ver los correspondientes coeficientes), se caracterizan como rocas de alta resistencia y estabilidad climática. En esto, la mayor resistencia corresponde a las rocas que presentan grietas de sutura desarrolladas paralelamente a las capas ($2300\text{-}2600 \text{ kgf.cm}^{-2}$) y las menores resistencias a las rocas con

las grietas de sutura dispuesta caóticamente dentro de la masa rocosa ($1500-1000 \text{ kgf.cm}^{-2}$). Ver Tabla I.

- Estas calizas permiten muy buena pulimentación, con un coeficiente de reflexión cercano a las 180 unidades. Su uso en las partes interiores de las construcciones mostró su alta estabilidad.

Calizas coloreadas, de gran cavernosidad, compactas, del Pleistoceno Inferior a Medio

Las calizas de este grupo constituyen un caso fenomenal de roca carbonática de edad cuaternaria con relativamente poca porosidad (5 %) y alta resistencia a la compresión (hasta 1160 kgf.cm^{-2}). Ver Tabla I. Estas rocas constituyen formaciones litorales, levantadas no hace mucho tiempo sobre el nivel del mar y que posteriormente fueron sometidas a cambios diagenéticos. Principalmente esto se debió a la disolución de parte del carbonato de calcio de dichos depósitos por las aguas de lluvia y la redeposición del mismo en los poros y oquedades de las rocas, ocasionando la subsiguiente recrystalización y compactación de las mismas, como se observa en el depósito Dubroc II, en el extremo oeste de la entrada de la bahía de Matanzas.

Calizas de aserrar del Neógeno

Este grupo de las calizas organógenas y de alta porosidad, está desarrollado en las partes centrales de las provincias de la Habana, Mayabeque, Artemisa y Matanzas, así como en las costas. Se ensayaron tres bloques de los depósitos Colón, San Antonio de Cabezas y Cantel Camarioca.

Las calizas del grupo descrito, casi no están recrystalizadas yacen subhorizontalmente, lo que indica el relativamente corto período de tiempo de sus transformaciones diagenéticas. En relación con esto, dichas rocas están poco compactadas y no todas sus variedades pueden ser utilizadas para enchape en exteriores.

Su alta porosidad del orden del 40 %, condiciona su resistencia poco considerable (desde 20 hasta 80 kgf.cm^{-2}), su alto reblandecimiento y su poca resistencia a la congelación, pues de tres muestras estudiadas, dos se desmoronaron durante la congelación.

La pérdida al desgaste, que alcanza desde 3,40 hasta $9,03 \text{ g.cm}^{-2}$ indica lo fácil de su procesamiento de elaboración. Su dureza disminuye hasta 12-20 unidades de Shore. Los valores de los resultados de las propiedades físico-mecánicas de este grupo de rocas se muestran en la Tabla I.

Calizas cavernosas del Cuaternario Superior

En este grupo entraron las calizas cremas y gris claro de tres yacimientos: Dubroc I, Santa Fe I y Santa Fe II. Por sus propiedades físicas son diferentes: las rocas de Dubroc I se caracterizan por una porosidad más baja que la de los otros dos grupos, debido a la recrystalización parcial y correspondientemente con una resistencia tres veces más alta (mayor de 300 kgf.cm^{-2}), por los altos coeficientes de desmoronamiento y resistencia al frío. Independientemente de su resistencia elevada, a las rocas del yacimiento Dubroc I conviene de todos modos incluirlas en el grupo de las calizas de aserrar.

Las otras dos rocas representan calizas de aserrar de alta porosidad y cavernosidad, con resistencias hasta 100 kgf.cm^{-2} y una baja resistencia al frío. Una de ellas no soportó el ensayo a la resistencia al frío, la otra mostró resistencias disminuidas durante la congelación en un 40%, es



decir, por debajo de las normas establecidas. Conviene señalar, sin embargo, que en las condiciones de Cuba con ausencia de congelaciones, estas rocas encontraron amplio uso en muchas construcciones antiguas y modernas Santa Fe II, donde mostraron una alta estabilidad al clima. Muchos edificios, construidos con este tipo de calizas han estado en pie por cientos de años sin cambios ni daños sustanciales. La decoratividad de estas rocas, gracias a la presencia de corales y fragmentos de caracoles, es muy alta.

Este grupo de rocas está ampliamente extendido en las costas de Cuba. Se caracterizan por una gran heterogeneidad y merecen un estudio geológico sistemático más detallado, y en especial, un detallado muestreo y ensayo de sus propiedades físico-mecánicas para su evaluación.

Propiedades elásticas

Los parámetros elásticos de la rocas resultan un importante índice, ya que ellos, mas que las otras propiedades son sensibles a los cambios no solo de la composición y la estructura de las rocas, sino también del carácter de su porosidad.

Durante el análisis de las propiedades de las piedras de construcción y las decorativas, la determinación de las propiedades elásticas es imprescindible, ya que sus valores son importantes para el cálculo del comportamiento de las rocas en el enchapado o recubrimiento de los grandes edificios de muchos pisos, donde pueden surgir tensiones por la influencia o por la acción del peso o por la deformación de las paredes.

Los parámetros elásticos pueden ser utilizados también para la determinación indirecta de la resistencia, pues la misma, en determinados casos se correlaciona con el módulo de Young. Esto ocurre sólo en los límites de grupos petrográficos estrechos, donde las rocas con una composición cercana, son similares en su estructura.

Serpentinitas.- El módulo de Young de las serpentinitas antigoríticas ($6.54 - 8.16 \text{ kgf.cm}^{-2} \cdot 10^{-5}$) es tres veces mayor que el de las lizardito-crisotílicas y se encuentra al nivel del de las rocas básicas. Esto permite utilizar las serpentinitas antigoríticas en cualquier parte de una construcción, incluso en aquellas que soportan cargas.

Mármoles.- Las propiedades elásticas de los mármoles en general no son altas, lo que se corresponde con su poca resistencia. El módulo de Young alcanza $4,15 \text{ kgf.cm}^{-2} \cdot 10^{-5}$, el de flexión $1,70 \text{ kgf.cm}^{-2} \cdot 10^{-5}$ y el de compresión $3,46 \text{ kgf.cm}^{-2} \cdot 10^{-5}$. Las mas altas resultan las que corresponden a los mármoles grises de vetillas rojas, de granos finos de la manifestación El Museo de José Martí: 5,29; 2,19 y $2,84 \text{ kgf.cm}^{-2} \cdot 10^{-5}$ respectivamente.

El grupo de las *calizas marmorizadas* se caracteriza por altos índices de elasticidad, que sobrepasan los $8,0 \text{ kgf.cm}^{-2} \cdot 10^{-5}$ en las variedades menos porosas, siendo en las calizas coloreadas marmorizadas de la región Guisa-Santa Rita y las calizas negras de Pinar del Río las que tiene las propiedades elásticas mas altas. Estos índices tan altos están determinados por las constantes de la calcita (principal mineral formador de las rocas de este grupo), por la baja porosidad de estas calizas y por la forma dentada de la unión de los granos.

En lo que respecta a las *calizas marmorizadas del Cretácico Superior* de la región de Real Campiña, sus propiedades elásticas se deben a su porosidad, generalmente mas alta, que las del Eoceno Medio. Estas rocas se dividen en dos grupos: el primero formado por las calizas marmorizadas arrecifales de la parte superior del horizonte, con una coloración roja intensa, que se caracterizan por una baja porosidad y altas propiedades elásticas (mas de $7,0 \text{ kgf.cm}^{-2} \cdot 10^{-5}$).

El otro, las calizas rosadas y también las calizas con muchos foraminíferos, estratificadas y amarillas, de los horizontes inferiores, que se caracterizan por una porosidad elevada (hasta 7 %) y por módulos de elasticidad mucho menores ($4,5$ hasta $6,0 \text{ kgf.cm}^{-2} \cdot 10^{-5}$). Estas rocas presentan una peor pulimentación que las de color rojo que las cubren.

Al primer tipo corresponden las variedades Rojo Campiña y Amanecer Ensenada y al segundo, las variedades de Mulata Campiña y otras que se extraen en la parte norte del área

Las *calizas marmorizadas del Cretácico Superior* de los depósitos de Lagunillas (variedades Arena Pinar y Marrón Varadero) constituyen una piedra decorativa de alta calidad con una baja porosidad, presentando altos índices de elasticidad, hasta $7,5 \text{ kgf.cm}^{-2} \cdot 10^{-5}$.

El grupo de las *calizas no recrystalizadas del Cretácico Superior*, ampliamente extendido en la parte norte de Cuba Central, por su porosidad y suficientemente altos módulos de elasticidad, pueden considerarse aptos para utilizarse en la construcción y como piedra decorativa.

Las *calizas de aserrar* naturalmente muestran muy bajas propiedades elásticas (promedio $5,97 \text{ kgf.cm}^{-2} \cdot 10^{-5}$), por lo que no pueden ser utilizadas en planchas finas, sino en planchas gruesas o en forma de bloques.

Los *granitoides y gabroides* se distinguen entre todas las rocas ensayadas por una resistencia alta, sin embargo su elasticidad es en esencia muy similar a las de las rocas carbonáticas, lo que depende de las constantes de elasticidad de los minerales formadores de dichas rocas y de su estructura.

Las propiedades elásticas de los principales minerales formadores de las rocas intrusivas (feldespatos, cuarzo, anfíbol) se diferencian poco, de las que caracterizan a los carbonatos, al mismo tiempo que la estructura de granos gruesos de dichas rocas intrusivas, tampoco aumenta su elasticidad, por eso resulta natural que el módulo de Young de las calizas marmorizadas de granos finos a veces resulta mayor que las de los granitoides. Los parámetros elásticos del gabro son un poco mas altos que los de los granitoides.

Los parámetros elásticos de las rocas, para cuya determinación no se requiere de grandes muestras, en el caso de no poder determinarse la resistencia, dan indicación indirecta de su valor. En nuestro caso, esto fue necesario hacerlo para las calizas negras marmorizadas de la región de Viñales (depósitos El Ancón, Cayos San Felipe y los Hoyos) y para algunas serpentinitas del macizo del Escambray, para los cuales no fue posible obtener muestras con el tamaño requerido..

Agrietamiento y blocosidad

El agrietamiento juega un rol determinante en la evaluación de los depósitos de piedras decorativa, por lo que se estudió detalladamente en la mayoría de los depósitos objeto del presente trabajo.

La blocosidad consiste en las medidas y porcentaje de extracción de bloques estándar de la masa rocosa. La misma determina la posibilidad de la utilización de las rocas en calidad de piedra decorativa y depende de la frecuencia y carácter de la distribución de las grietas.

Las observaciones en las canteras y afloramientos, junto con las mediciones de los sistemas de grietas y el procesamiento ulterior de los datos obtenidos, permitió tener una idea del grado y tipo de agrietamiento y consecuentemente de la blocosidad de las rocas de cada depósito valorado. Además de las observaciones y medición de las grietas, se tuvo en cuenta la ubicación del sector en la estructura geológica general, el carácter de la estratificación y principalmente la génesis de

las rocas. En el caso de las series estratificadas, se estudió el espesor de las capas productivas y su relación porcentual respecto a la potencia general del depósito estudiado, además de que el agrietamiento de las distintas capas en los límites de un mismo paquete puede ser diferente.

Aunque sea paradójico para esta parte de la estructura tectónica compleja de la región caribeña que es Cuba, muchos de sus yacimientos de piedras decorativas se distinguen por una blocosidad excepcionalmente alta, con casi una completa ausencia de grietas. Por lo anterior fue que en varios yacimientos no se confeccionó el diagrama de grietas.

Las serpentinitas antigoríticas, gracias a su alta resistencia, baja porosidad y escaso agrietamiento, que las diferencian de las serpentinitas crisotílicas, poseen una blocosidad poco frecuente. (Fig. 6) Esto da la posibilidad de extraer bloques de cualquier tamaño y de un alto porcentaje (60 %) de su obtención de la masa rocosa. Los bloques sin grietas y con un área de 10 X 15 m en el yacimiento de Pelo Malo no son raros, lo que representa un fenómeno completamente excepcional.

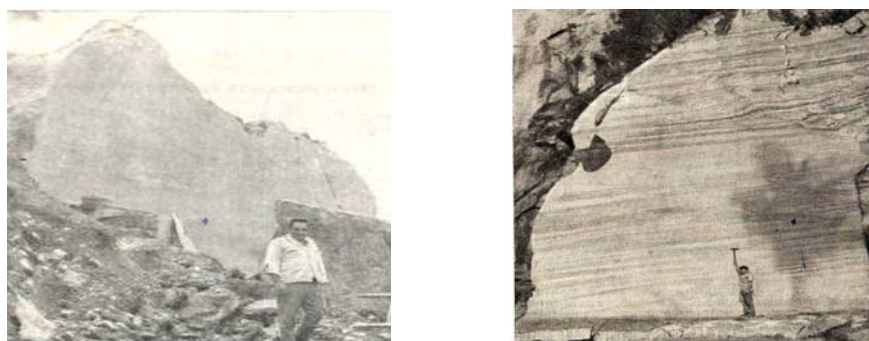


Figura. 4. **Blocosidad de las serpentinitas antigoríticas y los mármoles**

A la izquierda: bloque cortado en el yacimiento Pelo Malo, Villaclara. Se observa la ausencia total de grietas. A la derecha: Corte de un frente de cantera en el yacimiento Sierra de las Casas, Isla de la Juventud, donde se aprecia el diseño bandeado de la masa rocosa y la afectación producida por el carso.

Las serpentinitas crisotílicas, en virtud de su poca resistencia, frecuente agrietamiento y la intensa trituración, no sirven para la obtención de bloques estándar.

Semejante gran blocosidad, como la que poseen las serpentinitas antigoríticas, caracteriza a otro grupo de rocas metamórficas, el de los mármoles. Ellos, en una serie de lugares sufrieron el estadio de la deformación plástica, fueron sometidos a la compactación y al sellaje de las grietas, lo cual determinó el aumento de la blocosidad. Sin embargo, la resistencia de los mármoles en comparación con otras rocas carbonáticas es considerablemente menor, lo que se debe a su estructura de granos muy gruesos y a la débil unión intergranular.

La blocosidad de los mármoles de la Isla de la Juventud, es excepcionalmente alta. Aquí se han extraído bloques monolíticos con un volumen hasta de 1000 metros cúbicos, lo que se explica por la escasez de las grietas y por su distribución en extremo favorable (Ver Figura.4)

Por lo visto, el alto porcentaje de obtención de bloques de la masa rocosa se debe a las particularidades de formación de la serie de mármoles. Las rocas de esta región después de la marmorización no sufrieron efectos tectónicos de envergadura, aunque tomaron parte en sobrecorrimientos con desplazamientos poco considerables, cuyos planos se distinguen por la

presencia en ellos de pequeños lentecillos de pedernal, el cizallamiento y la compactación de los mármoles gráfíticos, de granos finos, de color gris oscuro.

Las calizas negras del Jurásico Superior están suficientemente compactadas, con una porosidad cercana al 1 %, sin embargo a diferencia de los mármoles de la Isla de la Juventud que tienen la misma edad, no fueron sometidos a un estadio alto de metamorfismo y conservaron la estructura de las rocas sedimentarias. Posiblemente, a causa de esto, en ellas se conservaron parte de las grietas primarias.

Además de esto, estas calizas sufrieron ulterior fracturación, acerca de lo cual se puede juzgar por la presencia en varios depósitos de este grupo, de pequeñas grietas transversales, cementadas por calcita blanca. Las vetillas así formadas refrescan la monótona coloración de las calizas oscuras, dándoles un interesante diseño. (Ver Figura.5). A juzgar por lo que se observa en las extracciones antiguas y en la cantera actual, la blocosidad en este tipo de depósitos es mediana.

Las calizas blancas del Cretácico Superior están representadas por rocas masivas, de capas gruesas y poco agrietadas, lo que se explica por la situación tectónica relativamente tranquila en las regiones septentrionales del margen continental, fuera de la zona de influencia del frente del manto sobrecorrido del Arco Volcánico Cretácico.

La blocosidad de las masas rocosas de este grupo, a juzgar por el espesor de las capas es suficientemente alta. Esto por el momento no ha sido corroborado por la explotación, ni por la prospección.

Las calizas coloreadas del Maestrichtiano caracterizan por una alta blocosidad, condicionada por una estructura de capas gruesas y masivas. La casi total ausencia de grietas no permitió confeccionar aquí los diagramas de agrietamiento. Tal situación se conformó a causa de que estos depósitos se formaron después de la fase principal de los sobrecorrimientos del Cretácico Superior y no fueron sometidos a deformaciones tectónicas posteriores.

Las rocas maestrichtianas mencionadas se formaron en las cuencas superpuestas encima del Arco Volcánico Cretácico y se localizaron mas al sur que las regiones de activación de los movimientos tectónicos del Eoceno Medio. Las mismas sufrieron sólo débiles tensiones deformantes, que conllevaron a su compactación, pero no a su agrietamiento.

Las calizas coloreadas del Eoceno Medio, constituyen la cobertura de las secuencias vulcanógeno-sedimentarias del Arco Volcánico Paleogénico. Además de su compactación diagenética, importante papel jugó en el carácter masivo de sus paquetes, la influencia de la actividad hidrotermal tardía y la de pequeños cuerpos subvolcánicos, que provocaron la recrystalización de la secuencia carbonática y por consiguiente una mayor compactación de su masa rocosa. Las soluciones hidrotermales con su contenido de minerales de manganeso y a veces de hierro y sílice, dejaron sus huellas también en la coloración rosácea y lilácea de las rocas, que aparecen en las inmediaciones a las zonas de los cuerpos de manganeso y de "bayates" o cuerpos de rocas silíceas coloreadas por óxidos de hierro.

En las calizas neogénicas y por lo tanto también en las calizas de aserrar del Pleistoceno, formadas en una situación tectónica tranquila dentro de las formaciones de la cubierta sedimentaria, la alta blocosidad está claramente determinada por las condiciones de deposición, ya que ellas no están afectadas por el agrietamiento y solo en aislados casos, dichas rocas presentan grietas verticales y por grietas de estratificación.

Acerca del agrietamiento y blocosidad de los granitoides del Cretácico Superior, localizados en las provincias centrales, es difícil juzgar porque ellos no se explotan y en aquellas áreas donde afloran, están afectados por la meteorización. Al parecer su blocosidad es mediana.

Los granitoides del Eoceno Medio se estudiaron en los taludes de los caminos y en pequeñas excavaciones, lo que permitió confeccionar el diagrama de agrietamiento. Por dicho diagrama y por los datos de prospección, se observa que los sistemas de grietas aquí presentes están ubicados favorablemente para la obtención de bloques estándar de forma regular, ya que las grietas son bastante escasas y están situadas casi en ángulos rectos unas respecto a las otras. Por lo anterior, preliminarmente se considera que su blocosidad es mediana.

Los gabroides se han estudiado sólo en el depósito de San Serapio, donde se hicieron perforaciones de prospección, las cuales, conjuntamente con nuestras observaciones de campo, permiten considerar que su blocosidad es buena.

Conclusiones acerca de la blocosidad

Los aspectos mencionados referentes al carácter masivo de las rocas decorativas de Cuba llevan a la conclusión de que la alta blocosidad, típica para las rocas de algunos yacimientos, no puede ser explicada por la influencia de un factor cualquiera, sino que resulta ser una función de la historia de su formación, diferente para los distintos grupos de rocas. En unos casos es la influencia de las propiedades físicas presentes en ellas, como es el caso de las serpentinitas antigoríticas; en otros, su posición en las estructuras tectónicas, lo que se manifiesta especialmente claro en el ejemplo de los yacimientos de las calizas blancas del Cretácico Superior y en las calizas coloreadas del Maestrichtiano.

En lo que respecta a las calizas coloreadas del Eoceno Medio, aparece un factor fundamental: las condiciones de formación de una cobertura de calizas arrecifales encima de las secuencias vulcanógeno-sedimentarias del prácticamente extinto Arco Volcánico Paleogénico. Sobre dichas calizas, casi simultáneamente con su deposición, influyó la actividad hidrotermal generada por la reactivación de la actividad volcánica en el área.

Por último, tenemos el caso de las características de las áreas en que se depositaron las rocas que conforman los yacimientos, como son las calizas de aserrar del Neógeno y del Cuaternario.

De esta manera, el carácter del agrietamiento y por consiguiente de la blocosidad para los distintos tipos de rocas, depende de la acción de diferentes factores geológicos y mas probablemente por el conjunto de la influencia de cada uno de ellos. Es decir, que para descifrar el porqué del carácter de esos dos importantes aspectos hay que tener en cuenta la historia de la formación de la rocas.

Cuando la diversidad de factores es grande, las mismas rocas pueden tener diferente grado de agrietamiento, por eso el estudio de su geología y aspectos físicos es el camino fundamental para el pronóstico de yacimientos de piedra decorativa.

Pulimentación

Una de las características cualitativas importantes de las piedras decorativas que figuran como parte principal del concepto de decoratividad, resulta ser la capacidad de adquirir determinado grado de pulimentación. Sólo después de la pulimentación resaltan, tanto la coloración y verdadera belleza de la piedra, como sus defectos, tales como la irregularidad del color, la cavernosidad, la presencia de manchas y otros. El grado de pulimentación, que se mide por el

coeficiente de reflexión, se determinó en el Instituto de la piedra y los silicatos en Armenia, en un medidor de brillo construido en dicho centro de investigación.

En el grado de pulimentación influyen la composición mineral, la porosidad y la estructura de las rocas. Las rocas que mejor se pulen son los mármoles de la Isla de la Juventud y algunas variedades de las calizas marmorizadas: las negras de Pinar del Río, las coloreadas de la región de Santa Rita y las rosadas de los alrededores de la ciudad de Real Campiña; después siguen las serpentinitas antigoríticas, los granitoides y los gabroides. Se pulen mal o no se pulen las calizas de alta porosidad que se reblandecen intensamente, como las calizas de aserrar. En la pulimentación de las rocas magmáticas influye negativamente el contenido de minerales félicos.(Fig. 5)



Figura. 5. Mosaico de planchas pulidas de diferentes variedades de piedras decorativas cubanas
Resalta la alta decoratividad de las mismas, tanto por sus diseños como por sus atractivas tonalidades

La conclusión general acerca de la capacidad de las piedras decorativas de adquirir pulimentación es mejor hacerla comparando su pulimentación con las de rocas análogas de otros países bien valoradas por su decoratividad. Con este fin se compararon los coeficientes de reflexión de las muestras cubanas con las de varias piedras decorativas de reconocido prestigio comercial de Armenia, Ural, Uzbekistán, Georgia, obtenidos todos en el mismo laboratorio y los resultados comparativos fueron similares.

Decoratividad

La decoratividad resulta ser uno de los mas importantes rasgos de las piedras decorativas. Juzgar sobre la misma se puede por las peculiaridades características de la coloración y el diseño de las rocas en sus diferentes planos de corte. Como se puede observar en el mosaico de planchas de diversas variedades (Ver Fig.5), la alta decoratividad de las piedras cubanas es evidente.

En primer lugar deben ser situadas las serpentinitas antigoríticas, que han recibido el nombre comercial “Verde Serrano”, cuya decoratividad se debe al color brillante de hierba verde de diferentes tonos, diseño menudo y agradable, a veces con textura orientada o brechoide de esa piedra que se pule bien.

Las observaciones en diferentes edificaciones de ciudad de La Habana, enchapadas con esta variedad de piedra decorativa, tanto en interiores, como en exteriores, muestran el buen comportamiento de las mismas en la conservación del pulimento y el brillo (Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de Cuba, Ministerio de Comercio Exterior, Hotel Habana Libre).

Los mármoles de granos gruesos, bandeados y de color gris claro, localizados en la Isla de la Juventud, tienen una decoratividad media, debido al dibujo monótono y al color poco expresivo. Este último defecto puede atenuarse por medio del aserrado de los bloques en forma paralela al bandeamiento, a causa de lo cual las propiedades decorativas de las planchas mejoran considerablemente. Las observaciones de los monumentos y edificios en diferentes regiones de Cuba muestran que estos mármoles se comportan bien en las condiciones climáticas de nuestro país, no perdiendo el pulimento ni el diseño.

Las construcciones mas grandes enchapadas con los mármoles de la Isla son el Monumento a Martí en la Plaza de la Revolución de La Habana y el de Abel Santamaría en Santiago de Cuba. Además, tienen trascendencia por su magnitud y magnificencia el Mausoleo al Soldado Internacionalista Soviético, los Mausoleos del Segundo y Tercer Frente Oriental y el monumento a Lenin, todos fuera de la capital. La mayoría de ellos con casi medio siglo de existencia, no presentan huellas de deterioro en la actualidad.

Las calizas negras y gris oscuras del Jurásico Superior en Pinar del Río, en cuyo fondo oscuro resalta una red de vetillas blancas de calcita, especialmente causan efecto en sus formas pulidas. Esta rocas son capaces de adquirir una buena pulimentación, que junto a la presencia de un bonito dibujo, permite utilizarlas tanto en forma individual, como en combinación con otros tipos de mármoles en el enchape tanto de las partes interiores de los edificios, como en sus exteriores (Palacio de las Convenciones).

Las calizas blancas y cremosas claras del Cretácico Superior en la zona de Remedios son bastante decorativas, los que está vinculado a su coloración homogénea y a su estructura de granos finos. Sin embargo, por la pulimentación y propiedades decorativas generales están en desventaja con las variedades de calizas coloreadas marmorizadas del Maestrichtiano, las cuales poseen una decoratividad muy alta. Una caracterización más detallada de la decoratividad de las calizas de la zona Remedios no es posible, ya que no han sido explotado Hasta la fecha .

La coloración de las calizas marmorizadas coloreadas en distintos yacimientos del Cretácico Superior, cambia desde pardo claro o rojo brillante, hasta cremoso o rosado claro. Para algunas rocas de este grupo son características las grietas de estilolitos de sutura, desarrolladas, tanto por los estratos, como caóticamente, lo que en dependencia de la dirección del aserrado , les confiere diferentes diseños. Las variedades mas decorativas de las rocas del Cretácico Superior, resultan las siguientes variedades comerciales de calizas: Amanecer ensenada y Rojo Campiña en la región de Real Campiña y la de Arena Pinar en Pinar del Río. La coloración de las rocas de este grupo está condicionada a la presencia de óxidos de hierro, y su tonalidad depende de la cantidad y grado de oxidación de estos últimos. Son muy decorativas las variedades rojas de calizas, desarrolladas en la parte sur-oeste de la región de Real Campiña, sin embargo su coloración aquí cambia con la profundidad, desde roja hasta rosada. El espesor de las calizas en esta parte de la

región, es la mayor, por eso precisamente aquí es racional la ubicación de una gran cantera mecanizada.

Las calizas marmorizadas coloreadas del Eoceno Medio se caracterizan por su pureza y por una gran diversidad de colores, desde los tonos rojo y liláceo-rosado hasta el amarillo. Su coloración se determina por la mezcla de óxidos de manganeso y en menor proporción de hierro, los interesantes diseños vinculados con las grietas de sutura desarrolladas caóticamente, así como también con los contornos de los restos de organismos fósiles (cabezas de algas, moluscos, gasterópodos y otros). Con las calizas liláceo-rosadas están enchapadas los interiores de grandes edificaciones en Santiago de Cuba, como varios hospitales, el aeropuerto y otros.

Las calizas rosadas, compactas y cavernosas del Pleistoceno Inferior y Medio resultan muy bonitas y típicas. Ellas por el aspecto general del diseño se parecen a los travertinos, pero el color rosado con tono amarillento le confiere una alta decoratividad. Pueden utilizarse, tanto en bloques, como en forma de planchas decorativas.

Comparando entre sí la decoratividad de las calizas coloreadas de Cuba, conviene dar su característica general. Por la pureza, brillantez y diversidad de los matices de los colores, las rocas rosadas, liláceo-rosadas y amarillas del Eoceno Medio de la región de Santa Rita pueden ser consideradas como altamente decorativas. En segundo lugar por decoratividad deben ser colocadas las calizas marmorizadas del Maestrichtiano de la región de Real Campiña. El tercer lugar por decoratividad lo tienen las rocas de la variedad Arena Pinar, de color cremoso y marrón (parduzcas) del Cretácico Superior y también las calizas compactas, rosáceas del Cuaternario que forman el depósito Dubroc II en las inmediaciones de la bahía de Matanzas.

Todas las rocas mencionadas se caracterizan también por una blocosidad excepcional y por adquirir una buena pulimentación. Especial lugar lo ocupan las calizas negras de la formación Jagua en la provincia de Pinar del Río, cuya alta decoratividad se determina por el contraste de vetillas blancas de calcita en fondo negro o gris oscuro.

Las calizas de aserrar blancas y cremosas de edad neogénica y cuaternaria a causa de su alta porosidad y bajas propiedades físico-mecánicas no admiten pulimentación. Su decoratividad se manifiesta en paredes y muros de bloques o en el enchape de los edificios monumentales. Tal uso tuvo lugar en la antigüedad y se conserva hasta el presente. Pueden servir como ejemplos convincentes las cubiertas de edificios y fortalezas antiguas en La Habana y en algunas otras ciudades, así como de las construcciones actuales. Parte de las calizas de aserrar, especialmente las de edad neogénica, se utilizan para la construcción de edificios de un piso en las ciudades pequeñas de provincias, tales como Varadero, Perico, Colón y otras.

La cubierta exterior del edificio del Capitolio se construyó de calizas de aserrar del yacimiento Capellanía en los años 1927-1930, se conserva sin huellas visibles de deterioro hasta nuestros días y es muy decorativa. Un buen ejemplo de la decoratividad de las calizas de aserrar del Pleistoceno Superior lo constituye también la cubierta exterior de los edificios altos de la Plaza de la Revolución en La Habana.

Entre los granitoides del Cretácico Superior y del Eoceno, los más decorativos son las granodioritas grises de granos gruesos de la Sierra Maestra.

Los gabroides están representados principalmente por troctolitas de granos gruesos, que adquieren un magnífico pulimento y se caracterizan por tener una alta decoratividad. Esto último está vinculado a una atractiva coloración de las rocas, de color grisáceo claro con tono azulado, el fondo del cual resaltan cristales de olivino, con un nítido color desde verdoso oscuro hasta negro.



Color

Es una de los principales índices de decoratividad de las piedras decorativas. Como ya se mencionó, las que tienen una mayor diversidad de colores son las calizas marmorizadas del Maestrichtiano (yacimientos de la región de Real Campiña) y las del Eoceno Medio (yacimientos de la región de Santa Rita). La coloración de las calizas aquí varía en amplios intervalos, desde roja hasta liláceo-rosado, carmelita parduzco, cremoso, pardo amarillento y otros.

Para el esclarecimiento de la naturaleza del color de estas calizas se analizaron muestras de distintos colores. La investigación del color se llevó a cabo a partir de los espectros de absorción óptica realizado por el método de reflexión difusa desde la superficie de una fracción de granos finos de las calizas con un patrón comparativo de óxido de magnesio químicamente puro.

La interpretación de los espectros de absorción óptica permitió determinar que las diferencias en la coloración de las calizas marmorizadas está vinculada con el contenido relativo en ellas de los iones cromóforos Mn^{2+} , Mn^{3+} y Fe^{3+} . La posición de estos elementos en las calizas se precisó por observaciones en las canteras, en los testigos de perforación y por estudios microscópicos, lo que mostró que la coloración de las calizas es frecuentemente irregular, tanto en intensidad como en su distribución. En las secciones delgadas se aprecia que la sustancia colorante es pelitomórfica y rellena los espacios entre los granos de calcita o de los fragmentos de fauna, penetra en la roca por grietillas finas que la atraviesan o se distribuyen en los planos de sutura. Todo esto permite considerar que los elementos cromóforos determinados en las calizas no entran en la composición de la calcita en calidad de mezclas isomorfas, sino que están vinculados a otros minerales independientes, en la composición de los cuales juegan el papel principal.

La característica numérica de la decoratividad en puntos valorativos como unidad de medida puede proporcionar la valoración cuantitativa comparativa de las piedras decorativas estudiadas. La expresión cuantitativa de la decoratividad de una piedra es una magnitud convencional, sin embargo permite comparar las rocas por este índice e incluirlas en una de las 4 clases de decoratividad: I – muy decorativas (>32 puntos): serpentinitas antigoríticas, mármoles blancos, calizas negras marmorizadas con vetas blancas, calizas coloreadas de Real Campiña y Guisa-Santa Rita; II - decorativas (23-32 puntos): mármoles grises, calizas marmorizadas grises oscuras, calizas blancas y crema claro, granitoides y troctolitas; III - poco decorativas (15-23: algunas variedades de calizas blancas); IV - no decorativas (<15 puntos): ninguna de las rocas cubanas.

Tabla I. Valores agrupados promedio de las propiedades físico-mecánicas de las piedras decorativas de Cuba

Rocas	Muestras ensayadas	Edad	Masa volumétrica, ρ , $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	Saturación de agua, %	Porosidad, %	Resistencia temporal a la compresión y a la flexión, kgf/cm^2			Coeficiente		Dureza, Unid Shore	Pérdida de peso al desgaste, $\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$
						Seca	Saturada	Después de congelada	Reblandecim	Congelación		
Serpentinitas antigoríticas	2	J ₃ -K ₁	2,62	0,53	1,40	3590 Flexión 570	2760	2650	0,77	0,74	66	1,00
Mármoles blancos y grises, granos muy	8	J ₃	2,70	0,27	0,45	800 Flexión 84	750	740	0,95	0,92	43	2,12
Calizas negras y gris oscuro	5	J ₃	2,70	0,38	1,00	1700 Flexión 150	1470	1460	0,83	0,85	58	1,48
Calizas blancas	2	K ₂	2,54	2,48	6,48	1570 Flexión 150	1090	1130	0,71	0,73	54	1,08
Calizas coloreadas marmorizadas	6	K ₂	2,62	1,02	2,66	1850 Flexión 200	1570	1410	0,83	0,76	52	1,60
Calizas coloreadas marmorizadas	12	P ₂	2,68	0,31	0,83	2070 Flexión 230	1800	1850	0,86	0,90	56	1,32
Calizas de aserrasar	3	N ₂	1,51	29,12	43,38	50	34	Destruído	0,68	NO	16	5,91
Calizas rosadas densas cavernosas	1	Q ₁₋₂	2,56	1,91	4,89	1160 Flexión 150	820	920	0,71	0,79	49	1,09
Calizas de aserrasar cavernosas	3	Q ₃	1,78	19,47	34,32	170	150	Destruído	0,89	NO	28	2,30
Granitoides	2	K ₂	2,69	0,25	0,67	3370 Flexión 400	2900	3140	0,86	0,93	81	0,19
Granitoides	2	K ₂	2,75	0,35	0,95	2720 Flexión 250	2700	2500	0,98	0,91	82	0,30
Gabroides	1	K ₂	2,62	0,40	1,05	2180/2580 Flexión 202	2000	2670	0,91	1,00	80	0,22

CONCLUSIONES

1. La gran mayoría de las piedras decorativas cubanas se caracteriza por sus altas propiedades decorativas
2. La calidad y decoratividad de las rocas ornamentales de Cuba, comprobadas por ensayos realizados en Laboratorios de reconocido prestigio, son competitivas para el mercado internacional, con variedades de alta demanda
3. La excepcional blocosidad y las excelentes propiedades físico-mecánicas de las piedras decorativas dependen de las peculiaridades de los minerales que las componen y las condiciones geólogo-estructurales en fue se formaron los depósitos
4. La disponibilidad y potencialidad de este recurso exige una mayor promoción, tanto nacional como internacionalmente para que juegue un papel importante en el desarrollo económico que el país necesita

BIBLIOGRAFÍA

- Barsanov G.P., 1933. La variedad de serpentinita "nefritoide" y los problemas de su génesis. en ruso, *Trabajos del Inst. Lomonosov de la AC URSS*, (Leningrado, URSS), 12
- Belikov B.P., D.P. Coutín, M.A. Litzarev, J. Scarys, 1981. Las rocas ornamentales de Cuba: geología, localización y propiedades. 272 pp. Ed. Nauka, Moscú, URSS
- Colectivo de autores, 1983. Sistematización y generalización de la materia prima no-metálica de todas las provincias y el Municipio Especial Isla de la Juventud. CIG MIB, La Habana, Cuba
- Coutín D.P., 1978. Clasificación de los yacimientos de rocas ornamentales de Cuba. XIII Conferencia Científico-Técnica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la Amistad de los Pueblos, Moscú, URSS
- Coutín D.P., 1978. Las rocas decorativas de Cuba: Geología, condiciones de formación y regularidades de su localización. Tesis de doctorado. IGEM, Moscú, URSS
- Coutín D.P., 1987. Los yacimientos de materias primas minerales no metálicas de Cuba, sus clasificaciones, III Encuentro Científico-Técnico de Geología, Soc. Cubana de Geol., Pinar del Río, Cuba
- Coutín D. P. y A. Brito, 1980. Vínculo de la composición y la estructura de las serpentinitas antigoríticas con sus excepcionales propiedades físico-mecánicas. XXVI Congr. Geol. Internac., Paris, Francia
- Coutín D. P. y A. Brito, 1981. Evaluación de las serpentinitas como roca ornamental, II FARM, CIG, La Habana, Cuba
- Coutín D. P. y A. Brito, 1984. Los recursos no metálicos de Cuba. XXVII Congreso Geológico Internacional. Moscú, URSS
- Coutín D. P. y A. Brito, 2004. Taller de Materiales de Construcción, UNAICC, La Habana, Cuba
- Coutín D.P. et al., 1973. Mapa de yacimientos y manifestaciones minerales no-metálicos y combustibles a escala 1:500 000, IGP MIB
- Coutín D.P. et al., 1988. Mapa mineragénico de Cuba escala 1:500 000, IGP MIB
- Petrov V.P., V.I. Finko, D.P. Coutin et al., 1973. Los mármoles de Cuba. En el Libro Geología de los Minerales Útiles de Cuba, Editorial Nauka, Moscú, URSS
- S/A, 2005. Fichas técnicas de las rocas ornamentales cubanas, Empresa de Mármoles Cubanos, La Habana, Cuba