

MINISTERIO DE INDUSTRIA
DIRECCION GENERAL DE MINAS
E INDUSTRIAS DE LA CONSTRUCCION
INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

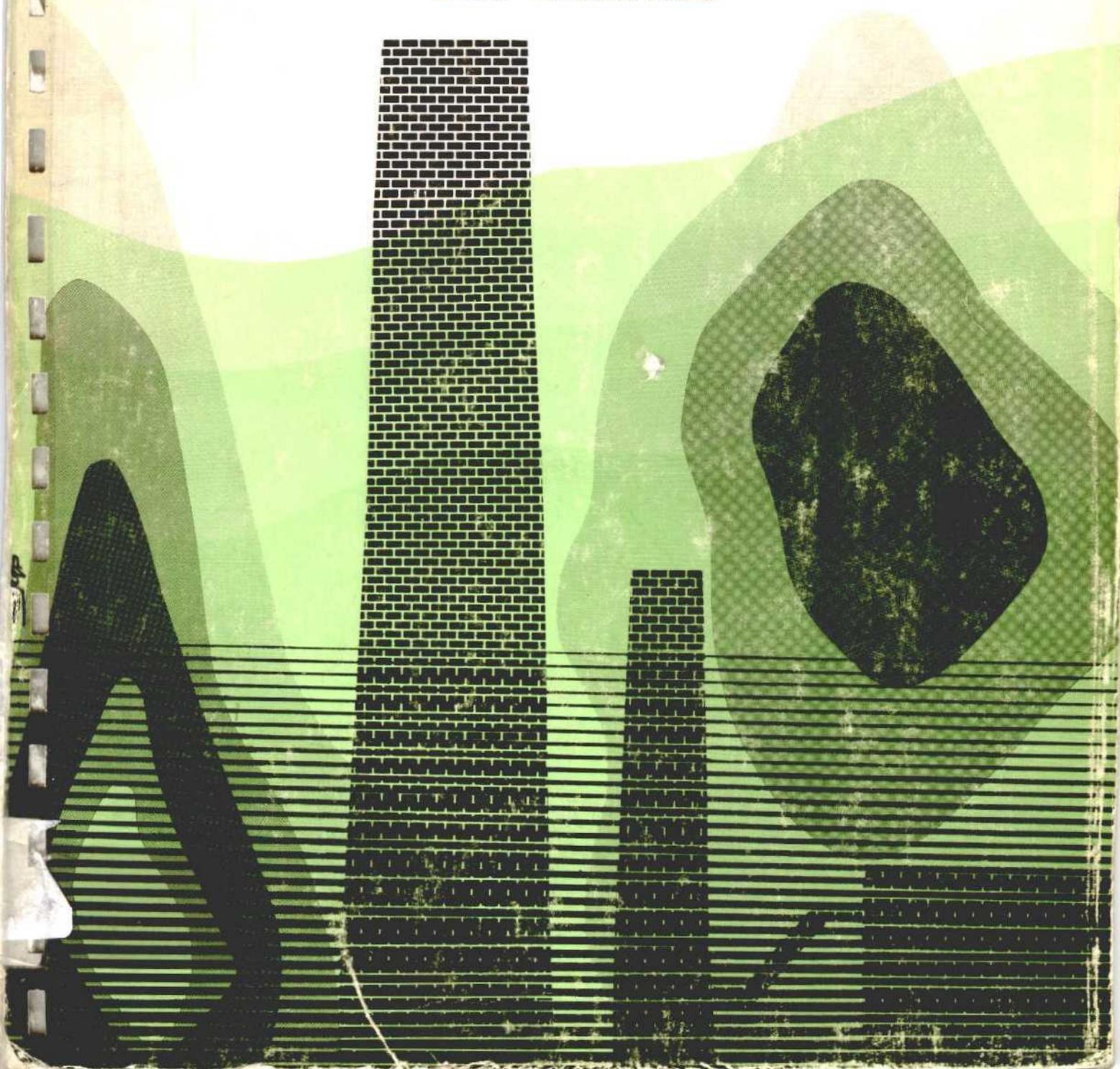
PLAN NACIONAL DE LA MINERIA
PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACION MINERA

ESTUDIO ECONOMICO Y TECNOLOGICO PARA EXPLOTACION Y APROVECHAMIENTO DE LAS ROCAS INDUSTRIALES

Especificaciones y clasificación de las Rocas Industriales.

TOMO I

ROCAS ORNAMENTALES



000491

ESTUDIO ECONOMICO Y TECNOLOGICO PARA
EXPLOTACION Y APROVECHAMIENTO DE
LAS ROCAS INDUSTRIALES

Especificaciones y clasificación de las Rocas In-
dustriales.

TOMO I

Marzo, 1976

El presente estudio ha sido realizado por la empresa
FRASER ESPAÑOLA, S. A. , en régimen de contrata-
ción con el INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE
ESPAÑA

ROCAS ORNAMENTALES

INDICE

	<u>Página</u>
0. <u>INTRODUCCION</u>	1.
1. <u>ESTUDIO GEOLOGICO MINERO E INDUSTRIAL</u>	8.
1.1. Programa sectorial de investigación de mármoles, calizas marmóreas y granitos.	8.
1.2. Principales yacimientos españoles de granitos y mármoles.	15.
1.3. Yacimientos extranjeros de mármoles y granitos	23.
1.4. Tecnología de la explotación	30.
1.4.1. Métodos de explotación	30.
1.4.2. Posibles mejoras técnicas en la maquinaria de extracción de rocas ornamentales.	43.
1.4.3. Nuevas técnicas de extracción de rocas ornamentales.	45.
1.4.4. Particularidades de la explotación de granitos.	53.
1.4.5. Particularidades de la explotación del mármol.	55.
1.5. Procesos de elaboración y acabado	59.
1.5.1. Organización de la industria	59.
1.5.2. Precios de los productos de mercado	68.
1.5.3. Procesos de tratamiento y aprovechamiento de los residuos.	75.

	<u>Página</u>
2. <u>PROPIEDADES, ENSAYOS Y ANALISIS INDUSTRIALES</u>	82.
2.1. Propiedades físicas	83.
2.2. Propiedades resistivas	89.
2.3. Propiedades técnicas diversas	96.
2.4. Orden de magnitud de las principales propiedades en las distintas rocas.	102.
3. <u>USOS Y ESPECIFICACIONES GENERALES</u>	105.
3.1. Normativas existentes	105.
3.2. Aplicaciones industriales	120.
3.2.1. Revestimientos	120.
3.2.1.1. Revestimientos exteriores	121.
3.2.1.2. Revestimientos interiores	127.
3.2.1.3. Pavimentos	130.
3.2.1.4. Escaleras y perfiles de huecos	136.
3.3. Aplicaciones especiales	139.
4. <u>PRODUCTOS SUSTITUTIVOS</u>	141.
5. BIBLIOGRAFIA	144.

INDICE DE CUADROS

		<u>Página</u>
Cuadro nº	1. Mármoles nacionales	69.
"	2. Precios de mármoles importados en España	69.
"	3. Precios de mármol, onice y travertinos en - el mercado internacional.	72.
"	4. Evolución de los precios de granito	74.
"	5. Módulo de rotura a la compresión de algunas rocas.	91.
"	6. Coloraciones producidas por diversos minera <u>l</u> es en los mármoles.	101.
"	7. Orden de magnitud de las principales propie- dades de las rocas ornamentales.	103.
"	8. Valores de algunas propiedades en tres tipos de rocas ornamentales.	104.
"	9. Características físicas de las calizas orna <u>l</u> - mentales.	114.
"	10. Características mínimas de los mármoles pa <u>l</u> ra exterior.	115.

INDICE DE FIGURAS

	<u>Página</u>
Figura nº 1. Mapa de investigación sectorial	10.
" 2. Distribución nacional de yacimientos de granitos y rocas afines.	16.
" 3. Distribución nacional de yacimientos de mármoles y rocas afines.	21.
" 4. Distribución mundial de granitos	24.
" 5. Distribución mundial de mármoles	25.
" 6. Desprendimiento de un bloque en una galería	37.
" 7. Esquema de explotación por hilo helicoidal	41.
" 8. Proceso de utilización del hilo helicoidal	58.
" 9. Proceso de utilización del hilo helicoidal	58.
" 10. Organización de la industria de rocas ornamentales.	60.
" 11. Esquema de utilización del hilo helicoidal para el dimensionado de bloques	59.
" 12. Pulidora de puente "Levimatic"	65.
" 13. Ciclo automático completo para la producción de mármol-resina	80.
" 14. Juntas para los revestimientos exteriores	128.

0. INTRODUCCION

Bajo la denominación de "Rocas Ornamentales" se incluye una serie de rocas que se explotan generalmente en forma de bloques de naturaleza coherente susceptibles de ser pulidas y se utilizan para decoración de edificios y en escultura, es decir aprovechan sus cualidades estéticas una vez elaboradas con procedimientos tales como: - aserrado, pulido, labrado, esculpido. Si los bloques extraídos son de pequeña dimensión o presentan irregularidades se destinan, una vez triturados, a la elaboración de otros materiales de ornamentación: terrazo, marmolina, etc.

De acuerdo con la anterior definición podría incluirse dentro de este grupo a las pizarras, sin embargo, por sus características específicas de exfoliabilidad, que condicionan casi todas sus utilidades, estas rocas industriales son objeto de un estudio independiente quedando excluidas de esta monografía.

Asimismo, el alabastro es objeto de estudio independiente en la correspondiente monografía del yeso.

La División de Geotecnia del IGME considera rocas con aplicaciones ornamentales a las siguientes por orden alfabético:

- . Andesita
- . Anhidrita
- . Arenisca

- . Caliza
- . Conglomerado
- . Cuarcita
- . Diorita
- . Dolomía
- . Esquistos
- . Gabro
- . Gneis
- . Granito
- . Mármol
- . Pizarra
- . Pórfido
- . R. dumíticas
- . R. pumíticas
- . Serpentina
- . Otras

De las rocas consideradas se hace especial hincapié, por considerarlas de valor ornamental superior a las demás, en las siguientes:

Rocas sedimentarias: Calizas

Rocas ígneas: Granito, sienita, diorita, gabro, diabasa

Rocas metamórficas: Mármol, serpentina

Definición de las rocas objeto de estudio

En la clasificación litológica de rocas ornamentales no existen normas que regulen y protejan las distintas denominaciones. El nombre comercial es a veces idéntico al científico pero ocurre generalmente que a las formaciones carbonatadas se les denominan genericamente como "mármol" adjetivada esta palabra con más o menos imaginación o acompañada del nombre de la localidad del yacimiento. Esta forma de denominación debe desterrarse.

El profesor "Ugo Zezza" propuso en St. Ambrogio (Italia) en 1972 un esquema que puede ser válido para la correcta denominación litológica de las "rocas ornamentales": consiste en añadir al nombre comercial el nombre petrogenético de la roca seguido del nombre de la localidad de origen si ya no está indicado en el nombre comercial.

Debido a que esta propuesta de denominación todavía no ha sido asimilada se indica a continuación la que ha sido vigente en mayor o menor grado hasta la actualidad.

- Mármoles

Según la definición geológica y petrográfica, el "mármol" es una roca carbonatada que ha sufrido una recristalización debida a fenómenos de metamorfismo. En este sentido sólo son mármoles aquellas rocas calizas ó dolomíticas que presentan una estructura cristalina y granular a simple vista.

Comercialmente el término "mármol" es más amplio incluyendo en él a las calizas con estructura semicristalina o compacta (calizas marmóreas que sean susceptibles de adquirir brillo mediante el pulimento.) También se incluyen los mármoles brechados originados cuando en el proceso de recristalización se sobrepasa el límite plástico de las rocas dando lugar a una serie de fracturas de aristas vivas que son recementadas por materiales muy heterogeneos rellenoando las fisuras, grietas y hendiduras producidas por la fracturación. Estos mármoles se diferencian de las brechas y pudingas metamorfizadas de aspecto policromo, y que si los fragmentos son muy pequeños reciben el nombre de "brocatel".

Se llaman también mármoles a las variedades calizas del onice, ágata y jaspe que aunque están constituídas esencialmente de carbonato cálcico cristalizado, son resultado de deposiciones químicas y no de metamorfismo de calizas preexistentes. Se las conoce también con los nombres de falsa ágata, falso onice, para diferenciar su origen calizo del verdadero que es silíceo.

Relacionadas con las anteriores, en su origen, están los travertinas que son precipitados químicos de carbonato cálcico procedentes de deposiciones de aguas juveniles calientes. Se caracterizan generalmente por la abundancia de concavidades de forma irregular.

Otros productos aceptados como mármoles son las serpentinas - de color predominantemente verde con vetas blancas y muy excepcionalmente rojas. Admiten el pulimento y tienen generalmente un bajo contenido en CO_3Ca ya que su principal constituyente es la serpentina, silicato de magnesio hidratado ($2 \text{SiO}_2, 3 \text{MgO} \cdot \text{H}_2\text{O}$), cuyo origen fundamental es la alteración metamórfica del olivino. Las oficalcitas son fragmentos de serpentina unidos por un cemento - calizo.

- Granitos

La denominación comercial de "Granito" incluye no sólo a la roca conocida en petrología con este nombre, sino además a otras ígneas que reúnen propiedades similares y cuyos campos de aplicación industrial son comunes y muy semejantes. Así pues, se comercializan bajo este nombre los granitos propiamente dichos, sienitas, dioritas, gabros, diabasas, basaltos, fonolitas, pórfidos, traquitas, etc.

Todas estas rocas denominadas vulgarmente "graníticas" pertenecen al grupo de las ígneas eruptivas. Bajo los efectos de grandes presiones los granos se comprimieron unos contra otros presentando el aspecto de conglomerados de granos cristalinos que se tocan y limitan entre sí, sin que exista ninguna materia extraña - que actúe de elemento cementante.

Los "granitos" se caracterizan por sus tres componentes principales: mica, cuarzo y feldespatos; que se encuentran en proporciones muy variables. En ocasiones falta alguno de ellos.

- Rocas plutónicas o intrusivas

Granito normal:

Es una roca muy dura (entre 6 y 8 de la escala de Mohs) por lo que su labrado y elaboración es más costosa y lenta que la de los mármoles y adquiere un pulido brillante muy bello y extremadamente duradero. La calidad ornamental de esta roca es tanto mayor cuanto más elevada sea su proporción de cuarzo y menor la proporción de mica.

Sienita:

Es granito pobre en cuarzo, cuyos componentes fundamentales son el feldespato, hornblenda y anfibolita, con textura granuda y de color variable, desde los rosas y violaceos hasta los grises y verdes. Adquiere un pulimento muy notable y aunque más blanda que el granito es más tenaz y uniforme.

Diorita:

Roca de estructura granular semejante al granito compuesto fundamentalmente de oligoclasa y un silicato alumínico magnésico. Tiene color oscuro y es muy resistente y duradera con excelente pulimento.

Gabro:

Tiene estructura granular con granos más o menos finos y está coloreada con manchas blancas y verdes. Es muy dura aunque admite la labra y el pulimento. Está compuesta esencialmente de plagioclasa, piroxeno y en muchos casos olivino.

- Rocas volcánicas o efusivas

Pórfido:

Rocas de cualquier color que tienen la característica de presentar - cristales más o menos regulares de feldespato destacándose en una pasta cristalina tan fina que sus elementos constituyentes: cuarzo, - mica y ortosa, son casi imperceptibles. Existen muchas variedades destacando por su valor ornamental los pórfidos rojos, que adquieren un brillante pulimento, y los pórfidos sieníticos de propiedades y coloraciones muy semejantes a las de la sienita.

Traquitas:

Compuesta esencialmente de feldespato potásico, hornblenda, mica o augita. Es de color gris y generalmente de escaso valor ornemental.

Diabasa:

Tiene estructura laminar formado por delgadas láminas embebidas en una masa continua que se asemeja a la piel de las serpientes. Es pulimentable y sus variedades son muy apreciadas para decoración. Está formada por feldespato cálcico y augita esencialmente.

Basalto:

Roca muy compacta compuesta por feldespato, augita, olivino y minerales de hierro, de color gris negruzco o azulado. Su estructura es criptocristalina, excepto en la variedad denominada "dolerita" - que presenta estructura granular y es muy parecida a la diorita.

Es una roca muy dura aunque frágil que impide su empleo en trabajos tallados y resiste muy poco al fuego.

1. ESTUDIO GEOLOGICO MINERO E INDUSTRIAL

1.1. Programa sectorial de investigación de mármoles, calizas marmóreas y granitos.

El Instituto Geológico y Minero de España, en cumplimiento del artículo 8º de la Ley de Minas de 1944 elabora los Planes Generales de Investigación, recogiendo el espíritu del II Plan de Desarrollo Económico y Social.

Recientemente se puso en marcha el programa sectorial de investigación de mármoles, calizas marmóreas y granitos.

Con este programa se trata de evaluar las reservas más importantes de mármoles, calizas marmóreas, granitos y algunas otras rocas ígneas del país.

Como objetivos fundamentales hay que señalar la necesidad de establecer una valoración ornamental de las rocas en función de las características más significativas que se le exigen para este uso: color, homogeneidad, facilidad de obtención de bloques, facilidad de labrado, resistencia, etc.

Otro objetivo básico es confeccionar un atlas en el que se recojan todas las variedades comercialmente interesantes, con expresión de sus respectivas características, localizaciones, etc.

Por último se definirán las posibilidades comerciales de cada variedad de roca, tanto desde el punto de vista del consumo interior como de una posible exportación.

El desarrollo de este programa afectará, como todos, a la totalidad del territorio nacional; no obstante, hay zonas que, por su oferta potencial, destacan sobre las demás, y a ellas se dedicará prioritariamente la mayor atención, lo que condiciona para que se marque un orden de preferencia dentro de las mismas.

Se reflejan en la fig. nº 1 las áreas a investigar, las zonas preferentes y las fases de investigación a realizar.

Las zonas preferentes, que se representan en el mapa correspondiente, afectan a: Galicia y Cantábrico, Sureste, Extremadura, Centro, Levante y Cataluña.

Cabe señalar que, al finalizar 1975, estaba previsto haber realizado las dos primeras fases de la investigación de estas sustancias en un área que interesa a las provincias de Almería, Granada, Murcia y Alicante.

Toda exploración e investigación debe orientarse según tres aspectos fundamentales: Marco geológico (localización y evaluación de reservas), Marco industrial (explotabilidad del material) y Marco económico (financiación y mercados).

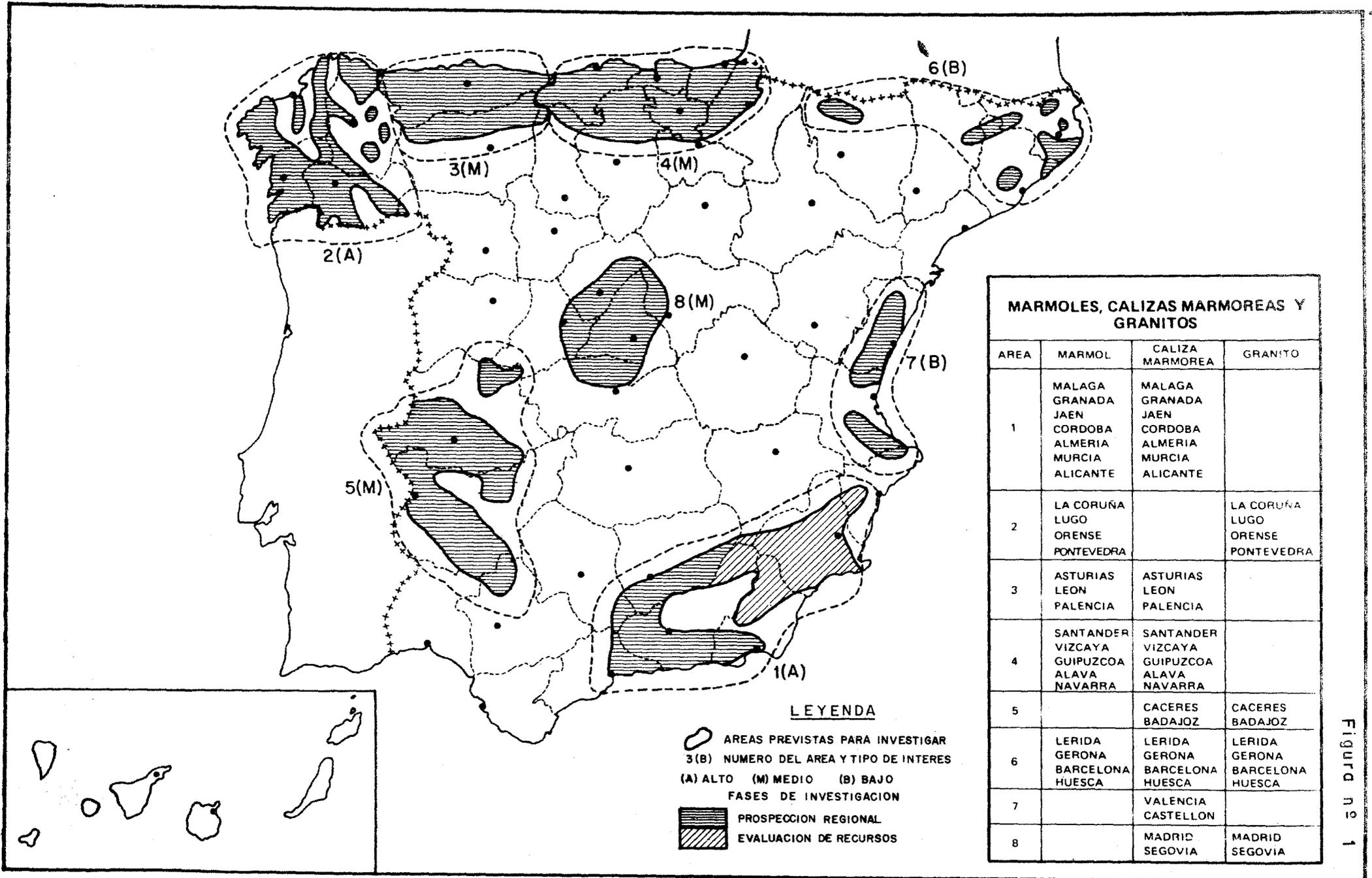


Figura nº 1

Marco geológico

En principio se realizan estudios sobre áreas con existencia de indicios y de explotaciones activas o abandonadas.

Seguidamente es interesante la ampliación de las zonas seleccionadas con la realización de mapas de mayor detalle con objeto de señalar correctamente las capas estrictamente comerciales.

Una vez detectados los niveles comerciales uno de los primeros datos a conseguir es la determinación del espesor ya que este condiciona la producción a obtener.

Es necesario un examen petrográfico de muestras procedentes de los niveles comerciales que además de las ventajas apuntadas puede detectar la presencia de minerales de la roca que por su naturaleza sean perjudiciales a través de distintos procesos.

Una vez clasificado el nivel, se debe realizar un estudio de los rasgos estructurales del yacimiento con objeto de determinar el método de explotación futuro.

Son siempre más convenientes los depósitos tabulares con grosor apreciable.

Los mármoles por sus especiales características de formación se encuentran generalmente plegados por lo que es necesario examinar detalladamente los datos estructurales y naturaleza de los distintos contactos.

Es fundamental un examen de la textura pues incluye de manera decisiva en alguna de las propiedades físicas más importantes. (Durabilidad, resistencia, porosidad, peso específico, dureza, trabajabilidad, algunas cualidades estéticas del material).

El estudio de los sistemas de fracturación y diaclasa permite seleccionar aquellos yacimientos que presenten el mínimo de fracturación y diaclasamiento. Deben evitarse las fallas de tipo inverso.

De las fracturas son menos perjudiciales las verticales y las sub-verticales.

Al examinar el diaclasado hay que medir la uniformidad de los sistemas de diaclasado, señalar sus direcciones principales, forma de presentación, etc.

Los sistemas de fracturación pueden albergar especies minerales constituyentes de alteraciones en la roca en que se encuentran incluidas. Como regla general la presencia de inclusiones y segregaciones de especies minerales es perjudicial.

Finalmente es importante el examen de los recubrimientos y alteraciones físicas, químicas y biológicas.

Marco industrial

En el marco industrial existe escasa diferencia con el resto de depósitos minerales. La diferencia más acusada es la necesidad de encontrar materiales con facilidad de elaboración, consecuencia de la textura y composición mineralógica.

Una característica esencial es el color y hay que señalar que no existen tablas comerciales, esencial para la reparación de obras. Únicamente en el granito existe una serie standar más o menos completa. Para el investigador es siempre preferible el hallazgo de rocas que - aunque menos estéticas sean más uniformes en color.

Es fundamental la realización de obras mecánicas, mediante sondeos de gran diámetro, acercándose a las medidas mínimas de bloques utilizables con posibilidad de verificar el curso estructural del sistema rocoso; o bien por medio de sondeos introducidos en perforaciones mínimas que permitan controlar desde el exterior el estado físico de la roca.

La realización de pruebas químicas está en desuso. Únicamente se realizan análisis químicos en algunos materiales con fines especiales que generalmente giran alrededor de aquellos que van a ser sometidos a ambientes altamente corrosivos.

Las pruebas físicas son las más significativas para el conocimiento exhaustivo de las rocas ornamentales. No existe normativa interna-

cional y sólo algunos países poseen normas propias. Generalmente es el constructor o más bien el usuario es el que impone al vendedor las pruebas necesarias para aceptación de materiales.

La tendencia de esta industria es ir siempre a la comparación con rocas clásicas y minerales. Italia, Francia, Alemania y EE. UU. ofrecen los principales patrones.

Marco económico

Para seleccionar los yacimientos de rocas ornamentales es necesario realizar una diagnosis económica determinando el orden relativo de importancia de los siguientes factores:

Infraestructura de comunicaciones (puertos, aeropuertos, red de transporte), infraestructura de mano de obra (disponibilidad de peonaje, mano de obra cualificada, nivel de salarios), infraestructura de desarrollo económico-social y comercialización (coste de terrenos, nivel de vida, posibilidad de expansión, servicios comerciales financieros, existencia de industrias auxiliares, proximidad a mercados, etc), e infraestructura de servicios (suministro energético, agua, etc).

1. 2. Principales yacimientos españoles de granitos y mármoles

La Península Ibérica se divide en tres extensas zonas geológicas, - silícea, caliza y arcillosa.

La primera comprende la mayor parte de Portugal y una amplia zona de España que, desde las montañas astur-leonesas, se extiende por el oeste de Zamora y Salamanca, Sistema Central, Extremadura, - Montes de Toledo, Huelva y Sierra Morena. Esta zona occidental de la península está formada por penillanuras y zonas montañosas.

Existen otras zonas más reducidas y todas ellas montañosas, en la - parte Sur de la península (Sierra Nevada) y en el extremo oriental - (Cataluña).

En estas zonas se encuentra preferentemente el granito siendo indi- ferente al relieve, presentándose a veces formando extensas llanu - ras y otras elevadas montañas.

En la figura nº2 se refleja la distribución de yacimientos de granito y rocas afines en el territorio nacional.

Existe gran variedad de granitos en España, de muy distintas calida - des y tonalidades. Pese a esto, no existe una denominación comer - cial para cada uno de ellos que permita establecer una clasificación exacta que los diferencia claramente.

A continuación se reflejan los únicos tipos de granitos con denominación propia, cuyas tonalidades ya son incluidas en los nombres comerciales.

<u>Nombre</u>	<u>Procedencia</u>
Rosa-Porriño	Pontevedra
Dante-rosa	"
Gris perla	"
Gris Morrazo	"
Gris Gondomar	"
Dante gris	"
Blanco Albero	"
Negro Candeán	"
El Piñor	Orense
Verde Santiago	Lugo
Gris Segovia	Segovia-Villacastín
Verde Huelva	Sevilla
Pórfido rojo de Córdoba	"
Rojo de Andalucía	"

Los diferentes granitos cuya denominación viene determinada por el lugar de procedencia son los siguientes:

Granito de Puentedeume (La Coruña); granitos de Zamora, negros y grises oscuros; el Gris de Avila (Mingorría), el de Alpedrete, Villalba, El Berrocal y Zarzalejo en la provincia de Madrid, estos últimos de tonalidad gris clara. Son también de destacar los de Iriondo y Olla de Allende en Asturias.

También existen granitos sin ningún tipo de especificación en las provincias de Salamanca, Toledo y Cáceres.

De igual forma son de destacar los pórfidos de Cáceres y las fonolitas de Tenerife.

La zona caliza corresponde la parte oriental de la península. Está constituida esencialmente por calizas triásicas, jurásicas, cretáceas y eocenas . La zona comprende una estrecha faja que se extiende desde la costa catalana hasta los montes Ibéricos, desde Teruel a Burgos. Las montañas valencianas, las serranías de Cuenca y Alcarria y las montañas sub-béticas desde el Cabo de San Antonio en el Mediterráneo hasta el de Trafalgar en el Atlántico. Por el norte corre otra faja que desde el N de la región catalana vá estrechándose hasta las costas cantábricas. Casi la totalidad de los yacimientos de mármol están en esta zona especialmente en las regiones de Levante y N de España, que son las zonas típicamente productoras.

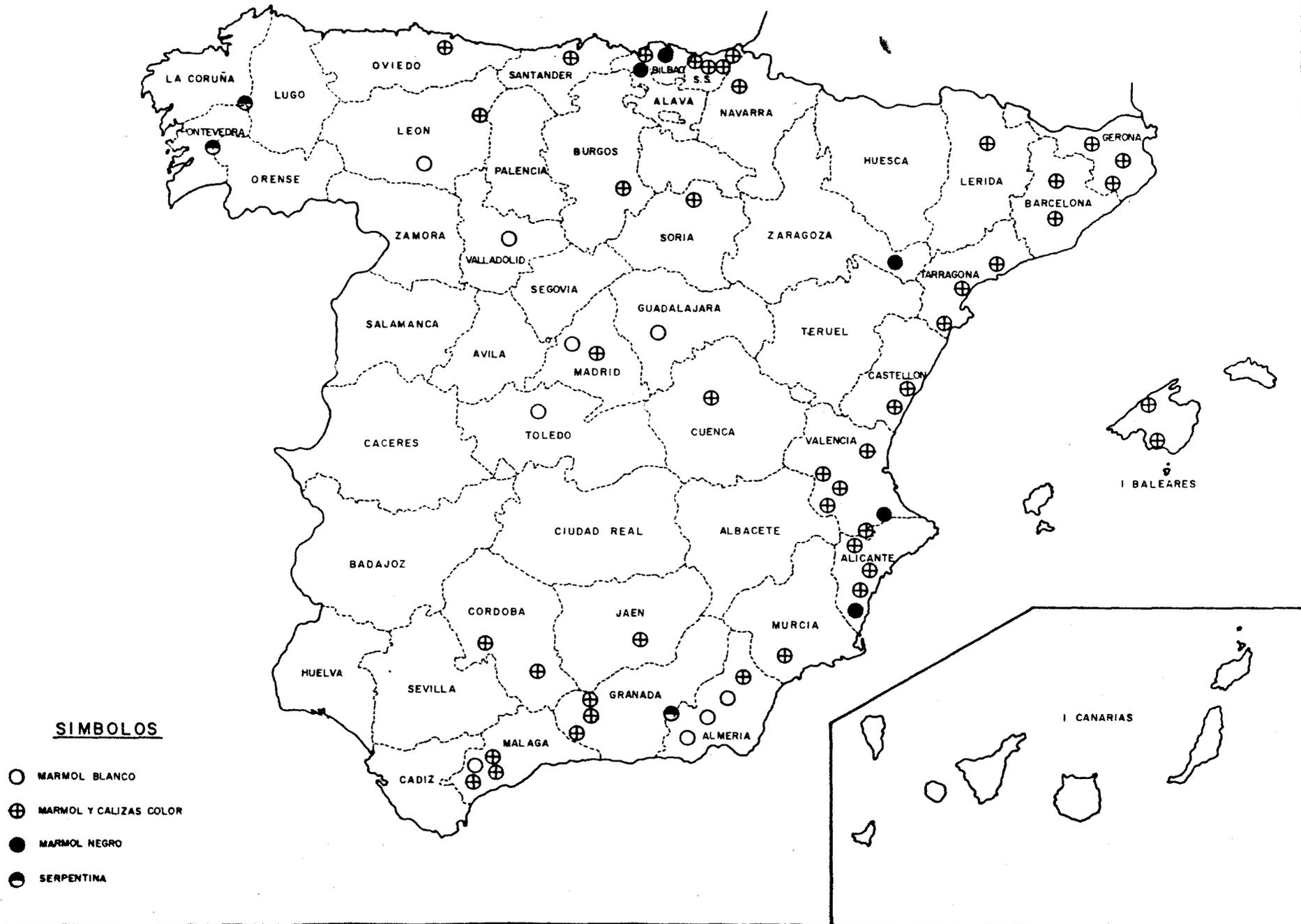
La oferta nacional de mármoles es rica en variedad de calidades, indicándose a continuación las más conocidas, así como sus procedencias y tonalidades.

<u>Nombre</u>	<u>Procedencia</u>	<u>Tonalidad</u>
Blanco País	Olula del Rio(Almería)	Blanco Sacaroideo
Blanco Macael	Macael (Almería)	Blanco Sacaroideo
Blanco Tranco	Zurgena (Almería)	Blanco Sacaroideo
Blanco Coín	Coín (Málaga)	Blanco Sacaroideo
Gris Erasun	Rentería (Guipúzcoa)	Gris claro con veta fina, color ocre.
Gris Rambla	Valmaseda (Vizcaya)	Gris veteadado
Gris Carranza	Córdoba	Gris oscuro
Gris Novelda	Novelda (Alicante)	Mármol gris
Negro Marquina	Marquina (Vizcaya)	Negro intenso, veta blan- ca fina.
Castellar	Valencia	Negro, veta castaña
Marviedro	Valencia	Negro con vetas en varios colores.
Escobedo	Boo (Santander)	Caliza marmórea, color té con leche claro.
Mañaria	Durango (Vizcaya)	Negro, intenso, vetas y manchas blancas.
Crema marfil	Valencia	Caliza marfileña
Crema Horna	Valencia	Veteado almendrado
Crema claro	Algueña (Alicante)	Color marfil claro con ve- tas oscuras.
Buixcarró crema	Buixcarró (Castellón)	Crema amarillo con veta fina color ocre.
Travertino	Zurgena (Almería)	Aspecto leñoso, con co- queras.
Rojo Alicante	Monovár (Alicante)	Bermellón suave con veta blanca.

Nombre	Procedencia	Tonalidad
Rojo Aspe	Aspe (Alicante)	Rojo parduzco
Rojo Bilbao	Rentería (Guipúzcoa)	Rojo oscuro, resto de <u>con</u> chas blancas y negras.
Coralito	Monóvar (Alicante)	Rojo pardo, manchas <u>blan</u> cas y siena.
Turquesa	Guipúzcoa	Rosáceo, con manchas y - vetas rojas y pardas.
Buixcarró	Buixcarró (Castellón)	Rosa pálido, con veta fina rojiza y castaño.
Rosa Valencia	Alcira (Valencia)	Fondo rosado, veta blanca
Coral	Tafalla (Navarra)	Rojo pardo jaspeado de - blanco.
Verde Norte	Guipúzcoa	Verde oscuro con veta - blanca.
Verde Pirineos	Pirineos	Verde oscuro con vetas y manchas oscuras.
Verde mar	Galicia	Verde oscuro sin vetas
Verde serpen- tina	Andalucía	Verde claro con veta <u>os</u> cura.
Verde Granada	Granada	Serpentina veteada
Brecha Volate	Navarra	Fondo gris con fragmentos de colores muy variados.

Los distintos coloridos del mármol se hallan, pues, distribuidos por las siguientes zonas (fig. nº 3).

DISTRIBUCION NACIONAL DE YACIMIENTOS DE MARMOL Y SERPENTINA



Blanco	Málaga y Almería
Verde	Galicia, Pirineos y Andalucía
Beige	Levante
Rojo	Alicante
Negro-gris	Región vasca
Rosa	Levante y Guipúzcoa

1.3. Yacimientos extranjeros de mármoles y granitos

Se reflejan en las figuras n^{os} 4 y 5 la distribución mundial de yacimientos de mármoles y granitos.

A continuación se describen someramente las principales características de estos yacimientos en los países de nivel de producción más elevado.

Mármol: Italia, Francia, Portugal, Grecia y EE. UU.

Granito: EE. UU., Noruega, Suecia, Italia y Francia.

EE. UU.

Posee numerosos yacimientos de mármol y granito y la industria está muy desarrollada utilizando medios muy modernos. No existe prácticamente la operación de escuadrado de los bloques. Los mármoles son extraídos por máquinas cortadoras de varios tipos y son cortados en la propia cantera a la medida deseada.

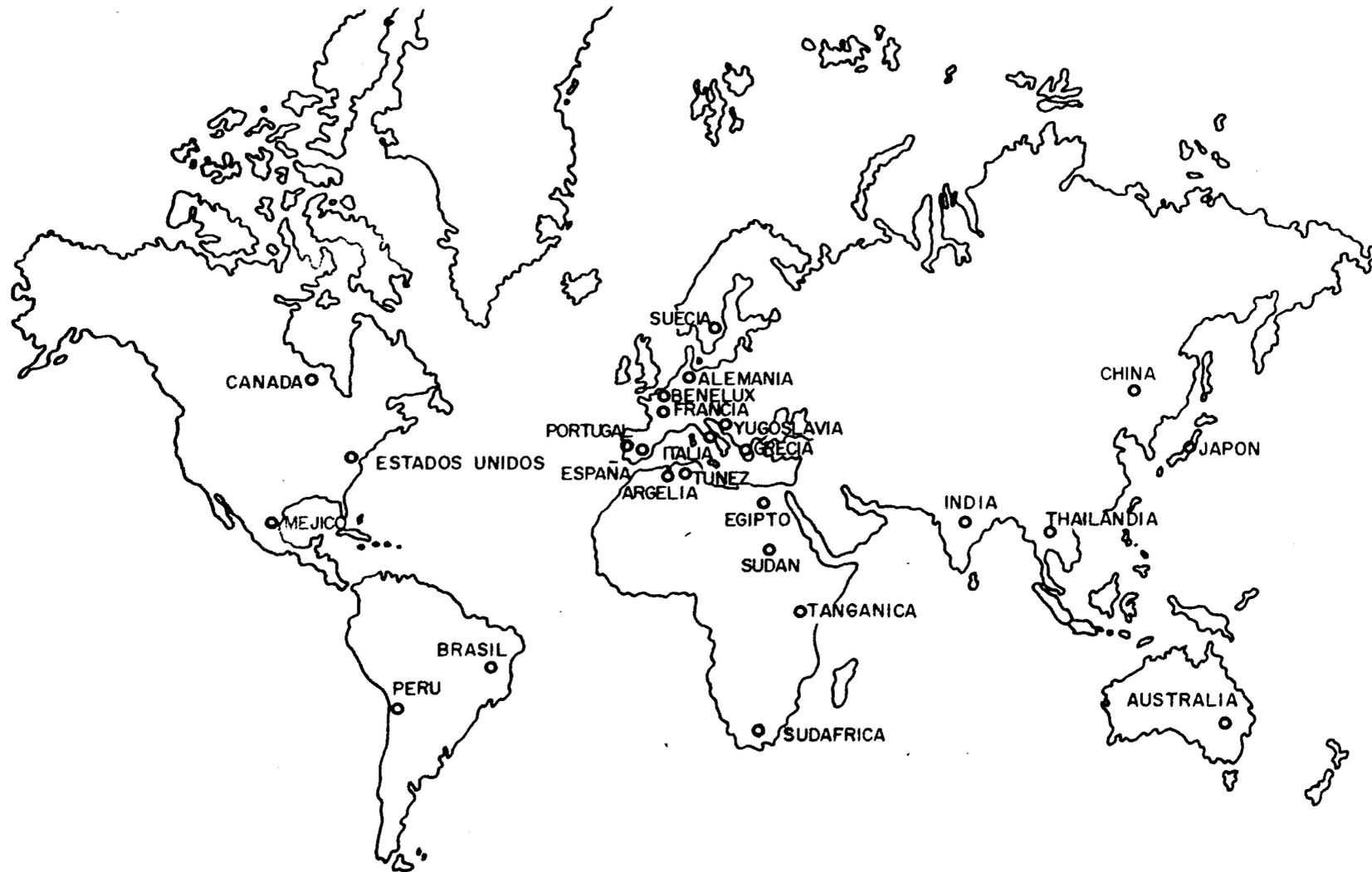
Los granitos se explotan casi exclusivamente con instalaciones de hilo helicoidal que no se utilizan en cambio en las canteras de mármol, constituyendo una curiosa paradoja ya que en Europa sucede prácticamente lo contrario.

Existen numerosas explotaciones de mármol, principalmente en el Este, en la cordillera de los Montes Apalaches, siendo las más importantes las siguientes:

DISTRIBUCION MUNDIAL DE GRANITOS



DISTRIBUCION MUNDIAL DE MARMOLES



En el estado de Vermont, variedades de mármol muy duro entre las que destacan: Vermaco Striped Brocadillo, Taconio Green Vein, Vermaco estatuario, etc.

En los estados de Connecticut, Nueva Jersey, Georgia y Virginia, - variedades de mármoles blancos, negros, grises, rosas, entre -- ellos: Georgia White, Georgia Creole, Mezzotint, Etoxa Punk

En Tennessee y Alabama, mármoles de diferentes tonalidades: Ceram White Alabama (blanco), Granox Gray (gris), Amco Paronazo (crema), Appalachiam Fleuri (rojo) y Coral Rose (rosado).

Los yacimientos de granito se encuentran en cuatro zonas principales: Región de los Montes Apalaches, Región del Medio Oeste, Región de las Montañas Rocosas y la región de la costa del Pacífico.

Los más importantes son los siguientes:

- Frankfort, de grano fino y color gris.
- Negro de Stonington, en el estado de Maine
- Gris azul, en New Hampshire
- Negro de Milford
- Rosado-gris y Verde-Crema de Carrol Country
- Grises de Georgia
- Gabro de Minnesota

Países Escandinavos

Casi la totalidad de su superficie está constituida por rocas graníticas especialmente la parte Sur, presentando enormes masas al descubierto con sus superficies libres de capas sobrepuestas de roca inútil, lo que facilita notablemente su extracción.

Los bloques obtenidos son a veces de tales dimensiones que se hace imprescindible subdividirlos para obtener volúmenes que respondan a las demandas del mercado.

Sin embargo, sólo un 5 o 10% del material extraído se comercializa pues se efectúa una escrupulosa selección con numerosos y sucesivos ensayos y análisis, lo que refleja la calidad obtenida y la fama de la que gozan los granitos escandinavos.

En Noruega, en el fiordo de Oslo, están ubicadas las canteras de "Labrador oscuro" (verde) y "Labrador claro" (azul), granitos muy homogéneos y compactos que adquieren un pulimento de reflejos nacarados debido a la presencia en su composición de la labradorita (silicato de aluminio y cal). La estructura de esta roca obliga a arrancar los bloques casi exclusivamente con perforadoras, con puntos de barrenado muy próximos y a todo el espesor del bloque.

En Bjorkerad y Lläggghult (Suecia) se explota el granito AKF nº 1 - de color negro intenso con pulido especular, siendo esta variedad prácticamente excepcional en el mundo.

Francia

El Oeste de Francia es rico en granitos con grandes yacimientos en la Bretaña, casi totalmente constituído de granito. Casi todos son de color gris aunque se encuentran también algunos pórfidos rosados y otras variedades. En el macizo de Vosgos se encuentran dos tipos principales: Granito de Ballons y el de los Vosgos.

Abundan los yacimientos de mármol especialmente en las cadenas montañosas de los Pirineos y de los Alpes, en diferentes tonalidades siendo las principales variedades las siguientes:

Negros: Saint Beat, Grand Antique, llamado también Drap Mortuorie o Grand Dueil, Patit Antique o Petit Dueil, en el Alto Garona; Noir Rubané, Noir d'Izesle, en los Pirineos.

Cremas: Nanking, en el Alto Garona; Laurey, Jaune de Frances, Jaune Imperial, en los Pirineos, etc.

Verdes: Verde Letz, en el Alto Garona; Vert d'Estours, en el Ariège; Canrobert, en el Herault y Lot; etc.

Rojos: Campan Rojo, Rojo Griotte, Sarrancolin, en los Pirineos; - Rojo Ria, Incarnat, en los Pirineos Orientales.

Portugal:

Existen yacimientos donde se extraen mármoles de gran calidad que son objeto de exportación tales como el Rosa Aurora, Blanco Rosa, Blanco crema, sacaroideos y muy puros.

Grecia:

Las principales explotaciones actuales están ubicadas en el Pentelico donde se extrae mármol blanco estatuario, blanco veteadado y grises.

Son también importantes las calizas marmoreas de Namplie (beige) y Chios (gris).

Italia:

Llamada patria del mármol, es el país de mayor producción y el más desarrollado tecnológicamente en medios mecánicos de extracción de elaboración.

Toda la península italiana es rica en yacimientos que se extienden desde el arco alpino hasta Sicilia pasando por los Apeninos y principalmente por los Alpes

Las variedades de mármol son numerosísimas y muchas de tal calidad y belleza que gozan de fama mundial.

En la zona de los Alpes Apuanos, en Toscana, están ubicadas las canteras de mármol más famosas del mundo, el Blanco-Garrara del que se extraen diferentes calidades: Bianco puro, para escultura y obras de precio elevado, Bianco Unito, carbonato cálcico casi puro (98%), Bianco venato, junto con la anterior las de mayor de -

1.4. Tecnología de la explotación

1.4.1. Métodos de explotación

El método a seguir en la explotación de las rocas ornamentales depende entre otros factores de las condiciones geológicas del yacimiento, topografía del terreno, de las características y calidad del producto a obtener.

La explotación a cielo abierto se justifica técnica y economicamente cuando el yacimiento aflora o se encuentra muy próximo a la superficie y únicamente el hecho de que la calidad de la roca compense el mayor costo de extracción puede justificar la elección de labores subterráneas. De hecho sólo algunos mármoles nobles como el negro belga, el brocatel francés, ó el blanco italiano son objeto de esta clase de explotación.

La explotación de rocas ornamentales se realiza casi exclusivamente a cielo abierto, por lo tanto las consideraciones que se hacen a continuación se refieren a esta forma de explotación.

Se emplea cualquiera de los procedimientos usuales de preparación de canteras creando un frente de explotación tan amplio como lo permitan las características del depósito. Para ello se retira toda la capa superficial que recubre el frente de explotación, ya sea manualmente o por medios mecánicos. La única precaución a tomar si se quieren obtener bloques perfectos es que si en la operación de -

desmonte se utilizan explosivos hay que evitar que no queden dañados los bloques subyacentes.

Seguidamente se analizan los distintos métodos clásicos que se utilizan para el arranque del material, las innovaciones técnicas introducidas en los últimos tiempos y finalmente las particularidades de los métodos de explotación para cada roca ornamental.

- Extracción manual

Sólo se utiliza cuando lo aconsejan las condiciones de estratificación y cuando los medios de explotación no están muy desarrollados. Se aprovechan las grietas o hendiduras naturales (tanto las horizontales o de estratificación como las verticales o diaclasas) y se provocan desprendimientos.

Consiste en la introducción en las hendiduras de cuñas de acero que se golpean con mazas, provocando la caída con palancas accionadas a mano o de forma mecánica.

Las cuñas se introducen mediante presión de sus dos conos inclinados contra los bordes de la grieta. Otra forma de arranque es emplear cuñas de madera que se hinchan al agregar agua, o bien sustituir las cuñas por cal apagada, que también aumenta de volumen al regarse con agua provocando la disgregación de la roca.

- Extracción con explosivos

Tiene un mayor rendimiento, pero introduce grietas en el material y produce gran volumen de escombros, por lo que su empleo está muy limitado. Así, por ejemplo, el Pliego General de Condiciones para la Edificación (Ministerio de la Vivienda) en su artículo 126 - prohíbe el empleo de mármoles "atronados" procedentes de explotaciones y canteras donde se utilizan explosivos de arranque. Es preferible la utilización de explosivos deflagrantes (pólvora negra) -- pues producen menor volumen de fragmentos, a los detonantes (dinamita).

La Unión Española de Explosivos, concesionaria en España de los explosivos utilizados en minería fabrica dos tipos de pólvora negra (Nºs 1 y 2).

A igualdad de granulación la primera es más rápida que la segunda, es también más potente y menos higroscópica, aunque su precio es algo más elevado.

Los explosivos se introducen en el fondo de los taladros o barrenos practicados en la roca a mano o con máquinas perforadoras.

El taladro a mano se efectúa con las barrenas, barras de acero - que pueden alcanzar hasta 2 m de longitud por 4 ó 6 cm de diámetro. El avance del taladro depende de su ángulo de inclinación y de la naturaleza de la roca, pudiéndose establecer a título orien-

tativo los siguientes rendimientos para jornada de ocho horas y -
barrenado en vertical.

Piedra muy dura (Pórfido)	0,60 m.
Piedra dura (Granito)	1,00 m.
Piedra semidura (Mármol)	1,60 m.
Piedra compacta (Caliza)	2,40 m.

Efectuado el barreno, puede procederse ya a su carga empleándose generalmente pólvora negra o dinamita. Si el orificio es vertical debe utilizarse pólvora en grano que al quedar en contacto con las paredes asegura que no queden huecos; si es inclinado u horizontal se utiliza en comprimidos. La dinamita se utiliza siempre en cartuchos. Terminada la carga se efectúa el retacado, con arcilla generalmente, para conseguir un perfecto confinamiento de la carga explosiva. La operación final es el encendido.

Se pueden utilizar máquinas de aire comprimido (martillos y perforadoras) en la preparación de barrenos para voladuras. El tipo de roca influye en la presión de trabajo y en el consumo de aire - en litros/minuto. Para la perforación de una roca con un martillo de 13 a 18 kg de peso son necesarios los siguientes consumos procedentes de un compresor.

<u>Tipo de roca</u>	<u>Presión en atmósferas</u>	<u>Consumo de aire litros/minuto</u>
Roca blanda (caliza, creta)	4	800-1.000
Roca semidura (caliza compacta, mármol)	5	1.000-1.200
Roca dura (granito)	6	1.200-1.500
Roca muy dura (basalto)	7	1.500-2.000

Los martillos o perforadoras de carretilla (Wagor-drills) tienen unas ventajas considerables sobre los martillos manejados a mano: Ahorran mano de obra dada su alta velocidad de perforación y eliminan el esfuerzo físico del operario lográndose una regularidad en el trabajo.

Este tipo de maquinaria puede adoptar cualquier posición y perforar tanto en sentido vertical como horizontal o en cualquier ángulo de inclinación.

Se está imponiendo la utilización de barrenos con coronas de metal duro pues reúne innumerables ventajas sobre las ordinarias de acero. En la penetración de rocas blandas o semiduras, su duración es unas 100 veces superior y la velocidad de perforación es constante y superior en un 50% a la de la barrena de acero. Estas presentan también el inconveniente de que el diámetro del barreno se reduce rápidamente durante el barrenado por lo que es preciso iniciarlo con una barrena de diámetro superior al deseado para el fondo del barreno. Este inconveniente se puede sub

sanar utilizando barrenas con aristas de Widia (carburo de tungsteno) debido a su menor desgaste, únicamente producen unos mm de reducción de diámetro en el barreno para 100 m de barrenado.

- Extracción directa con herramientas neumáticas

Para el arranque de bloques mediante este procedimiento se practican una serie de agujeros espaciados unos 10 cms, siguiendo la línea deseada para el corte y a toda la profundidad del bloque. Finalmente se aplican en los agujeros unas cuñas de acero sobre las que se golpea con mazas consiguiendo fácilmente el desprendimiento. Mediante este procedimiento prácticamente no es necesaria la operación de escuadrado.

- Serrado directo en cantera con disco diamantado

La extracción se efectúa con máquinas provistas de dos discos - diamantados que cortan los bloques sobre la plaza de la cantera - directamente. La máquina puede desplazarse a lo largo de la plaza de la cantera, sobre railes móviles. La posición relativa de los discos está determinada por el espesor normalizado de los bloques que se desea obtener.

En la práctica antes de efectuar cortes longitudinales se realizan cortes transversales. Cuando se han efectuados los cortes en las dos direcciones, la plaza de la cantera presenta la apariencia de haber sido aserrada en bloques de 20 cm de profundidad. Para ex

traerlos se pone en acción una segunda máquina instalada sobre raíles con un sólo disco diamantado girando horizontalmente que corta los bloques por debajo.

Es importante utilizar las máquinas, con precaución absoluta, para mantener un suelo perfectamente nivelado y adecuado al próximo ciclo de operaciones.

Finalmente se elimina la polvareda y se extraen los bloques, almacenándose para su secado y envejecido.

Este método de extracción prácticamente sólo se utiliza en Australia, aunque es de esperar que se generalice en el futuro en aquellas canteras con condiciones favorables que permita utilizarlo con ciertas garantías de éxito.

- Empleo de sierras de cadena o rozadoras

Consisten en una cadena sinfin provista de dientes de carburo de tungsteno, accionada por un motor eléctrico que efectúa en la roca cortes de anchura y profundidad variables. El grosor de la cadena es menor cuanto más dura sea la roca. Así, para rocas blandas o semiduras se emplean las de 42 a 45 mm. de grueso, mientras que para rocas duras o esquistasas, las de 22 a 24 mm.

Pueden trabajar tanto en sentido horizontal como en vertical y se utilizan tanto en explotaciones subterráneas como a cielo abierto.

Cuando se emplea en labores subterráneas se practica una peque
ña roza en la parte inferior del bloque que se desea cortar; se de
ja un soporte en uno de los extremos del mismo y se aserran las
restantes capas del bloque excepto la última parte de la cara pos
terior, de forma que el desprendimiento se provoca al retirar -
el soporte. El procedimiento se puede observar mejor gráficamente grá
fica -
mente en la figura nº 6.

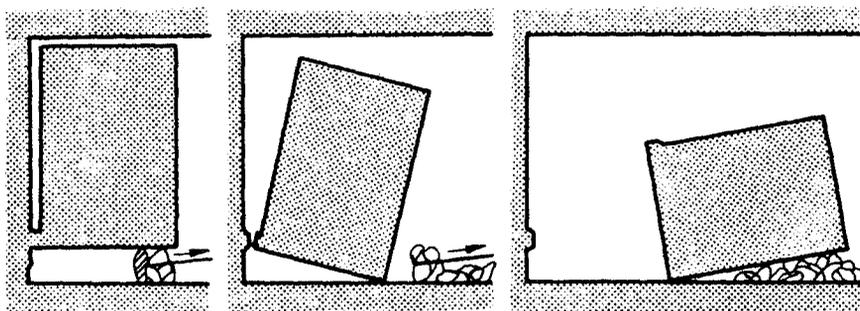


Fig. 6 - DESPRENDIMIENTO DE UN BLOQUE EN UNA GALERIA

Cuando se trata de explotaciones a cielo abierto, el aserrado se
emplea de forma parecida, aislando los bloques en su parte infe
rior y realizando después cortes verticales, normales y parale-
los al frente de cantera, formando una cuadrícula de trazos que
limita las dimensiones de los bloques.

La capacidad de aserrado de estas máquinas para el mármol, es de unos 3 m^2 de superficie a la hora aproximadamente.

La limitación más importante que existe en la utilización de esta maquinaria es referente a la altura de los bancos que hace que las canteras adopten formas especiales. Dicha altura varía según el tipo de rozadora utilizada pudiéndose cifrar en unos dos metros.

- Empleo del hilo helicoidal

Es un método muy generalizado en Italia, por la gran potencia de sus yacimientos, pero que en España tiene escasa importancia.

Se utiliza generalmente para el corte de rocas de dureza media tales como mármoles, calizas, serpentinas y excepcionalmente en EE. UU. para el corte de granitos, ya que debido al elevado costo de la mano de obra se tiende a una mecanización total. Dada la gran dureza del granito, la utilización de arena como abrasivo en el equipo del hilo helicoidal sería poco efectiva por lo que se utiliza generalmente óxido de aluminio granular de 420μ y en casos muy especiales de 125 a 250μ

Este método únicamente se puede aplicar con garantías de éxito si el terreno no está fracturado y las capas son sensiblemente horizontales con una potencia media de 2 - 3 m.

Generalmente las instalaciones constan de los siguientes elementos fundamentales:

- . Un cable de 3 hilos trifilar de acero de ϕ variables entre 1,60 y 2,80 mm y que enrollados en hélice constituyen un todo uno con un diámetro que oscila entre 3,5 y 6 mm.
- . Con este cable se forma un circuito cerrado, a base de una serie de poleas dispuestas adecuadamente, cuya longitud puede variar entre una docena de metros hasta más de un kilómetro, - función de la magnitud del bloque a extraer y de la mayor o menor frecuencia con que deba sustituirse el hilo.
- . El hilo al entrar en contacto con la roca produce una incisión - debida al roce que junto con la introducción de sustancias abrasivas y agua como lubricante, provoca finalmente el seccionamiento de la masa.
- . El hilo tiene una velocidad de traslación de unos 5-6 mt/seg. - produciendo una canaladura en la roca de anchura entre 7 y 10 mm. El movimiento del hilo se realiza a través de una polea - accionada por transmisión con un motor de potencia variable, - según las características de la instalación, y que oscila alrededor de 7CV.
- . A lo largo del circuito se sitúan una serie de montantes con poleas (40-50 cm ϕ) muy flexibles para guiar al hilo en su recorrido.

Se refleja en la fig. nº 7 un esquema de explotación por hilo helicoidal.

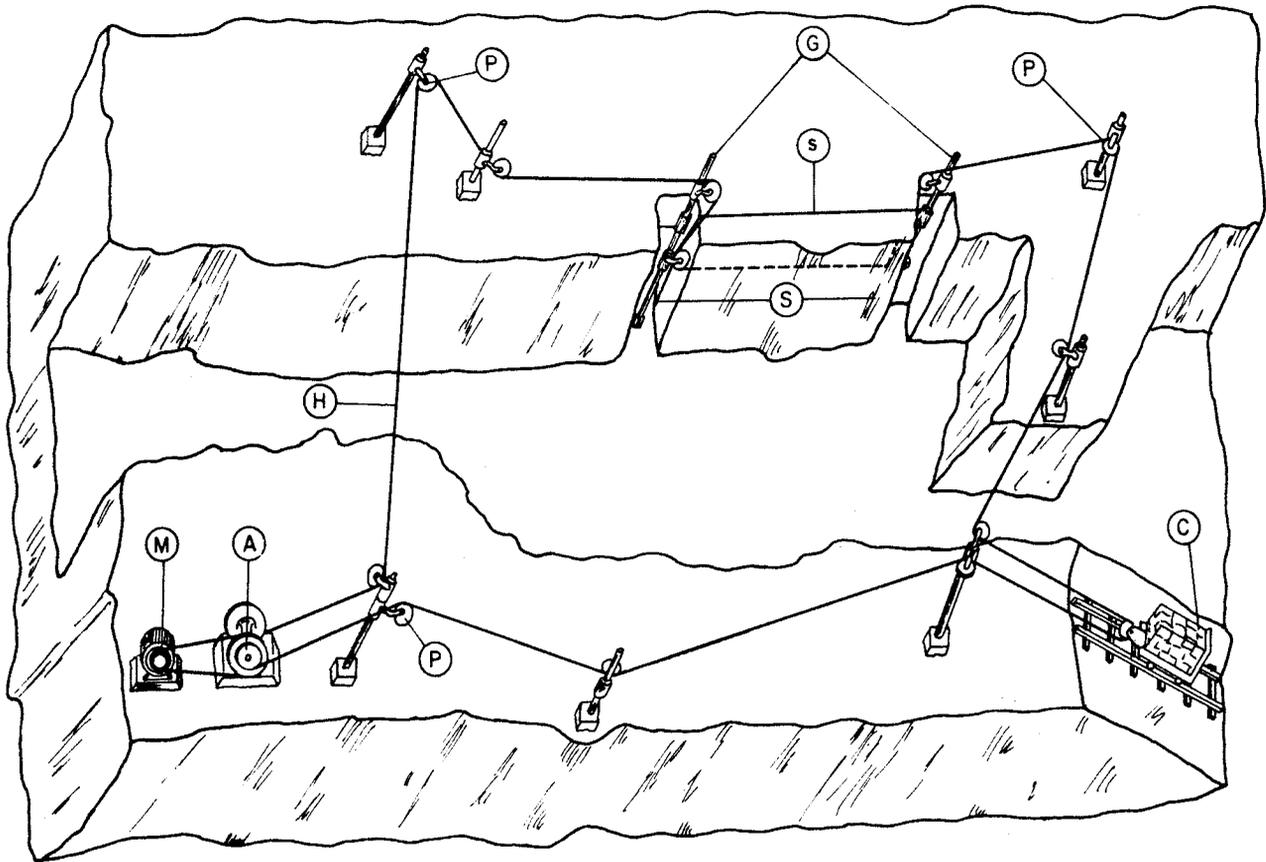
- . Las ventajas principales estriban en la obtención de bloques - arrancados directamente de la masa rocosa con mínima fracturación, lo que implica la obtención de productos de grandes dimensiones y una mínima producción de escombros, junto con el ahorro en las operaciones de ACABADO ya que los bloques extraídos son de formas regulares y superficies lisas.

A pesar de estas indudables ventajas, el método original presentaba inconvenientes que han alcanzado mayor relieve en los últimos tiempos:

- Instalaciones complejas y costosas
- Baja producción horaria de superficie aserrada
- Amplio empleo de mano de obra

El control de la velocidad y tensión del hilo se venía regulando hasta la actualidad con criterios empíricos, obtenidos en experiencias previas de explotación; sin embargo, la importancia del control de ambas variables se pone de manifiesto por la incidencia del costo de hilo sobre el valor total de la producción, costo que resulta para el caso de la producción italiana de mármol en bloques cerca del 2,5%, porcentaje al que hay que añadir los costos por mano de obra y tiempos muertos debidos a recambios y reparaciones.

Actualmente el consumo medio de cable es de unos $10\text{kg}/\text{m}^2$ de superficie cortada.



ESQUEMA DE EXPLOTACION POR HILO HELICOIDAL

- (M) MOTOR
- (A) POLEA MOTRIZ
- (P) POLEAS
- (H) HILO HELICOIDAL
- (S) LONGITUD DEL CORTE
- (s) CORTE
- (C) CARRO TENSOR
- (G) GUIAS

Las primeras modificaciones fueron introducidas por el ingeniero Italiano M. Monticolo perfeccionadas posteriormente por M. Felix Fromholt. Consistían en evitar la excavación previa de pozos para la introducción de los montantes mediante una perforadora de coro na diamantada y polea penetrante y en donde el taladro progresivo sirve para la introducción de la polea con el hilo.

Las instalaciones más modernas (Pellegrine) constan de un equipo propulsor eléctrico que en su parte superior lleva tres poleas locas de fundición de aluminio con caucho, montadas sobre rodamientos de bolas y protegidas por pantallas. La longitud media del cable es de unos 1.200 m y la velocidad máxima que puede alcanzar el hilo es de unos 13 m/seg.

El cable que tiende a utilizarse es de dos hebras con torsión simple y de unos 5 mm de ϕ , montado sobre poleas de llanta acauchada de unos 60 cm de ϕ (40-50 cm en el sistema clásico).

Con esta maquinaria moderna se consigue una mayor tensión del cable así como mayor velocidad dando como resultado un corte más eficaz según se deduce de las investigaciones actualmente en curso, pudiéndose alcanzar una velocidad de descenso de 10-11 cms/hora en una roca más o menos dura y de unos 15 cm/hora en otra de características más blandas.

Las últimas investigaciones están orientadas a lograr una dosificación óptima entre agua y abrasivos con objeto de alcanzar el mayor rozamiento posible. En este sentido se están realizando numerosos ensayos con abrasivos sintéticos.

1.4.2. Posibles mejoras técnicas en la maquinaria de extracción de rocas ornamentales.

Antes de hacer algunas consideraciones sobre las perspectivas ofrecidas por los métodos nuevos es de utilidad examinar sintéticamente los métodos tradicionales para analizar si es posible introducir algún perfeccionamiento importante o si se debe pensar que se ha alcanzado "el techo" dictado por alguna limitación intrínseca. En términos generales la tendencia actual está orientada a que prevalezcan sobre la economía de potencia mecánica la exigencia de una mayor velocidad de corte.

Hilo helicoidal

Las características más sobresalientes desde el punto de vista de rendimiento y consumo son las siguientes:

- a) Consumo de energía del orden de 1 kw/h por cm^3 de roca arrancada.
- b) Cantidad de roca destruída por cada m^2 de corte, de 4.000 a -- 10.000 cm^3 .
- c) Potencia transmitida del orden de 1 kw/h por cada mm^2 de sección útil de hilo.

El factor -a- podría ser mejorado con la utilización de abrasivos más eficientes que la arena silíceo. Existe una limitación que no es técnica pero sí económica; naturalmente el abrasivo debe ser recuperado.

En cuanto al factor -b- no existe prácticamente ninguna posibilidad de mejora puesto que la potencia transmitida a través del hilo disminuye con su diámetro y más rápidamente. Por otra parte se podría pensar en obtener una mayor velocidad de corte a costa de un mayor consumo de energía pero existen limitaciones técnicas dictadas por problemas de rigidez del hilo, dimensiones de las poleas, etc.

El factor -c- podría ser mejorado teóricamente con aceros cuya resistencia fuese mucho mayor que la de los actuales, pero en este campo no se han entrevisto avances importantes al menos en cuanto a materiales cuyo precio se asequible y por consiguiente la limitación impuesta por la resistencia del acero pueda ser considerada como insoslayable.

Extracción por medio de explosivos

Su campo de aplicación se extiende a rocas de mayor dureza que los mármoles ordinarios.

Las características técnicas de la operación previa de perforación pueden ser sintetizadas en las siguientes:

- a) Consumo de energía con referencia únicamente al trabajo útil realizado por la perforadora de 0,1 a 0,2 wh por cada cm^3 de roca arrancada.
- b) Cantidad de roca destruída por cada m^2 de corte es del orden de 30.000 cm^3 como mínimo (valor notablemente mayor que el del hilo helicoidal).

- c) Potencia transmitida a la máquina perforadora del orden de 0,3 Kw por cada cm^2 de sección del barreno.

El factor -a- no presenta importantes posibilidades de mejora, pues la geometría y material de construcción de las herramientas parecen poco susceptibles de cualquier perfeccionamiento por el momento.

El factor -b- está limitado inferiormente sobre todo por las exigencias de rigidez del órgano que transmite la energía a la herramienta, es decir por el barreno. Se puede decir que el factor -b- debe ser aumentado cuando se busca una mayor velocidad de corte.

El factor -a- ofrece al menos teóricamente mayores perspectivas de mejora gracias a los nuevos tipos de perforadoras.

A pesar de que la demanda de energía por cm^3 de roca arrancada es inferior con relación al hilo helicoidal, la cantidad de roca destruída - mucho mayor por m^2 de corte, el bajo rendimiento termodinámico de las perforadoras, las pérdidas de energía en la transmisión, pueden conducir a consumo 5 ó 10 veces mayores que los del hilo helicoidal.

1.4.3. Nuevas técnicas de extracción de rocas ornamentales

a) Corte térmico

Las limitaciones de su utilización son esencialmente de naturaleza mineralógica. Prácticamente no es posible alcanzar posibilidades y ventajas de empleo fuera del campo de las rocas graníticas.

El método puede parecer muy costoso por la energía consumida (millares de kwh por m^2 de corte), pero la energía es suministrada bajo forma de energía térmica con un coste unitario poco elevado

b) Corte con chorros de agua

Interesantes investigaciones se están efectuando en laboratorios rusos y americanos para evaluar la posibilidad de empleo de chorros de agua a gran velocidad para el corte y perforación de las rocas.

Un chorro de agua de sección muy pequeña a una presión extremadamente elevada (aproximadamente 7.000 kg/cm^2) puede concentrar una energía muy elevada, pero desgraciadamente esta energía se transforma en trabajo de disgregación de la roca solamente con velocidades muy elevadas. Son necesarias presiones iniciales de millares de atmósferas, en algunos casos se alcanza 5.000 atmósferas.

Existen dos formas fundamentales de utilización del chorro de agua.

- a) Chorro continuo
- b) Chorro discontinuo

El primero de ellos se basa en aplicar sobre la superficie a cortar un chorro continuo de agua a presión constante. El corte es función del diámetro del tubo, de la presión del chorro y de la velocidad de proyección del agua sobre el material.

En el chorro discontinuo se proyectan partículas de agua a intervalos regulares de tiempo a velocidad elevada golpeando el material. Se produce un pequeño agujero en la superficie de la roca - que se resquebraja siguiendo su plano natural de fractura. Si la - presión del chorro es demasiado elevada puede estallar el material.

El método del chorro continuo permite un mejor control del corte adaptándose a las características dimensionales de los bloques a obtener.

La herramienta es un simple pulverizador de material resistente al desgaste con un diámetro de algunos milímetros. A pesar de - las dificultades técnicas de realización de una máquina industrial que trabaje según este principio, la idea tiene características interesantes que hacen pensar en desarrollos concretos en un futuro próximo. El coste de energía por cm^3 de roca arrancada será más elevado, pero no mucho más elevado que el de los sistemas de corte mecánico.

En compensación la velocidad de corte podría ser más elevada porque la potencia útil introducida por unidad de sección del frente de ataque puede ser centuplicada con relación a los sistemas tradicio-

nales. Se han obtenido resultados muy satisfactorios con chorros de agua mezclados con sustancias muy abrasivas.

Las ventajas técnicas fundamentales de este método se pueden traducir en la posibilidad de reducir los costes de la operación del orden de unas diez veces tanto en la cantera como en el taller de elaboración y acabado.

c) Ultrasonido

Se ha estudiado y experimentado la posibilidad de su empleo en la perforación de rocas pero no se han alcanzado resultados positivos. La potencia transmitida por vibraciones ultrasónicas es demasiado baja para obtener velocidades de trabajo aceptables.

d) Reactivos químicos

Está en estudio un sistema que utiliza reactivos químicos que faciliten el arranque mecánico de la roca, reactivos que añadidos al agua de lavado en sondeos hacen que aumente la velocidad de penetración de las herramientas.

No es posible tener una idea precisa de la eficacia y del costo de ablandamiento químico localizado de una roca y además el método aún suponiendo que tenga posibilidades prácticas debe ser estudiado roca por roca.

Es necesario señalar que no se trata de un método basado en la corrósión química (que ya ha sido experimentado pero cuyo coste es prohibitivo). Los reactivos experimentados (carbonato de sodio y algunos otros alcalinos) son añadidos al agua en pequeñas proporciones.

f) Laser y radiaciones electrónicas

No es posible hacer previsiones sobre la posibilidad y menos aún sobre la puesta en práctica de estas técnicas con el coste industrial de estas rocas.

g) Sistema cordón detonante-agua

Este sistema consta esencialmente de las siguientes fases:

- Perforar a lo largo de una determinada línea una serie de barrenos equidistantes.
- Introducir en los barrenos un trozo de cordón detonante.
- Vincular los anteriores a un cordón detonante maestro.
- Llenar los barrenos completamente de agua antes de la detonación.
- Provocar la detonación instantánea.

Su característica es pues la detonación de una pequeña carga de explosivo uniformemente distribuida a lo largo de un agujero relativamente grande.

El agua es el medio a través del que se trasmite a la roca el impacto rompedor.

Las primaras pruebas de corte de mármol con cordón detonante-agua, se han efectuado principalmente en bloques desechados y defectuosos.

Las experiencias se orientaron en el sentido de obtener un corte de los bloques con desgaje neto y preciso mediante una serie de barrenos perforados en línea, cargados con cordón detonante-agua, para conservar inicialmente sus características de comercialidad.

Los mejores resultados para recortar un bloque según la "cara" - (verso) se obtuvieron de la siguiente manera:

- Separación de barrenos: 8-10 cm, cordón detonante en barrenos alternativos.
- Detonación instantanea.
- Barrenos pasantes.

Dada la confusión y diversas interpretaciones que se dan a los términos de plano de "cara", de "dirección", y "transversal", es necesario hacer unas precisiones.

Generalmente en los yacimientos de mármol, a causa del profundo metamorfismo, es difícil determinar los planos de sedimenta-

ción, pero el plano de separación del yacimiento simula perfectamente por su paralelismo el plano de estratificación.

El plano de "cara" subvertical, es siempre normal, o casi, al plano de sedimentación en el sentido de la dirección del banco.

El plano "transversal", subvertical, es normal al plano de sedi-mentación pero en el sentido de la pendiente del banco.

El plano de "dirección", subhorizontal coincide con el plano de sedimentación.

Ahora bien, mientras que para la "dirección" no existe ninguna -duda, la "cara" y la "transversal" se confunden. Puede eliminarse la confusión terminológica refiriéndose siempre al plano del -yacimiento. La fractura dirigida regirá el plano de asentamiento de la cara, la dirigida según el plano de yacimiento da la direc-ción y la dirigida según la inclinación da la transversal.

El escuadrado de las piedras ornamentales y corte con cordón de tonante-agua es válida en todas partes, pero puede aplicarse solamente tras haber experimentado "in situ" la interdistancia y carga óptimas.

Orientativamente para la iniciación de pruebas eventuales se aconsejan las siguientes medidas.

- "Dirección": Interdistancia = 3 x diámetro de agujeros.
- "Cara" : Interdistancia = 4 x diámetro de agujeros.
- "Transversal": Interdistancia = 4 x diámetro de agujeros.

Para evitar roturas es necesario siempre llevar el barreno de una superficie a la otra y dejar el barreno exterior descargado. En todo caso hay que proceder a la explosión simultánea de la carga, so lo así podran obtenerse subdivisiones netas y regulares del bloque según la línea prefijada.

h) Perforación de barrenos con soplete (Jet piercing)

Se viene utilizando desde hace algunos años, sobre todo en EE. UU. Consiste esencialmente en dirigir una llama de gran velocidad y temperatura superior a los 2.500°C contra el material que se tra ta de perforar, utilizando como combustible una mezcla de fuel-oil y oxígeno líquido. Bajo la acción del calor el material se des- prende en escamas que son arrastradas ascensionalmente a lo lar go del barreno por el vapor de agua procedente del agua de refri- geración de la boquilla.

El elevado consumo de oxígeno hace a este sistema de perforación poco económico y ésta es la razón por la que no se ha generaliza- do su uso. Sin embargo, recientemente, se ha conseguido poner a punto este sistema utilizando aire en vez de oxígeno y reduciendo el coste del metro de perforación a la mitad esperándose que su utilización se incremente notablemente.

Este sistema se utiliza también en operaciones de elaboración tales como desbastado y acabado superficial. (Rugoso térmico).

1. 4. 4. Particularidades de la explotación de granitos

La tecnología que a continuación se expone se aplica tanto para el granito como para la sienita, diorita, etc. y en general para todas las rocas plutónicas compactas. El arranque de estos materiales se hace con voladuras progresivas o con pólvora. Las canteras de granito no siempre tienen plaza y, en este caso, constan de frentes de arranque, desde los cuales la roca se separa y se deja caer a lo largo de taludes detríticos formados por los residuos de arranques anteriores. Cuando se extraen bloques de notables dimensiones se forman plazas rudimentarias para la subdivisión de los bloques al objeto de que puedan ser transportados fácilmente.

Se perforan barrenos verticales de 10 a 20 m de profundidad y diámetro de 80 a 100 mm. en la boca, y de 65 a 75 mm. en el fondo. La perforación se hace a veces manualmente, aunque generalmente es mediante medios mecánicos.

En general, existe una primera fase en la voladura, en la que se utiliza una carga por barrenos de 3 a 5 kg de pólvora negra. Se usa la regla de cargar el barreno en una altura h de forma que la relación sea $\frac{h}{H} = \frac{1}{10}$ (H : altura del banco). En las cargas sucesivas se multiplica por tres la carga anterior, se hacen voladuras auxiliares al pie para producir el descalce y facilitar la separación del bloque (cuña ó cuele de pie).

Para establecer una disposición adecuada de los barrenos, es necesario individualizar la orientación de los planos de más fácil divisibilidad, que siempre existen incluso en las rocas eruptivas masivas. Solamente la práctica conduce a determinar tales planos que se presentan aproximadamente normales entre sí. Estos planos se aprovechan para la separación del granito en bloques; para ello se preparan series de orificios alineados según dos de estos planos; a continuación se introducen las punterolas (cuñas de sección piramidal de base rectangular) y se golpean con la maza para provocar el desprendimiento del bloque.

La explotación por el sistema de barrenos de gran diámetro produce un rendimiento muy bajo ya que sólo se aprovecha de 1/8 a 1/10 del granito extraído, mientras el resto se pierde bajo la forma de esquirlas y residuos. Otras canteras se explotan por un sistema más racional, similar al empleado en las canteras de mármol, aunque no se puede adoptar el hilo helicoidal tradicional por la dureza de la roca; el arranque se obtiene con barrenos oportunamente calculados y mediante punzones. Las canteras de este tipo se disponen en gradas y están provistas de plaza por donde se hacen descender los bloques extraídos. El frente de la cantera se mantiene paralelo a uno de los tres planos de más fácil separación. Cuando se quiere obtener un bloque que tiene ya una superficie lateral libre se individualiza un plano de separación y a lo largo de este plano se perforan con martillo neumático barrenos espaciados de 30 a 50 cm. y de longitud variable para que el explosivo actúe a distintas profundidades. Los barrenos se cargan con 250-300 gr. de pólvora negra. Los bloques arrancados -

permanecen "in situ" siendo reducidos a dimensiones comerciales.

1.4.5. Particularidades de la explotación del mármol

Las consideraciones que se van a hacer son aplicables tanto para el mármol como para las calizas ornamentales y las serpentinas, es - decir para todo lo que se considera comercialmente como "mármol".

La apertura de la cantera debe estar precedida por las labores de en sayo, que sirvan para suministrar indicaciones lo más precisas que sea posible, sobre el tipo de mármol del yacimiento, su valor comercial, posible costo de la explotación, etc.

Mediante sondeos y estrechas rozas se recogen una serie de testigos. Una pared de la roza puede estar constituida por una estructura favorable del mármol ("pelo"), mientras la otra puede obtenerse con un - corte por medio del hilo helicoidal, normal a la dirección de los "pelos" principales. Los testigos se preparan y pulen para conocer la ca lidad del mármol: color, pureza, existencia de pelos ocultos perjudiciales, cavidades que puedan incluir poros o impurezas, resistencia a la meteorización, orientación y frecuencia de los "pelos" principales, disposición de las manchas, etc.

Se procede a continuación al arranque de algún pequeño bloque de roca, operando con herramientas manuales, o con el auxilio eventual de algún explosivo. Sobre este bloque se efectúan ensayos para determinar sus propiedades, el más importante de los cuales es el que mide su aptitud para ser cortado en losas.

Es importante la determinación del rendimiento que la cantera puede dar en bloques, teniendo en cuenta las dimensiones de estos últimos y que los bloques alcanzan un precio tanto más elevado cuanto mayores sean sus dimensiones. Así por ejemplo un bloque de mármol de un m^3 que alcance en el mercado un valor de 10.000 pts. si el bloque del mismo material fuera de $3 m^3$ alcanzaría un valor muy próximo a las 150.000 pts.

Una vez finalizados los ensayos, es preciso efectuar una serie de labores preliminares como son la apertura de una plaza y un frente de ataque para proceder a las labores preparatorias.

La plaza debe ser suficientemente amplia para garantizar una capacidad de producción interesante. Su superficie está constituida por una capa de residuos formando un lecho que pueda recibir los bloques -- procedentes del frente sin que se fragmenten y debe estar delimitada por unos muros laterales de sostenimiento que impidan la caída de los residuos a niveles inferiores de la cantera.

El frente de ataque ha de disponerse de forma que facilite el deslizamiento de los bloques hacia la plaza, para lo que es interesante aprovechar la disposición de los planos de fractura, cuyas direcciones no coinciden por lo general con la de los planos de sedimentación.

Una vez finalizada la organización de la plaza se procede a las labores preparatorias que se repiten cada vez que se deba extraer un bloque y que consisten fundamentalmente en la eliminación de la capa -

meteorizada, excavación de zanjas, galerías y pocillos, y el corte para aislar la masa del resto de la montaña.

Aunque a veces se emplean para el arranque los explosivos o el arranque de bloques por medio de cuñas, el primero de los métodos produce gran cantidad de residuos y el segundo sólo es factible en condiciones de estratificación muy particulares. El empleo del hilo helicoidal minimiza los residuos producidos y por lo tanto optimiza el rendimiento de la operación.

El fundamento de este método se explicó en el apartado anterior, por lo que ahora sólo se va a describir el proceso que se sigue para su utilización tanto en el frente de ataque como en la plaza de cantera. (Fig. nº 8).

El empleo del hilo helicoidal en el frente tiene por objeto obtener los bloques arrancándolos directamente de la montaña.

Para dar una idea del proceso que se sigue se ofrece a continuación el esquema de un posible trabajo de desprendimiento. (Fig. nº 9).

Primeramente se pone al descubrimiento la superficie M y en los puntos D y D' se practican dos pozos verticales hasta alcanzar los puntos F y F'. En estos pozos se introducen los montantes, efectuándose al corte según el plano DD' - FF' y separando el bloque de la montaña por la parte posterior; seguidamente se practican en A y A' dos pequeñas galerías hasta F' y F', de forma que introduciendo los

montantes y aplicando el hilo se obtiene el corte de la cara $BB'FF'$; con una nueva disposición de montantes (según se observa en la segunda figura nº 9, se efectúan los cortes según $CDBF$ y $C'D'B'F'$ - quedando el bloque cortado sobre la base P .

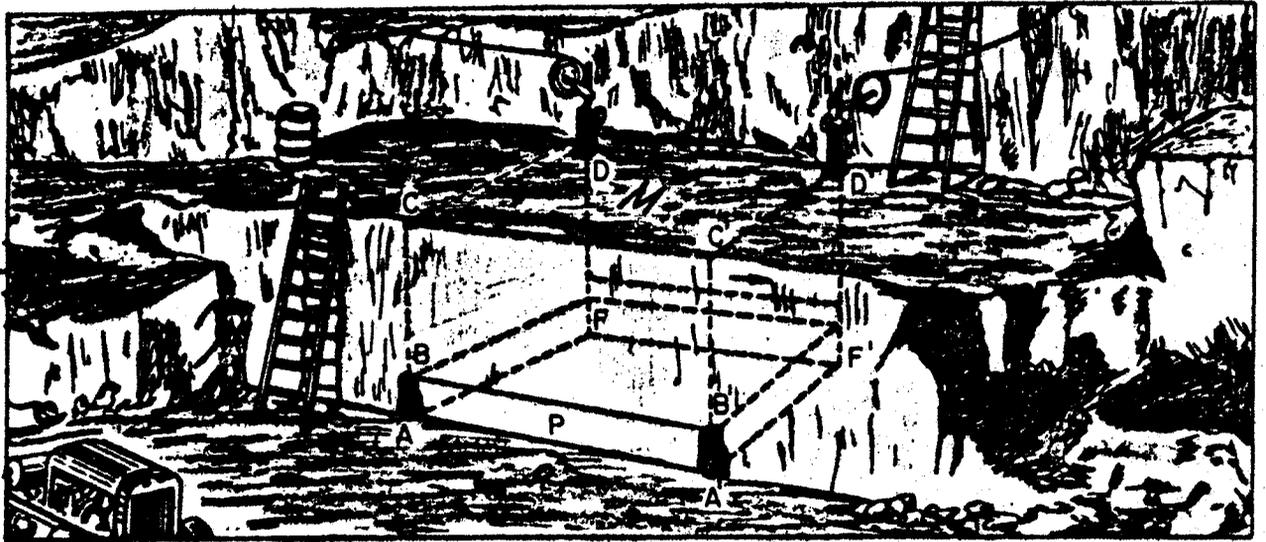


Fig. 8 - PROCESO DE UTILIZACION DEL HILO HELICOIDAL

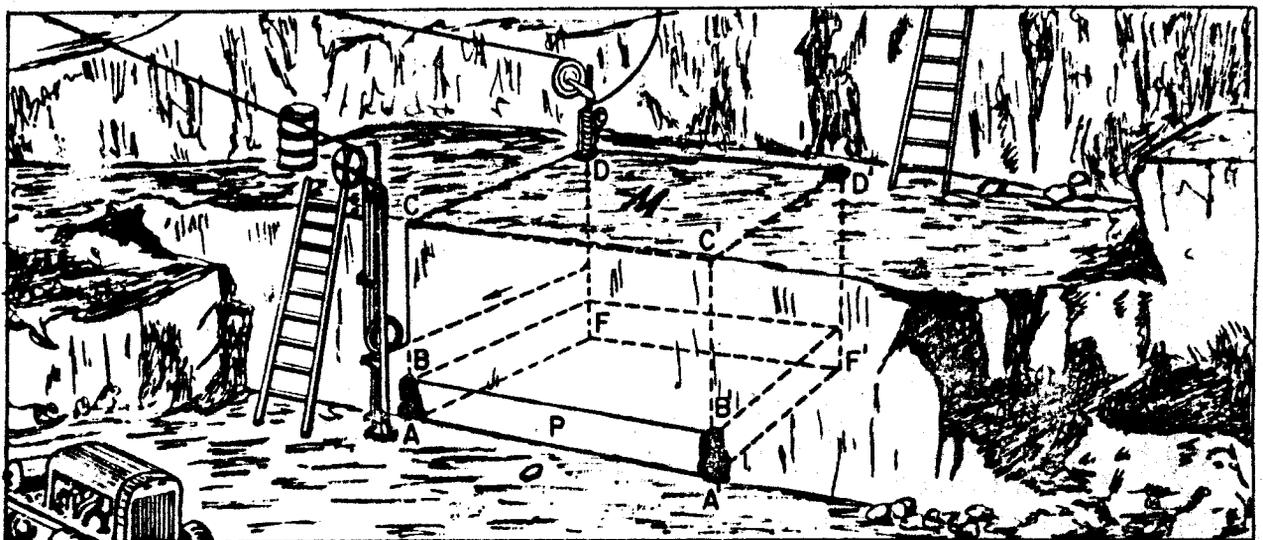


Fig. 9 - PROCESO DE UTILIZACION DEL HILO HELICOIDAL

1.5. Procesos de elaboración y acabado

1.5.1. Organización de la industria

En este capítulo se describen someramente las distintas operaciones a las que son sometidos los materiales extraídos para su posterior comercialización. (Fig. nº 10).

En este sentido hay que diferenciar entre el tratamiento de los bloques y el de los residuos obtenidos en la explotación.

Los bloques una vez extraídos de las canteras son en primer lugar "escuadrados" (eliminación de las protuberancias más acusadas de las caras del paralelepípedo así como la consecución de la mayor perpendicularidad posible entre ellas) para ser sometidos posteriormente a los procesos de elaboración destinados a darle la forma, medidas y acabado que requiera su puesta en obra.

El hilo helicoidal puede utilizarse en la plaza de la cantera constituyendo ya un primer proceso de elaboración, adecuando los bloques para el transporte o reduciéndolos a medidas comerciales. En la fig. nº 11 se representa el esquema de una instalación de esta clase.

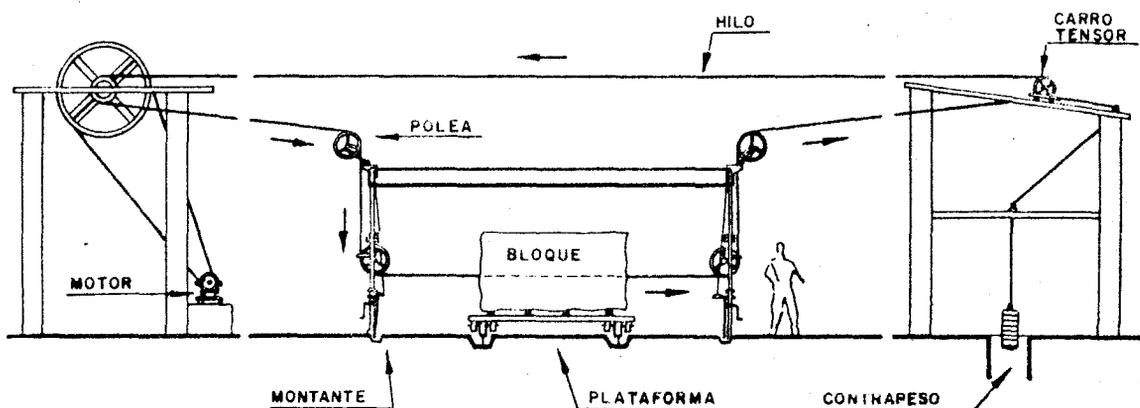


Fig. 11- ESQUEMA DE UTILIZACION DEL HILO HELICOIDAL PARA EL DIMENSIONADO DE BLOQUES

ORGANIZACION DE LA INDUSTRIA DE ROCAS ORNAMENTALES

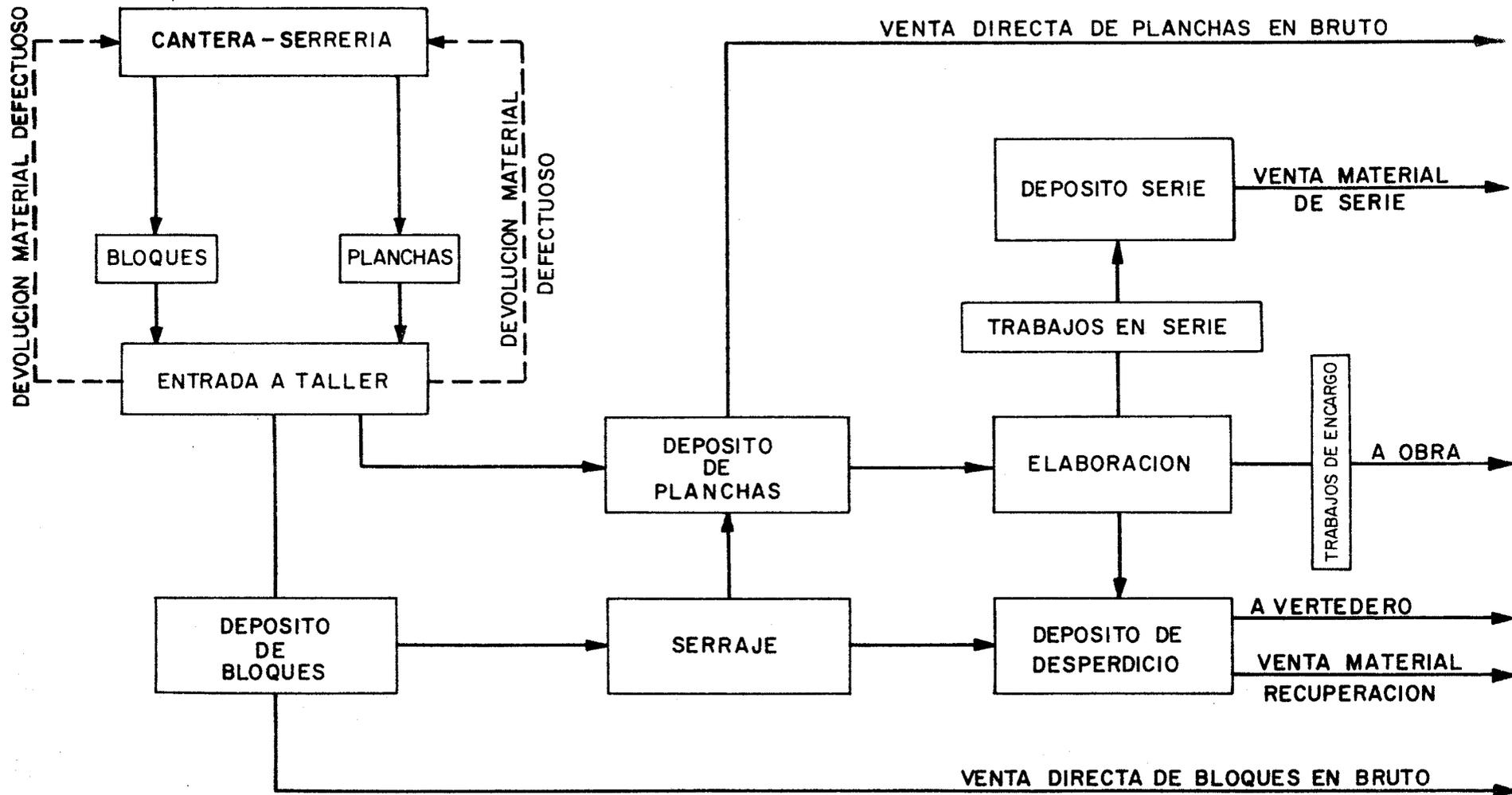


Figura n.º 10

Los talleres de elaboración pueden adquirir el material en bloque o bien, si en las canteras disponen de talleres de aserrado, en forma de planchas. A partir de los bloques o las planchas se inicia el trabajo de su elaboración. Este trabajo se puede llevar a cabo en talleres cercanos a los centros de explotación o bien en talleres cercanos a los centros de consumo, siendo esta última la tendencia más generalizada actualmente ya que los bloques soportan el transporte mucho mejor desde el punto de vista de posibles roturas que los productos elaborados (tableros, planchas, losas).

El material que entra en el taller puede ser preparado para su comercialización directa en forma de bloques y planchas en bruto, o bien los bloques una vez aserrados, junto con las planchas, son sometido al proceso propiamente de elaboración. Los productos elaborados pueden ser comercializados como material de serie o como material de encargo. Tanto en las serrerías adjuntas a las explotaciones como en los talleres de elaboración se produce un volumen de desperdicios, que en el caso de no ser vertido en escombreras, se pueden comercializar como material de recuperación (industria de la piedra artificial).

Aserrado

El aserrado tiene por objeto transformar los bloques en planchas o tableros en bruto y se lleva a cabo en unas máquinas serradoras, denominadas "artes" o "telares", que presentan algunas diferencias según sean para aserrar granitos o mármoles como consecuencia de las distintas durezas de estos materiales.

Estas máquinas están constituidas esencialmente por un marco rectangular colocado horizontalmente que sirve de soporte a un conjun-

to de flejes de acero, elementos cortantes, que efectúan lentamente la operación de aserrado ayudados por el movimiento pendular - del marco y la acción abrasiva de la mezcla de agua y arena que se vierte continuamente sobre los bloques. Este marco va descendiendo continuamente accionado por un motor eléctrico al tiempo que el movimiento de vaivén lo comunica una biela sujeta a una excéntrica accionada por otro motor. La velocidad de descenso depende de la dureza del material a serrar.

Los flejes son de acero especial, con una anchura de unos 10 cm y un grosor de unos 3 mm variando la separación entre ellos según - el grosor de los tableros.

El rendimiento de estas máquinas de aserrar ha sido mejorado con la introducción de abrasivos artificiales y flejes diamantados.

Las herramientas diamantadas son las más caras de todas las utilizadas en la industria moderna debido a su difícil proceso de obtención y condiciones de trabajo muy rígidas con instalaciones capa-ces de producir y mantener temperaturas de 2.800°C y superpresiones del orden de los 100.000 kg/cm².

Los telares de flejes diamantados están constituídos por flejes de acero provistos, en su filo, de elementos diamantados en forma - de pastillas. La velocidad de corte es muy superior a los de acero con arena y la superficie de corte presenta un grado de finura comparable a la obtenida en las primeras fases de pulimento. Frente - a 1,1 cm/hora de descenso en una máquina tradicional con 80 flejes de acero, se han obtenido con 5, 20, 40 flejes diamantados, descen-

esos de 45, 20, 12 cm/hora considerando el trabajo sobre materiales de la misma calidad.

Existe una patente B. R. A. de un telar de hojas múltiples diamantadas con las siguientes dimensiones de corte útil: Ancho 1.600 - - 2.000 mm. Largo: 3.000 - 3.500 mm. Alto: 2.000 mm.

Las planchas obtenidas se clasifican por calidades y medidas y se almacenan hasta su utilización en cuyo momento deberán ser serradas con otras máquinas a las medidas exactas requeridas para su puesta en obra.

Pulido

Raras veces se utilizan los tableros tal como salen del "telar" y generalmente deben ser sometidos a la operación de pulido mediante la cual adquieren el aspecto brillante característico. El pulido no es necesario cuando las piezas deben presentar sus superficies repicadas o abujardadas.

En ocasiones se consigue especiales efectos decorativos suspendiendo el pulimento en sus primeras fases dejando las planchas afinadas pero sin brillo (apomazado) o simplemente se utilizan "dejadas de sierra" es decir, tal como salen del telar.

La operación de acabado o brillo se realiza en las pulidoras que inicialmente estaban constituídas esencialmente por dos brazos articulados de 1 m de longitud, aproximadamente, cada uno, unidos el uno en prolongación del otro, de tal forma que uno de los brazos está adosado o bien a una pared o a una columna, el otro lleva la palanca de mando y el eje donde se encuentran los discos que efectúan

el pulido. Las articulaciones de los brazos están montadas sobre cojinetes permitiendo una maniobra suave y en todas direcciones para trasladar el plato sobre el banco de trabajo que está colocado debajo de la máquina. Las planchas se colocan sobre el banco, fijándolas bien para evitar movimientos. El plato gira sobre sí mismo a elevada velocidad accionado por un motor.

En esta operación, como en aquellas que se utilizan sustancias abrasivas, es necesario la utilización de un caudal de agua suficiente. En las pulidoras suele circular por el centro del eje fluyendo constantemente.

La pulimentación comienza con muelas de carborundum en granos de graduación decreciente, empezando por el número 30 (desbaste) y pasando al 60, 120 y 220, de forma que dejan la superficie afina-da. El pulido y abrillantado final se realiza con muñecas de esparto y cáñamo, disco y limaduras de plomo, poleas de esmeril y cera, etc.

El rendimiento de estas máquinas de tipo clásico, que suele ser de algo más de un m² por hora, ha sido ampliamente superado con las pulidoras automáticas de puente, de múltiples cabezas, en las que todos los movimientos se realizan mediante sistemas hidráulicos. Se refleja en la fig. nº 12 un esquema de una pulidora automática de puente "Levimatic".

Para efectuar un pulimento rápido se recomiendan las muelas celulares con la superficie sembrada de pequeños cráteres que permiten mantener constantemente agua entre el abrasivo y el material, evitando así que la muela se caliente y se empaste

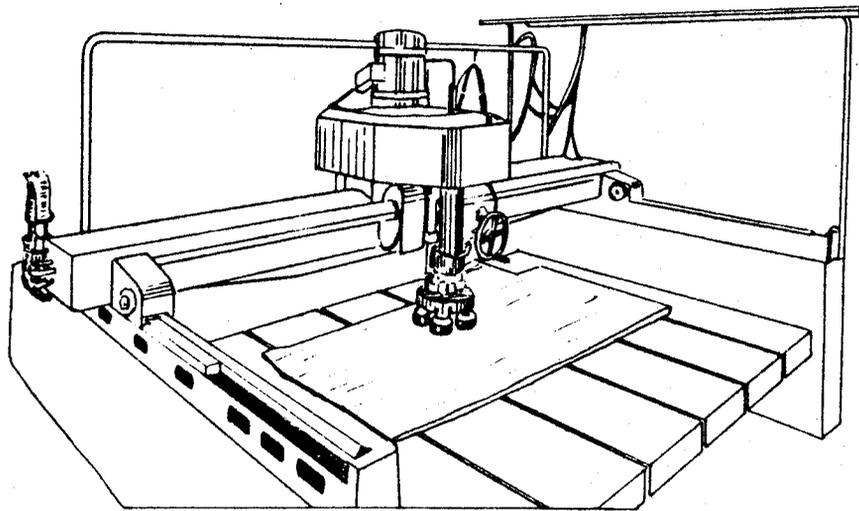


Fig. 12 - PULIDORA DE PUENTE "LEVIMATIC" (Gregori, Schio, Italia).

Cortado

Esta operación tiene por objeto el cortar las planchas obtenidas en el telar para dejarlas con las medidas exactas que se requieren para su comercialización. En este sentido hay que señalar la dificultad que supone la no existencia de unas "medidas standard" para los despieces requeridos por las obras, lo que no permite una optimización de los procedimientos de corte.

La operación se lleva a cabo con sierras de disco en las que el elemento cortante es un disco de alma de acero que lleva en su periferia unos segmentos de concreción metálica con carborundum y últimamente diamantadas, girando a gran velocidad (unas 2.000 r.p.m.) cortando las planchas rápidamente. Los segmentos o dientes son la parte activa del disco y tienen muy poco desgaste debido a las características del aglutinante metálico que retiene los granos hasta un total desgaste. Los discos de diamante se fabrican en diversos diámetros (20 a 300 cms) y con diferentes graduaciones en dureza de aglutinante, tamaño de granos y concentración de los mismos. Las ventajas fundamentales de los discos diamantados son las siguientes:

- a) Menor consumo de energía
- b) Ausencia de peligro de rotura
- c) Economía en pérdidas de tiempo por reposición de discos gastados y en mano de obra.
- d) Velocidad de corte tres veces mayor que la de los discos de carborundum.

Las últimas innovaciones en las sierras de disco están dirigidas a conseguir la orientación de los discos en múltiples direcciones que permitan realizar trabajos de precisión con rapidez y seguridad.

La Associazione Nazionale Produttori Commercianti e Distributori Utensili Diamantati "ASSODIAM" ha elaborado unas normas experimentales para la utilización de discos y flejes diamantados.

Por último es de destacar que el hilo helicoidal que utiliza carborundum como abrasivo, conocido como "hilo rápido", se utiliza también en los talleres de elaboración en instalaciones fijas que difieren muy poco de las utilizadas en la plaza de la cantera. Este tipo de máquinas permite efectuar cortes según líneas quebradas.

Sin con las máquinas corrientes de abrasivo de arena se obtenían los $0,15 - 0,20 \text{ m}^2$ de superficie serrada por hora, con abrasivo de carborundum se puede alcanzar hasta 2 m^2 de superficie por hora.

Rugoso térmico

Es un proceso de acabado superficial en los granitos consistente en someter la superficie de las placas aserradas a un chorro de fuego a la presión y temperatura adecuadas.

Los cristales de feldespatos y cuarzo resquebrajan la superficie en el plano de rotura natural, mientras que la moscovita y biotita no resultan afectadas, quedando la superficie de las placas con la apariencia de piedra limpia cortada de cantera.

1.5.2. Precios de los productos de mercado

Como consecuencia de la actual crisis energética, varios de los factores que inciden en el precio final de estos productos (transporte, energía eléctrica consumida, etc), siguen una tendencia alcista que continúa en la actualidad. Por este motivo los precios que se mencionan a continuación sólo tienen carácter indicativo por su constante variación.

Mármoles

En los cuadros n^{os} 1 y 2 quedan reflejados los precios del mármol en bruto, es decir sin pulir, en almacén o marmolería de Enero de 1974. Todos ellos se refieren a planchas de 2 cm de grosor. Por cada un adicional el precio se incrementa en un 50%. Al exceder de 1,70 ó 1,80 m alguna de sus dimensiones lineales, el precio por m² se incrementa en un 10-15%.

Una clasificación muy generalizada dentro del mercado internacional para los mármoles es la determinada por sus colores.

Considerando exclusivamente el mármol propiamente dicho, los colores que se cotizan a escala de mercado internacional son: blanco, negro, verde, amarillo, rojo, rosa y azul.

De cada uno de éstos existe toda una escala de tonalidades que también influye en su cotización. Se analizan seguidamente dentro de cada grupo de mármoles (determinados en función de su color), los

CUADRO Nº 1. MármolMARMOLES NACIONALES

<u>Denominación</u>	<u>Precios pts/m²</u>
Verde Pirineos	800
Negro Marquina	500
Blanco Erasmum	600
Gris Deva	600
Rojo Archipi	600
Rojo Coralito	575
Rojo Alicante	575
Rojo Laborda	700
Crema Horna	700
Gris Badajoz	500
Rosa Valencia	700
Buixcarró Crema	800
Buixcarró Rosa	800
Ulldecona Rosa	600
Gris País	800
Blanco País	850
Verde Molins	900

CUADRO Nº 2. MármolPRECIOS DE MARMOLES IMPORTADOS EN ESPAÑA

<u>Denominación</u>	<u>Procedencia</u>	<u>Precio pts/m²</u>
Blanca Carrara	Italia	810
Travertino Romano	Italia	640
Alga Marina	Italia	1.200
Arabescato Corchia	Italia	1.200
Arabescato Cervaoile	Italia	1.200
Statuario Venato	Italia	900
Onix Persa	Irán	3.400
Negro Bélgica	Bélgica	1.550

tipos que alcanzan los valores máximo y mínimo de entre sus cotizaciones.

- Blanco: Este tipo de mármol es el que alcanza mayor cotización dentro del mercado. De entre los diferentes tipos, el de mayor valor es el conocido como "Blanco P." y el de menor es el "Blanco claro".
- Negro: El valor pagado por estos mármoles puede equipararse al que se cotiza por los blancos. De entre los negros el más valorado es el "Portor" y el menos el "Negro fino".
- Verde: De los mármoles de este grupo el más cotizado es el "Verde de mar" y el menos el "Verde de Génes".
- Amarillo: Del grupo de los amarillos, los mármoles sienas son los únicos que se comercializan internacionalmente. Dentro de este grupo, el de mayor valor es el "Amarillo de Siena brocatel" y el de menor es el "Amarillo de Siena uniforme".
- Brechado: Los mármoles que se cotizan en el mercado internacional, entre los comprendidos en este grupo, son los brechados violeta". La variación en los precios de los distintos brechados está en función de sus condiciones estéticas.

- Rojo y Rosa: De entre los mármoles de estos colores, que por lo general se cotizan dentro del mismo grupo, el valor máximo corresponde al "Rosa de Noruega" y el mínimo al "Rojo Verona".

- Azul: El mayor precio alcanzado por los mármoles de este grupo corresponde al "Azul turquesa" y el menor al "Azul florido".

Los mármoles, en general, se comercializan de dos formas diferentes: en bloques o en planchas.

Las dimensiones requeridas a escala internacional suelen ser las siguientes:

- Bloques: de 200 a 249 cm x 50 cm x 50 cm. Las dos últimas dimensiones son como mínimo.

- Planchas: de 200 a 249 cm x 2 cm x 50 cm. La última di -
mensión es como mínimo.

A continuación se incluye el cuadro nº 3, en el que se reflejan los niveles de las cotizaciones máxima y mínima de los distintos ti -
pos y grupos de mármoles.

CUADRO Nº 3. MármolPRECIOS DE MARMOL, ONICE Y TRAVERTINOS EN EL MERCADO INTERNACIONAL

<u>Mármol</u>	<u>Precio máximo</u>	<u>Precio mínimo</u>
Blanco:		
. en bloques	2.535 \$/m ³	861 \$/m ³
. en planchas	102 \$/m ²	41 \$/m ²
Negro:		
. en bloques	2.075 \$/m ³	487 \$/m ³
. en planchas	89 \$/m ²	27 \$/m ²
Verde:		
. en bloques	1.505 \$/m ³	734 \$/m ³
. en planchas	75 \$/m ²	45 \$/m ²
Amarillo:		
. en bloques	1.413 \$/m ³	1.069 \$/m ³
. en planchas	81 \$/m ²	60 \$/m ²
Brechado:		
. en bloques	1.250 \$/m ³	1.022 \$/m ³
. en planchas	65 \$/m ²	56 \$/m ²
Rojo:		
. en bloques	1.032 \$/m ³	420 \$/m ³
. en planchas	49 \$/m ²	29 \$/m ²
Azul:		
. en bloques	877 \$/m ³	750 \$/m ³
. en planchas	42 \$/m ²	37 \$/m ²
<u>Onice</u>		
. en bloques	807 \$/m ³	635 \$/m ³
. en planchas	46 \$/m ²	36 \$/m ²
<u>Travertinos</u>		
. en bloques	511 \$/m ³	
. en planchas	31 \$/m ²	

Granitos

Las cotizaciones alcanzadas en el mercado internacional de granito varían mucho en función de las calidades e incluso del colorido; este factor unido a la gran cantidad de variedades y a la extensión del mercado a nivel mundial hace imposible la determinación de unos precios uniformes.

Las exportaciones españolas son una muestra de este caos comercial. Según las calidades los precios varían: de 4.000 pts/t máximo para el granito de calidad inferior, a 7.000 pts/t mínimo para el granito de gran calidad. Estos precios corresponden a la exportación "en bloques" y, por lo tanto, las calidades dependerán de las características intrínsecas del material, así como del método de explotación empleado.

A título orientativo se reflejan en el cuadro nº 4 las cotizaciones alcanzadas en el mercado interior, durante el período 1964-1974, del granito producido en España, así como los precios de importación del "Labrador" que puede ser considerado, en el momento actual, como la clase más comercializada internacionalmente, debido a su alta calidad y a sus características estéticas.

Durante el período 1964-1968 las cotizaciones se han mantenido constantes. Este hecho es fruto de la mayor mecanización de las industrias elaboradoras, que permite una mayor rentabilidad, sin cambios en los precios al consumidor. El incremento de los dos

CUADRO Nº 4. Granito

EVOLUCION DE LOS PRECIOS DE GRANITO

Años	Granito Nacional (Precios medios - mercado interior).		Labrador (importación)	
	Pts/m ²	Indice de precios	Pts/m ²	Indice de precios
1964	645	100	1.760	100
1965	645	100	1.760	100
1966	645	100	1.760	100
1967	645	100	1.760	100
1968	645	100	1.760	100
1969	665	103,1	1.760	100
1970	665	103,1	1.760	100
1971	700	108,5	1.850	105,1
1972	700	108,5	1.750	99,4
1973	770	119,3	1.770	100,5
1974	840	130,2	2.190	124,4

Unidad: pts/m². Planchas 2 cm. aserrado.

Fuente: Información propia.

Nota: Estos precios se incrementan en el momento actual en 350/400 m² si el material se presenta pulido.

últimos años se debe a la actual crisis económica que afecta directamente a los costes de energía y mano de obra repercutiendo en el precio final.

1.5.3. Procesos de tratamiento y aprovechamiento de los residuos.

Se ha indicado anteriormente la existencia de métodos de explotación que producen un gran volumen de residuos (considerándose como tales los de dimensiones inferiores a 80 cm x 50 cm x 50 cm), cuya eliminación representa un problema de considerable importancia económica, ya que se trata de un material de cierto valor que generalmente no se aprovecha y que exige, para su eliminación, grandes extensiones de terreno para usar como escombreras, así como un transporte desde el frente de arranque hasta las mismas. Por otra parte, un cierto porcentaje de los bloques que se extraen no puede utilizarse por presentar fisuras, manchas u otras imperfecciones, con lo que aumenta la proporción de material inutilizado.

Sin embargo, estos materiales pueden ser aprovechados, con lo que aumenta el rendimiento de la cantera. El empleo que se dé a estos fragmentos dependerá de las necesidades de la demanda, así como de sus características: granulometría, color, impurezas, etc.

Las aplicaciones más generalizadas que se dan a estos materiales se pueden clasificar, desde la perspectiva del presente estudio, en aquellos que no tienen relación con la ornamentación y los que sí inciden directamente en este campo.

En los primeros el más importante es, sin duda alguna, el de áridos de machaqueo para la industria de la construcción; pudiéndose citar también la molienda del mármol y las calizas ornamentales para aprovechar el Ca CO_3 obtenido en: siderurgia, cementos, industria química, agricultura y otros usos.

Como aplicaciones relacionadas directamente con la ornamentación - deben citarse la industria de la piedra natural especialmente fabricación de losetas y objetos decorativos, y la industria de la piedra artificial, y más concretamente terrazos e imitaciones de mármol.

Como norma general para decidir entre el empleo de un material pétreo natural o de un producto manufacturado, aparte de las consideraciones de disponibilidad y costo de cada uno, se debe tener en cuenta que los factores de mayor importancia en las aplicaciones son, desde el punto de vista estético, el color, las vetas, manchas, etc. y, desde el punto de vista práctico, la resistencia a los diversos tipos de esfuerzos, peso específico, etc.

En general los materiales artificiales pretenden conseguir una semejanza lo más completa con las rocas ornamentales, en especial con el mármol, pero aunque logren imitar con bastante exactitud las propiedades estéticas no suelen alcanzar las condiciones mecánicas del producto natural.

En general, tanto el terrazo como las imitaciones del mármol pueden dividirse, según el tipo de aglomerante empleado, en tres grupos:

- Aglomerantes a base de yeso

Puede hacerse extendiendo una fina capa de escayola, polvo de la roca ornamental de que se trate y agua, coloreando la superficie y aplicando un pulido final.

Otro procedimiento consiste en formar varias mezclas de yeso y polvo, coloreando cada una con un color distinto y mezclando todas juntas, formando una sola que se reduce a cubos. Estos cubos pueden transformarse en losas después de endurecerse y, por último, se pule y se aplica un barniz a la nitrocelulosa. A veces los cubos se cortan, antes de endurecerse, en losas, adheriendo cada losa a otra de pizarra dejándolas secarse bien, se pule y aplica el barniz.

- Aglomerante a base de cal

1. Puede hacerse pasta con cal, polvo de mármol o granito y agua; la mezcla, perfectamente homogénea se moldea en la forma deseada y se deja en una cámara cerrada con atmósfera de anhídrido carbónico.
2. El mismo procedimiento pero sometiendo la atmósfera de anhídrido carbónico a una presión de 10 atm. en un autoclave.

Como se ha mencionado después de algunos días se puede considerar obtenida la compacidad en buena parte y la cal pasa -

parcialmente a carbonato cálcico. El producto obtenido es menos duro y compacto que el natural, pero mejora sus características con el tiempo. Tiene una cierta tendencia a agrietarse.

3. La llamada carrarita no tiene la composición del mármol, pero lo imita después del tratamiento de las piezas en atmósfera de anhídrido carbónico húmedo durante varios días. La pasta se forma con magnesia finísima calcinada (óxido de magnesio) con agua, para formar una pasta fluida que se puede moldear. Adquiere el aspecto de la porcelana opaca.
4. Mezclar magnesia calcinada con polvo de mármol con las mismas operaciones e idéntico tratamiento que el anterior.
5. Mezclar en estado de polvo finísimo magnesia calcinada (66%), mármol (20%) y yeso (14%) en estas proporciones y forman una pasta con disolución de cloruro de magnesio de densidad 1,26, luego se moldea y se deja endurecer durante varias horas, por fin se seca a 120° durante 2 horas, se enfría y se pule. Las piezas resultan más duras que el mármol.
6. Se mezclan 100 partes de magnesia calcinada con 200 de mármol en polvo ligeramente granuloso y se forma una pasta con la disolución de cloruro de magnesio, como en el caso anterior, luego se cuela sobre losas de vidrio y se deja secar. = Más tarde se seca durante dos horas a 100° y se cortan las piezas. Después de algunos días pueden aparecer aflorescencias.

cias blancas en la superficie; para evitarlo conviene hacer - pruebas usando el mínimo de cloruro de magnesio.

- Aglomerante a base de cemento

1. Se pueden preparar piedras artificiales uniendo fragmentos - irregulares de la roca procedencia con una mezcla de cemento para formar grandes bloques paralelepípedos. Transcurrido un mes podrán cortarse como los bloques normales. Las - losas resultarán en diversos colores, pero el fondo será del color gris del cemento. El corte resultará difícil por la extrema dureza del aglomerante; será más fácil si se usa como - abrasivo carburo de silíceo, esmeril o viruta de acero en lugar de arena silícea.

En la actualidad se están desarrollando sistemas integrales de fabricación de imitaciones. Estos sistemas han sido experimentados con éxito en Italia, pudiendo describirse como ejemplo el ciclo automático para la producción de mármol-resina.

Está constituido esencialmente por una cinta transportadora de - acero especial en la que se introducen los residuos y, a medida - que transcurren por el transportador, se aglomeran con una mezcla de resina y polvo. Posteriormente, pasan por un horno para - facilitar el secado y se cortan en losas siendo transferidas al circuito de pulido mediante un volcador que las hace cambiar de posición. Una vez sometidas al pulido (siempre dentro de la cinta)-

se cortan en losetas y se almacenan. El proceso está descrito - mejor en el diagrama de la figura nº 13.

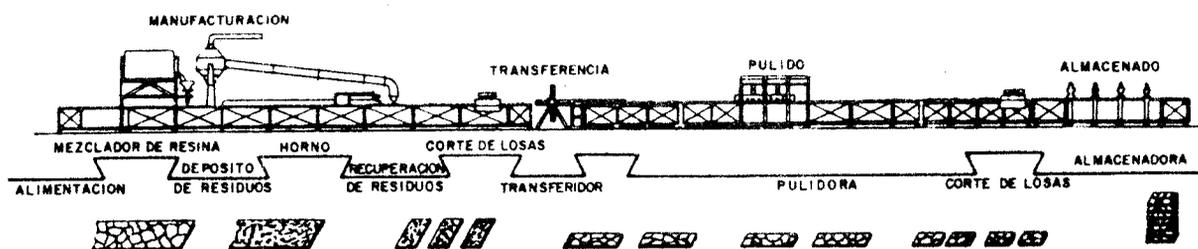


Fig. 13- CICLO AUTOMATICO COMPLETO PARA LA PRODUCCION DE MARMOL-RESINA

Las principales características de este método son:

- . Se necesitan unos 60 operarios para toda la planta.
- . El espesor de las planchas puede variarse a voluntad.
- . La cantidad de resina, polvo de mármol o granito, diluyente y otros ingredientes no supera a la que se necesita en otros métodos de fabricación de imitaciones, existiendo fundadas esperanzas en que se reduzcan considerablemente al perfeccionar el método.

- . La producción para una jornada de 8 h. se puede estimar en -
300 m³.
- . Los principales elementos consumidores de potencia son los si
guientes:
 - a) Circuito oleodinámico para el movimiento de la cinta y del
cortador con una potencia de 2,4 kW.
 - b) Grupo para la rotación del cortador con un motor eléctrico
de 3,6 kW de potencia.
 - c) Grupo de aspiración de residuos para su recuperación, de
5,6 kW de potencia.
 - d) Resistencias del horno de 4,5 kW.
 - e) Tiro del horno, con un motor eléctrico de 0,5 kW.

El total de potencia absorbida es de 16,6 kW, trabajando a pleno régimen.

2. PROPIEDADES, ENSAYOS Y ANÁLISIS INDUSTRIALES

En este apartado se analizan todas aquellas propiedades de las rocas ornamentales que es necesario conocer para la utilización de estos materiales.

Con la finalidad de encuadrar ideas, las propiedades a considerar se agrupan en tres categorías:

- a) Propiedades físicas: Peso específico verdadero, peso específico aparente, porosidad, imbibición, propiedades térmicas (dilatación, conductibilidad térmica, resistencia al fuego) heladicidad, permeabilidad, higroscopicidad.
- b) Propiedades resistivas: Resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, resistencia a la flexión, dureza, resistencia a la abrasión.
- c) Propiedades técnicas diversas: Durabilidad, trabajabilidad, color.

Las propiedades físicas varían según el uso a que se destinan. Las propiedades químicas son de menor importancia que las físicas excepto cuando la composición química sirva de base para analizar ciertas propiedades físicas, sobre todo aquellas que estén relacionadas con el comportamiento de las rocas ornamentales frente a los agentes atmosféricos y a la intemperie.

2.1. Propiedades físicas

Peso específico verdadero y aparente

El peso específico verdadero es el cociente entre el peso de una roca (reducida a polvo) y el peso de un volumen igual de agua destilada a 4°C.

El peso específico aparente es el cociente entre el peso en gr. y el volumen ocupado en cm^3 de la roca completamente desecada. Una roca cuanto más compacta es, cuanto menos cavidades y poros presenta, mayor peso específico tiene.

Mientras que el peso específico verdadero tiene un interés más científico que técnico, el aparente es de gran importancia ya que permite calcular el peso de la roca ornamental en función de sus dimensiones, dato que tiene interés no sólo para el conocimiento del peso de los elementos que intervienen en la construcción sino también para los problemas de transporte.

La determinación práctica del p. e. aparente se realiza tomando una muestra de la roca de aproximadamente 1 dm^3 de volumen; se determina su volumen y su peso procurando que la muestra esté seca.

La relación entre el peso específico aparente y el verdadero se conoce como grado de compacidad (c)

$$c = \frac{P_a}{P_v}$$

El valor de c es siempre menos que 1 y cuanto más próximo está a él más compacta será la roca y, por consiguiente, presentará me - nos cavidades, poros, grietas, etc.

Porosidad

Se puede definir como la propiedad de la roca de contener espacios - vacios entre los elementos que componen la roca. Se mide por el coe - ficiente de porosidad o simplemente porosidad que corresponde al - porcentaje de volumen de los poros (V_v) en el volumen total de la roca seca (V); llamando V_s al volumen de la parte sólida de la roca será:

$$R = 100 \frac{V_v}{V} = 100 \frac{V - V_s}{V}$$

Es un término generalizado que tiende a desterrarse. De hecho se uti - liza muy poco por la dificultad de los ensayos y se le suele sustituir - por el de imbibición.

Imbibición

Es la propiedad de absorber agua por capilaridad cuando parte de la roca se encuentra en contacto con ella. Esta propiedad viene medida por el coeficiente de imbibición, cuya expresión es:

$$C_i = \frac{P' - P_s}{P_s} \times 100$$

P' = peso de la roca totalmente impregnada de agua

P_s = peso de la roca seca

El coeficiente de imbibición tiene una gran importancia práctica ya que una roca que tiene un coeficiente alto tiene muchas más probabilidades de agrietarse o, en general, de deteriorarse que una roca con un coeficiente bajo. Por otra parte, el valor del coeficiente está en proporción inversa a lo compacta que sea la roca de que se trata, relación muy importante si se tiene en cuenta que una roca compacta es más resistente que una porosa, a igualdad de composición petrográfica.

En algunos países el coeficiente C_1 se da en tanto por mil en lugar de tanto por ciento.

Dilatación lineal térmica

Las rocas ornamentales sufren cambios en sus dimensiones al ser afectadas por las elevaciones o descensos de la temperatura. Esta variación no es igual en todas direcciones, pero lo que se suele tomar corrientemente es la variación más marcada según una dirección.

La variación de la dimensión con la temperatura viene determinada por el coeficiente de dilatación lineal de la roca en cuestión, que fija el aumento experimentado por la unidad de longitud cuando se aumenta la temperatura en un grado centígrado. Este coeficiente tiene un valor para las rocas ornamentales del orden de 0,001 a 0,01 mm/m°C.

A pesar del pequeño valor de este coeficiente, es necesario tenerlo en cuenta, en especial cuando la roca deba estar en el exterior; por ejemplo, cuando las rocas ornamentales se emplean para formar una determinada composición arquitectónica en exteriores, es necesario dejar unas ciertas juntas de dilatación sobre todo si la construcción se efectúa en las estaciones más frías.

Conductibilidad térmica

Las rocas ornamentales son en general malas conductoras del calor, dependiendo en gran manera de su composición mineralógica, siendo menor la conducción en las rocas porosas que en las compactas. Desde el punto de vista de materiales de construcción, las rocas ornamentales pueden considerarse casi como aislantes.

La conductibilidad térmica se halla en razón inversa a la porosidad de manera que las rocas muy densas son muy poco indicadas como material de revestimiento, puesto que la temperatura exterior se transmita con facilidad al interior.

Resistencia al fuego

Esta propiedad es bastante variable de unas rocas a otras. En general resisten mal al fuego, pero lo soportan mejor aquellas rocas que son homogéneas que las heterogéneas y aquellas compuestas de minerales de alto punto de fusión.

Dicha resistencia disminuye cuando la roca contiene carbonato de cal y feldespato, como ocurre con las calizas, mientras que aumenta - conforme es mayor la proporción de arcilla, cuarzo y mica. De acuerdo con ello se pueden considerar resistentes al fuego las areniscas - arcillosas, traquitas. Lo son menos en cambio los granitos y en especial los basaltos y calizas.

Heladicidad

Una roca se considera heladiza cuando se fractura por acción de las heladas. Debido a su carácter poroso, algunas de las rocas ornamentales se ven afectadas en gran medida por esta propiedad.

En el caso de que los poros no estén saturados de agua el efecto es menos perjudicial, pues hay espacio suficiente para sufrir la expansión inherente al fenómeno de la heladicidad.

Permeabilidad

Por permeabilidad se entiende la facilidad que presentan las rocas para ser atravesadas por un fluido cuando existe una diferencia de presión entre ambas caras. La permeabilidad al agua es la que tiene mayor importancia para las rocas ornamentales.

La permeabilidad puede ser por porosidad, en cuyo caso es una característica intrínseca de la roca, o puede ser por fisura, siendo ésta una cualidad adquirida. Un tipo de permeabilidad no excluye a la otra.

La permeabilidad puede aumentar con el tiempo si el agua va agrandando los poros o las grietas por erosión o disolución; por el contrario, puede disminuir si las materias que lleva el agua disuelta o en disolución van cerrando los intersticios. Estos aspectos son de gran interés a la hora de considerar la utilización de una roca ornamental; así, por ejemplo, las calizas son impermeables, pero tienen grietas por donde circula el agua, que poco a poco se van agrandando; los granitos no son atacados por el agua y como consecuencia las grietas que puedan existir en su seno acaban por cerrarse.

Higroscopicidad

Es la propiedad de absorber la humedad del aire; se mide por el coeficiente de higroscopicidad, que es el peso del agua que se absorbe durante el espacio de tiempo de un minuto en una muestra de un decímetro cuadrado de sección, en atmósfera saturada de humedad. Este coeficiente, que varía al cambiar la naturaleza de la roca, es proporcional a la raíz cuadrada del tiempo.

2.2. Propiedades resistivas

Resistencia a la compresión simple

Es la resistencia que las rocas oponen a la fuerza que tiende a romperlas por aplastamiento.

Dado que en la mayoría de los casos las rocas ornamentales trabajan a compresión, esta propiedad es una de las más importantes a analizar para la utilización de estos materiales.

Uno de los aspectos más influyentes es que la resistencia depende en alto grado de la dirección en que se aplica la carga. En general, se puede decir que la dirección de mayor resistencia a la compresión es aquella perpendicular al plano de mayor estratificación o divisibilidad. Por otra parte, la resistencia depende también muy estrechamente del grado de cohesión y del estado de alteración de la roca, hasta el extremo de que el grado de rotura puede ser reducido a la mitad, de una roca sana a una alterada. Ejerce igualmente influencia la humedad contenida en la roca, de manera que a mayor humedad contenida se reduce la resistencia de la compresión.

El ensayo para determinar la resistencia a la compresión de una roca se efectúa con probetas cúbicas, de dimensiones que varían entre ciertos límites; se recomienda que la relación L/D sea aproximadamente 2,5 -siendo L la altura de la probeta y D la arista de la base- para asegurar una distribución de tensiones bastante uniforme en la muestra. Un dato importante del ensayo será el estado de sequedad

o saturación de la piedra; se realizan las pruebas con probetas embebidas en agua o desecadas a peso constante.

La resistencia a la compresión

$$\sigma_c = \frac{P}{S} \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

Se establecerá promediando no menos de seis ensayos y será el resultado de dividir la carga en Kg (P) que indique el manómetro del aparato, por la superficie en cm^2 (S) de una de las bases de la probeta o por la media de las dos si no son iguales.

La forma de rotura varía según la naturaleza de la roca. Las rocas duras y muy compactas se rompen según unas fisuras que dividen el cubo en unas columnillas o prismas rectos de sección irregular. Las rocas blandas se rompen por planos que pasan por las aristas del cubo desprendiéndose cuatro casquetes y quedando la probeta transformada en dos troncos de pirámide unidos por sus bases menores si se detuviera entonces el ensayo.

A continuación se reflejan en el cuadro nº 5 la variación del módulo de rotura a la compresión de algunas rocas, pudiéndose apreciar cómo en una misma roca puede tener valores muy diferentes.

Resistencia a la tracción

Viene medida (en Kg/cm^2) por el esfuerzo necesario para romper por tracción una probeta de forma y dimensiones particulares. Al

CUADRO Nº 5.MODULO DE ROTURA A LA COMPRESION DE ALGUNAS ROCAS

<u>Roca</u>	<u>R (Kg/cm²)</u>
Arenisca	500-1.800
Basalto	2.500-3.500
Caliza	600-1.500
Dolomía	700- 900
Diabasa	1.600-2.200
Diorita	2.000-2.700
Gabro	1.800-2.000
Granito	1.500-2.700
Grauwaca	2.000-2.500
Gneis	1.600-2.800
Mármol	600-1.500
Olivino	2.000-2.400
Pórfido	1.500-2.600
Sienita	1.500-2.000
Traquita	500- 800

igual que en la compresión, la resistencia a la tracción varía según la dirección en que se aplica la fuerza. Generalmente las rocas ornamentales presentan mayor resistencia cuando el esfuerzo se efectúa paralelamente a los planos de estratificación.

Resulta difícil la determinación de la resistencia a la tracción mediante el ensayo directo, ya que aún no se ha conseguido un método satisfactorio para sujetar la probeta sin introducir tensiones de flexión.

Las rocas ornamentales generalmente no trabajan a tracción, por lo que este ensayo es de escaso interés.

Para fines prácticos, probablemente, es suficientemente exacto en la mayoría de los casos suponer una resistencia a tracción del 5 al 10% de la resistencia a compresión simple.

Modulo de elasticidad (E)

Se define como la relación entre la tensión a que se somete el material y la deformación que se produce en éste. Se representa la tensión por σ (Kg/cm^2) y la deformación unitaria por ϵ , se tiene:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Aquellos materiales que se utilizan en exteriores tendrán condiciones de elasticidad suficiente para resistir a la acción de los agentes atmosféricos sin deformarse ni quebrarse.

Esta elasticidad deberá ser mínima en las piezas que predomine con exceso una dimensión sobre las otras dos, tales como jambas, lápidas, etc.

Resistencia a la flexión

Las rocas, en general, soportan mal la flexión; únicamente cuando las rocas se disponen en láminas delgadas es cuando mejor soportan la flexión.

Es un ensayo realizado en contadas ocasiones, pues la experiencia ha demostrado que, casi invariablemente, la resistencia a flexión es $1/7$ de la resistencia a compresión.

Este ensayo es de gran utilidad para materiales que vayan a formar parte de escaleras, cornisas, etc.

Las rocas del grupo del "mármol" tienen unos valores comprendidos entre 25 y 600 K/cm^2 , consecuencia de las variedades de textura existentes en las mismas.

Dureza

Es la oposición que las rocas, y en general cualquier material, presenta a dejarse penetrar por otro cuerpo.

La dureza de una roca depende en gran medida del estado de agregación, de cohesión y de cementación de los minerales que la componen.

Existen diversos procedimientos para determinar la dureza de una roca. La escala de Mohs no se utiliza mucho pues no existe ninguna relación de proporción entre los distintos grados. Los ensayos de identificación de Rockwell, del esclerómetro de Shore o el aparato de impacto de Schmidt son los más rigurosos. Desde un punto de vista práctico, y atendiendo a la facilidad para ser serradas, se puede establecer la siguiente clasificación de las rocas:

- . Blandas: Se sierran con facilidad con una sierra de dientes corrientes (tobas, calizas ligeras).
- . Medianas: Precisan sierras de acero de lámina y arena silíceas (calizas y mármoles).
- . Duras: Requieren sierras de lámina con esmeril y limaduras de acero (granitos).
- . Muy duras: Necesitan abrasivos especiales, como el carborundum o el diamante artificial en polvo (pórfidos).

Las rocas ornamentales tendrán dureza proporcionada a su destino en obra, para que, conservando bien sus formas y aristas proyecten facilidades para la labra, y el pulimento, no siendo tan duros que llegue a dificultar su trabajo ni tan blandos que se desmoronen con el roce.

Resistencia a la abrasión

Es la resistencia que opone un material al desgaste de su superficie cuando es sometido al rozamiento con otra más dura. En las rocas

ornamentales es ésta una propiedad muy importante de cara, sobre todo, a su utilización como pavimento.

Para determinar esta resistencia, en España se efectúa el ensayo - según la norma UNE 7069 (Desgaste por frotamiento-pérdida de altura en cm).

Debe hacerse notar que la resistencia a la abrasión de una roca depende más de la dureza media de sus componentes y del material cementante, que de la dureza de su componente más duro. Así, una arenisca débilmente cementada puede presentar una resistencia a la abrasión mucho menor que la de un mármol, a pesar de la gran dureza del cuarzo.

Las normas ASTM conciben dos tipos de ensayo de resistencia a la abrasión. Uno de ellos es el conocido internacionalmente "Ensayo de los Angeles" (C-31-55). Consiste en introducir en un cilindro de acero una serie de trozos de la roca a ensayar y hacerlos chocar, - clasificándolos después por tamaños. El otro es, en esencia, el mismo ensayo que el realizado en España e Italia y únicamente cambia - la fórmula final del coeficiente de abrasión, que es función del inverso del volumen de material perdido durante el ensayo. (Ensayo ASTM C 241-51).

2.3. Propiedades técnicas diversas

Durabilidad

La durabilidad es la aptitud de una roca para resistir a la degradación producida por la acción atmosférica. Esta varía en relación con la composición, la estructura y la textura de la roca y a igualdad de tales condiciones varía con el clima.

La acción física y química de la atmósfera representa el factor activo de la durabilidad. La acción química prevalece en los climas cálido-húmedos, la acción física en los climas frío-secos. El clima cálido-seco es, en líneas generales, el más favorable para la durabilidad de las rocas.

El factor pasivo de la durabilidad está representado por la composición mineralógica, por la estructura y la textura de la roca, por la configuración de la superficie, por la forma y colocación del material en obra, por la exposición y por la vecindad con otros materiales.

Una superficie pulimentada resiste mejor que una superficie escabrosa o irregular, sea porque la superficie de contacto con la atmósfera en el segundo caso es mayor, sea porque el agua de lluvia permanece más tiempo, sea porque con el pulimento los pequeños intersticios han sido rellenados por una mezcla de polvo abrasivo y polvo de la roca preservando el interior de ésta del contacto con la atmós-

fera. La degradación se inicia sobre la superficie expuesta de la roca, ya uniformemente, cuando la roca es homogénea, ya localizándose en puntos diversos, desde los cuales se expande poco a poco al resto del material.

La acción química de degradación se ejerce fundamentalmente por el oxígeno, el anhídrido carbónico del aire, el agua de lluvia y por el SO_2 existente en la atmósfera de tantas ciudades, más o menos industrializadas. La formación de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) en las calizas es un ejemplo clarísimo de degradación de esta roca producida por los compuestos químicos contenidos en la atmósfera; igualmente se puede citar la caolinización de los feldespatos producida por el CO_2 al actuar sobre éstos.

Trabajabilidad

Es una propiedad que no se encuentra claramente definida. Puede decirse que es la obediencia de la roca a los golpes del cincel, de modo que sus piezas se separen siempre gradualmente y según la voluntad del operario, sin presentar fisuras. Esta propiedad está íntimamente ligada con la tenacidad.

Depende del estado de agregación de las partículas que componen la roca, las calcáreas en general y las areniscas de cemento calcáreo o arcilloso (donde los granos de cuarzo no están íntimamente soldados), se trabajan fácilmente; por el contrario ofrecen dificultades la arenisca de cemento silíceo, las cuarcitas y, naturalmente, los granitos.

Aptitud para el pulido

Es la aptitud de la roca para permitir que su superficie quede lisa, fina, con brillo especular, al aplicarle una serie de abrasivos, de forma que queden perfectamente visibles las manchas o vetas.

No todas las rocas pueden ser pulimentadas. Son, en general, las más homogéneas y compactas las que mejor se prestan al pulimentado independientemente de su dureza. Los pórfidos, considerados como las rocas más duras, presentan una superficie pulimentada brillante, pero su pulimentación es más difícil, y por supuesto más costosa, que para aquellas rocas menos duras como las calcáreas. No son pulimentables las rocas muy terrosas o aquellas muy desmenzables; sin embargo, muchos tipos heterogéneos considerados durante mucho tiempo como no pulimentables han sido hoy día pulimentados con ciertos aglomerantes con buenos resultados.

La pulimentación de las rocas ornamentales puede efectuarse sobre superficies planas o también sobre superficies curvas. Con el pulimento el color de la roca varía sensiblemente, llegando a ser más vivo.

Con la pulimentación aumenta la durabilidad de la roca, como ya se ha señalado.

Los paramentos vistos de rocas ornamentales deberán quedar con el grado de pulimento que exige la clase de obra de que se trate, debiendo

ser más perfecto en los revestimientos verticales que cuando se trata de pavimentos o peldaños en los que el exceso de pulimento pueda ofrecer peligro de resbalamiento.

Color

El color de la rocas ornamentales es una característica de gran valor económico. Son especialmente los colores menos frecuentes los que confieren a la roca mayor precio.

En las definiciones de color hay un cierto distanciamiento respecto a los colores comunes; cuando se habla de roca verde, azul, rosa se refieren a coloraciones mucho más pálidas de las que usualmente se entienden por esos nombres, hasta el extremo de que a veces al profano le resulta difícil reconocerlas. Las coloraciones vivas son muy raras en las rocas y solamente cuando éstas han sido pulimentadas es cuando aparecen tonalidades más fuertes.

Desde el punto de vista del color se deben distinguir las rocas monocromas, formadas por una sola coloración distribuida con cierta uniformidad, y las rocas policromas, dotadas de coloraciones diversas. Las coloraciones más comunes en las rocas monocromas son el gris y el blanco; menos frecuente son el verde, el rojo, el negro y el azul.

La coloración general de la roca depende del pigmento difundido en la masa, o sea, del color de unos de los minerales predominantes en la composición de la roca; la coloración particular de la distribución

del color, hasta en las rocas monocromas, es raramente uniforme.

Como se ha indicado, el color dominante, el espaciamiento y la disposición de las vetas aumentan el valor del material; sin embargo, no hay ningún análisis o prueba industrial que cuantifique estas características, lo que trae como consecuencia que la observación de estos aspectos ha de efectuarse o sobre una muestra pulimentada de la roca o sobre una fotografía de la misma.

Se enuncian, a continuación, las causas más importantes que determinan la coloración de una roca.

En las rocas eruptivas, los grises oscuros se deben generalmente a una mezcla íntima de minerales oscuros. Los granos más negros (biotita, augita, hornblenda, magnetita) son los que proporcionan el gris más oscuro.

En las pizarras arcillosas, pizarras de techar y calizas, el color gris es producido por materias carbonosas contenidas en la roca.

El amarillo y el pardo son normalmente colores secundarios producidos por la oxidación e hidratación de minerales que contengan hierro, tales como biotita, augita, granate, piritita, hornblenda.

Algunas rocas eruptivas (sobre todo granitos y sienitas) pueden ser rojizas debido a que sus granos constituyentes de feldespatos son rosados o rojizos.

Los minerales verdes (clorita, epidota, glauconita y serpentina) pueden ser responsables de la coloración verde o gris verdosa de la roca que los contiene.

Las manchas o fajas verdes o gris verdosas presentes en las rocas rojas pueden haber sido ocasionadas por la reducción del óxido de hierro (rojo).

Para el caso concreto de los mármoles, se muestra en el cuadro nº 6 las coloraciones y los minerales que las producen.

CUADRO Nº 6.

COLORACIONES PRODUCIDAS POR DIVERSOS MINERALES EN -
LOS MARMOLES

<u>Color</u>	
Rojo, Rosa	Hematites, calcita (raro)
Blanco	Calcita, moscovita
Gris	Grafito, sustancia orgánica (x)
Negro	Grafito, biotita, sustancia orgánica (x)
Marrón	Biotita
Verde	Clorita, sericita, (moscovita), glauconita, hidróxido de hierro(x)
Dorado	Sericita (moscovita), limonita (x)

(x) En calizas marmóreas

2.4. Orden de magnitud de las principales propiedades en las distintas rocas.

Con objeto de dar una idea del orden de magnitud de las propiedades citadas en cada tipo de roca, se exponen en el cuadro nº 7 los valores de los mismos.

Asimismo, para hacer patentes las diferencias que pueden existir, incluso entre rocas del mismo tipo, se comparan en el cuadro nº 8 las propiedades de dos mármoles, dos granitos y dos serpentinas

CUADRO Nº 7.**ORDEN DE MAGNITUD DE LAS PRINCIPALES PROPIEDADES DE LAS
ROCAS ORNAMENTALES**

Roca	Densidad ($\frac{\text{Kg}}{\text{dm}^3}$)	Resistencia a la compresión (Kg/cm²).	Coefficiente de imbibición (% peso)	Resistencia a la flexión₂ (Kg/cm²)	Prueba de abrasión (mm)	Módulo elástico (Kg/cm²)
Granito	2,6-2,7	800-2.700	0,2-0,5	115-225	0,5-1,30	380-1.300
Sienita	2,7-2,9	1.500-2.000	0,2-0,5	150-215	0,3-2,40	-
Diorita	2,8-3,0	1.700-3.000	0,2-0,4	125-245	0,5-2,80	-
Gabro	2,8-3,1	1.500-2.500	0,2-0,4	200-215	0,4-2,50	-
Serpentina	2,6-2,7	1.000-2.000	0,1-0,7	50-350	0,7-2,60	480-1.335
Arenisca	2,3-2,9	100-1.800	0,4-2,5	15-215	0,3-6,20	-
Pizarra	2,7-2,8	2.000-2.500	-	200-580	0,4-3,30	-
Mármol	2,7-2,8	800-2.000	0,1-2	85-260	1-8,00	400- 850
Calizas	2,7-2,8	800-1.500	0,5-5	80-200	1-7,00	-

CUADRO Nº 8.

VALORES DE ALGUNAS PROPIEDADES EN TRES TIPOS DE ROCAS

ORNAMENTALES

<u>Roca</u>	<u>Resistencia a la compresión Kg/cm²</u>	<u>Coefficiente de imbibición (% peso)</u>	<u>Resistencia a la flexión (Kg/cm²)</u>	<u>Ensayo de abrasión (mm)</u>	<u>Peso es- pecífico (Kg/dm³)</u>	<u>Módulo de elasticidad (Kg/cm²)</u>
Mármol "bianco Carrara unito" calidad B	1.334	1,15	123	1,90	2,71	606,5
Mármol "arabes- cato orobico gri- gio nuvolato"	1.964	1,15	123	1,60	2,70	-
Granito rosa de BAVENO	1.805	3,30	115	0,54	2,56	350
Granito blanco MONTORFANO	2.340	2,75	140	0,50	2,62	-
Serpentina de Fundres	2.227	0,10	227	1,00	2,74	-
Verde ACEGLIO	1.575	4,50	92	2,50	2,63	481

3. USOS Y ESPECIFICACIONES GENERALES

3.1. Normativas existentes

No existe ninguna normalización internacional que se aplique industrialmente al amplio campo de las rocas ornamentales.

Las Normas UNE españolas existentes son muy escasas y no cubren todas las aplicaciones de estas rocas (Densidad UNE 7067, Desgaste por frotamiento -pérdida de altura cms, UNE 7069, Porosidad-Absorción de agua % UNE 7008).

Sería conveniente que se instituyera en España un Grupo de Trabajo de Rocas Ornamentales constituido por productores y consumidores nacionales para que, en un diálogo abierto, elaborasen una normativa general que señale las principales características técnicas que cualifican a dichas rocas para hacerlas competitivas con el resto de la oferta mundial y solucionar de esta manera los problemas de comercialización existentes, y finalmente, propusieran al Instituto Nacional de Racionalización del Trabajo las normas elaboradas para su aprobación final.

Se refleja a continuación las normas existentes en el mundo: Normas franceses (NF) reguladas por la Asociación Francesa de Normalización (AFNOR), alemanas DIN, americanas ASA, inglesas BS, holandesas, etc., todas ellas de carácter oficial.

GRANITO, ROCAS ERUPTIVAS Y PIEDRA NATURAL

- Alemanas DIN

- 52100 Ensayos de piedra natural, directrices para el ensayo y la selección de piedra naturales.
- 52101 Ensayos de piedra natural; directrices para la toma de muestras.
- 52102 Ensayos de piedra natural; peso específico aparente, peso específico real, densidad.
- 52103 Ensayos de piedra natural; absorción de agua, - deshidratación.
- 52104 Ensayos de piedra natural; heladicidad
- 52105 Ensayos de piedra natural; resistencia a com - presión.
- 52106 Ensayos de piedra natural; resistencia a la in - temperie.
- 52107 Ensayos de piedra natural; resistencia al impac - to determinado sobre probetas cúbicas (propie - dad del material).
- 52108 Ensayos de piedra natural; desgaste por roza - miento.
- 52109 Ensayos de piedra natural; resistencia del ma - terial de relleno al impacto y a la compresión.
- 52110 Ensayos de piedra natural; peso por unidad de volumen y contenido de granulado de piedra
- 52111 Ensayos de piedra natural; ensayo de cristali - zación.
- 52112 Ensayos de piedra natural; resistencia a la fle - xión.

- Americanas ASA

- A 37.73-1951 Resistencia de las rocas

- Americanas ASTM

C 97-47	Absorción y peso específico de masa de las piedras naturales empleadas en la construcción.
C 99-52	Módulo de rotura de las piedras naturales empleadas en la construcción.
C 119-50	Piedras naturales empleadas en la construcción.
C 170-50	Resistencia a la compresión de las piedras naturales empleadas en construcción.
C 218-48T	Efecto combinado de los ciclos de temperatura y de las soluciones de sales débiles sobre las piedras naturales empleadas en construcción.
C 241-51	Resistencia a la abrasión de las piedras sometidas al tránsito. (Clasificada también en (43) Fel.)
C 422-58T	Granito de construcción.
D 3-18	Tenacidad de las rocas.

- Austriacas

B 3108	Piedra natural, piedra para pavimentación de calles
B 3120	Ensayo de piedra natural, toma de muestras y examen mineralógico.
B 3121	Ensayo de piedra natural, pesos de piedras y del granulado de piedra.
B 3122	Ensayo de piedra natural. Absorción de agua.
B 3123	Ensayo de piedra natural. Resistencia a la intemperie (heladicidad)
B 3124	Ensayo de piedra natural. Resistencia
B 3125	Ensayo de piedra natural. Destrucción por impacto de probetas cúbicas.
B 3127	Ensayo de piedra natural. Resistencia al impacto y a la compresión del balasto.

- Británicas
BS 1232 Dimensiones y elaboración de la piedra natural para edificación.
- Holandesas
N 530.53 Piedra natural
N 531.43 Granito
N 532.53 Basalto

MARMOL

- Americanas ASA
A94.1-1961 Mármol para interiores
A94.3-1961 Mármol para exteriores en muros cortina o muros panel
- Americanas ASTM
C 503-67 Mármol para exteriores

ROCAS CALCAREAS

- Francesas AFNOR
NF-B-10-101 Piedras naturales. Vocabulario
NF-B-10-301 Rocas calcáreas. Identificación
NF-B-10-502 Medida absorción de agua por capilaridad
NF-B-10-503 Medida de la porosidad, peso específico real y aparente.
NF-B-10-504 Medida del coeficiente de absorción de agua.
NF-B-10-505 Medida de la velocidad de propagación del sonido.

NF-B--10-506	Medida de la dureza superficial
NF-B- 10-508	Ensayo de desgaste con disco metálico
NF-B- 10-509	Ensayo de compresión
NF-B- 10-510	Ensayo de flexión
NF-B- 10-511	Medida del módulo de elasticidad dinámico
NF-B- 10-512	Medida del contenido en agua crítica
NF-B- 10-513	Ensayo de heladicidad
- Americanas ASTM	
C 616-68	Calizas ornamentales en bloque

Por considerarla de gran interés se transcribe seguidamente la norma francesa (AFNOR, NF, B-10-301 sobre identificación de piedras calcáreas.

NF - B - 10-301

IDENTIFICACION DE ROCAS CALCAREAS

A. Objeto

La presente norma tiene por objeto definir el método de identificación de las rocas calcáreas.

La identificación permite evaluar la calidad de las rocas calcáreas y también compararlas.

B. Generalidades sobre la identificación de rocas calcáreas

La identificación de las rocas calcáreas se basa en las siguientes características físicas.

- Velocidad de sonido

Función directa de las propiedades elásticas y de la resistencia a la compresión.

- Peso específico aparente

Informa sobre el volumen total de los poros, de donde se deduce la porosidad.

- Dureza superficial

Permite atribuir un valor comparativo de la aptitud de la roca al desgaste, a la erosión y a los choques.

Los valores de estas tres características permiten calcular un número de identificación del 1 al 14.

En el cálculo del número de identificación, no se atribuye la misma importancia a los tres criterios. Los criterios son ponderados mediante los coeficientes siguientes:

0,4	0,4	0,2
Velocidad de propagación del sonido	Peso específico aparente	Dureza superficial

C. Métodos de ensayo

Condiciones generales de los ensayos

Los ensayos deben efectuarse sobre cinco probetas obtenidas del mismo banco o en su defecto de la misma entrega.

Características geométricas de las probetas

Las probetas serán cúbicas de 7 cm de arista ó de forma prismática de sección 7 cm x 7 cm y altura de 1 a 4 cm.

Preparación de las probetas

Antes de efectuar el ensayo las probetas son secadas a la temperatura de 80°C hasta peso constante. Se considera que este peso se alcanza - cuando la diferencia entre dos pesadas efectuadas con una hora de intervalo es más o menos igual a 1/1.000

Método analítico de los ensayos

Los tres ensayos se realizan sobre todas las probetas.

El orden de ejecución es el siguiente:

- Peso específico aparente (según las prescripciones de la norma - NF-B-10-503.

- Velocidad de propagación del sonido (según las prescripciones de la norma NF-B-10.505.

- Dureza superficial (según las prescripciones de la norma NF-B-10-506.

D. Cálculo del número de identificación

El número de identificación I viene dado por la fórmula siguiente:

$$I = \frac{V}{5435} + 2,91 D + \frac{5,14}{R} - 4,59$$

donde V, D, R, son los valores medios de los resultados de las medidas de la velocidad de propagación del sonido, peso específico aparente y dureza superficial.

La normalización americana, elaborada por la American Society for Testing Material no tiene caracter oficial y es la que se suele utilizar a nivel mundial precisamente por su caracter privado. Se detallan a continuación las especificaciones que deben cumplir según estas normas las siguientes rocas: caliza ornamental en bloque, mármol para exteriores, etc.

Calizas ornamentales en bloque (C 616-68)

Se incluyen en este apartado todas aquellas rocas calizas que sean - aserradas, cortadas y divididas o bien labradas excluyéndose los agregados unidos artificialmente, compuestos de fragmentos y aquellas que estén fracturadas o quebrantadas. Se pueden clasificar en tres categorías en función de unos intervalos de densidad determinados.

- A) (Baja densidad) de 1,76 a 1,26 kg/dm³
- B) (Media densidad) de 2,16 a 2,56 kg/dm³
- C) (Alta densidad) de $>$ 2,56 kg/dm³

Deben ser sólidas, duraderas y libres de defectos visibles o concentraciones de materiales que puedan ser causa de decoloración o debilitamiento bajo las condiciones normales de aplicación. Se citan en el cuadro nº 11 las características físicas que se exigen a las tres categorías.

Mármoles exteriores (C 503-67)

Para usos exteriores los mármoles deben ser sólidos, libres de astillas, hendiduras, resquebrajamientos y otros defectos que limitan su resistencia, durabilidad y aspecto externo. Se incluyen en el cuadro nº 12 las normas ASTM que evalúan una serie de propiedades físicas de los mármoles para su aplicación en exteriores.

La falta en España de normas técnicas mínimas de carácter oficial sobre la calidad y condiciones de la presentación, comercialización, y colocación en obra de las rocas ornamentales, ha obligado a algunos productores nacionales a elaborar sus propias normas. Por considerar de especial interés estas iniciativas, que deben ser el estímulo para que fructifique la elaboración de unas normas oficiales redactadas por el Grupo de Trabajo aludido anteriormente, se refleja a continuación una de ellas: idoneidad técnica de los granitos naturales.

CUADRO Nº 9.

CARACTERISTICAS FISICAS DE LAS CALIZAS ORNAMENTALES

(Unidades según se indica)

<u>Categoría</u>	<u>Absorción máxima %</u>	<u>Resistencia compresión mínima kg/cm²</u>	<u>Módulo ruptura mínima - kg/cm²</u>
A. (baja densidad)	12	125	28
B. (media densidad)	7,5	280	35
C. (alta densidad)	3	560	70

CUADRO Nº 10.

CARACTERISTICAS MINIMAS DE LOS MARMOLES PARA EXTERIOR

(Unidades según se indica)

<u>Propiedad física</u>	<u>Valor exigido</u>	<u>Norma A. S. T. M.</u>	
Absorción (% máximo)	0,75	c	97
Densidad (mínima kg/dm ³)			
. Calcita	2,60	c	97
. Dolomita	2,80	c	97
. Serpentina	2,70	c	97
. Travertino	2,30	c	97
Resistencia a la compresión (mínimo - kg/cm ²)	527	c	170
Módulo de ruptura (mínimo - kg/cm ²)	70	c	99
Resistencia a la abrasión (mínimo - Ha)	10	c	241

Todo bloque deberá presentar las seis caras limpias, en su textura natural.

No se aceptará ningún bloque que tenga anomalías tales como las siguientes:

- a) Partes de casco o zona externa de la roca (material de descomposición).
- b) Gabarros o compuestos diferentes de la roca cuya extensión sea superior a 5 cms incluidas vetas naturales.
- c) Fisuras naturales ó ocasionadas por explosivos así como cintas propias de la roca que originarían la rotura de las placas una vez aserrado el bloque.
- d) Que contengan partículas ferrosas en su composición que puedan originar manchas de óxido en el granito una vez elaborado ó colocado.

Se transcriben a continuación las prescripciones más importantes de utilización de rocas ornamentales contenidas en el Pliego General de Condiciones para la Edificación elaborado por la Dirección General de Arquitectura, Economía y Técnica de la Construcción, Secretaría General Técnica, Ministerio de la Vivienda.

Granitos

- A. 35 Serán de grano fino y compacto, de color gris azulado o ligeramente rosado, pero siempre uniforme.

Serán preferibles aquellos granitos en los que predomine el cuarzo sobre el feldespatos y sean pobres en mica.

Bajo ningún concepto se tolerará el empleo de granitos que presenten síntomas de descomposición en sus feldespatos ca racterísticos. Se rechazarán también los granitos abundan- tes en feldespatos y mica por ser fácilmente descomponibles.

Será facultad del Arquitecto-Director el rechazar aquellas - piedras que cumpliendo las condiciones anteriores, presenten gabarras en número, tamaño, situación que sean estéticamente inaceptables.

- A. 36 El peso por m^3 podrá variar entre 2.600 y 3.000 kgrs.
- A. 37 La resistencia a la compresión podrá variar entre 400 y - 1.000 kg/cm^2 como carga de rotura, debiendo rechazarse en general aquellas que presenten cargas de rotura inferiores a los 400 kg/cm^2 , anteriormente expresados.

Calizas

- A. 39 Serán de grano fino y color uniforme, no debiendo presentar grietas o pelos, coqueras, restos orgánicos y nódulos o riñones.

Serán rechazadas las excesivamente bituminosas y que acusen el exceso de betún por su color excesivamente oscuro y su olor característico desagradable.

Serán asimismo rechazadas las que contengan demasiada arcilla, por su característica heladicidad y su disgregación fácil en contacto con el aire.

- A. 40 Su peso mínimo será de 2.000 kg/m^3
- A. 41 El coeficiente mínimo de rotura a la compresión, admisible, será el de 190 kg/cm^2 .

Mármoles

- A. 125 El mármol será fresco, de buen aspecto y obtenido de la parte más selecta de las respectivas canteras.

Deberá estar exento de los defectos generales señalados para toda clase de piedras, tales como pelos, grietas, coque^{ras}, bien sean debidos estos defectos a trastornos en la formación de la marca o a la mala explotación de las canteras.

- A. 126 Queda prohibido el empleo de mármoles procedentes de explotaciones y canteras donde se empleen explosivos de arranque.
- A. 127 Serían rechazados, asimismo, aquellos mármoles que presenten en su estructura masas terrosas.
- A. 132 Si se tratase de piezas para pavimento, se ensayará su resistencia al desgaste por rozamiento.

- A. 149 Los paramentos vistos de mármol deberán quedar con el grado de pulimento que exija la clase de obra de que se trate, debiendo ser más perfecto en los revestimientos verticales que cuando se trate de pavimentos o peldaños, en los que el exceso de pulimento pueda ofrecer peligro de resbalamiento.

3.2. Aplicaciones industriales

En este apartado van a analizarse las aplicaciones específicas de los materiales estudiados, exponiéndose, en primer lugar, los factores que influyen en la elección de los materiales; a continuación se estudian los diversos tipos existentes y, por último, los procedimientos de instalación.

Las aplicaciones que se van a estudiar son:

- Revestimientos interiores
- Revestimientos exteriores
- Pavimentos
- Otras aplicaciones, como recubrimientos de columnas y pilares, escaleras, chimeneas, bloques para esculturas, etc.
- Perspectivas de utilización en el futuro, paneles prefabricados y estructuras metálico-pétreas.

3.2.1. Revestimientos

Las condiciones generales que deben reunir los materiales de revestimiento son las siguientes:

- a) Contribuir al aislamiento térmico y acústico
- b) Proteger al mismo de la humedad de condensación
- c) Ser poco combustible
- d) Ser económico
- e) Sujetarse a un cierto número de reglas estéticas

- f) No deteriorarse oponiendo resistencia a los efectos físicos y a las reacciones químicas.
- g) No deteriorar a los morteros ó materiales sobre los que hayan sido colocados en contacto directo ni ser afectados por ellos.
- h) Duración apreciable
- i) Poco gasto de entretenimiento
- j) Permitirán reparaciones facilitando la reposición de una pieza por otra en caso de que sea necesario.

3.2.1.1. Revestimientos exteriores

Los revestimientos exteriores tienen como finalidad mejorar las características estéticas de las edificaciones, consolidándolas y protegiéndolas contra el ataque de agentes exteriores. A continuación se describen las principales características que incluyen tanto en la elección de los materiales como en la instalación de los mismos.

Criterios de elección de los materiales

La elección de los materiales más idóneos se realiza basándose -- especialmente en tres criterios fundamentales, que son, por orden de preferencia:

- a) Durabilidad
- b) Color
- c) Aspecto superficial

a) Durabilidad

Es la cualidad de un material dado para resistir a los agentes atmosféricos. La acción de tales agentes es muy compleja y puede ser de naturaleza química, orgánica o mecánica.

El ensayo más importante en relación con esta propiedad es el de resistencia a la compresión después del congelamiento (helada didad).

Debido a la complejidad de los diferentes agentes que pueden influir en la durabilidad del material, es necesario que los datos resultantes del ensayo de heladidad se complementen con la observación del estado de conservación de estructuras construidas en el pasado con el mismo material y que se encuentren sometidas a condiciones semejantes a las que se presentarán durante la vida del material en el nuevo edificio.

Es adecuado recordar las siguientes orientaciones en relación con la durabilidad:

Las rocas eruptivas, tales como el granito, están particularmente indicadas para aplicaciones exteriores; puede decirse que su durabilidad está estrechamente relacionada con su dureza, ya que cuando se utilizan con la superficie pulida conservan su textura por tiempo indefinido.

Entre las rocas endógenas debe mencionarse también la serpentina que ofrece muy buenos resultados.

Entre las rocas exógenas las más recomendables son los mármoles blancos, con textura eminentemente sacaroide, preferiblemente no demasiado fina.

En climas particularmente secos y templados, las calizas relativamente blandas y las rocas piroclásticas pueden emplearse con espesores adecuados.

En la actualidad y como consecuencia de los progresos realizados en las operaciones de aserrado, pulido, etc., con una disminución notable de los costes, el mercado del granito para esta aplicación ha aumentado considerablemente y siendo la tendencia más generalizada la de sustituir totalmente al mármol en revestimientos exteriores.

Es muy importante que la estructura de los materiales usados para aplicaciones exteriores sea homogénea, o al menos de una resistencia uniforme. Por esta razón deben descartarse para este empleo las calizas formadas por residuos orgánicos unidos por un cemento térreo. También hay que rechazar aquellos materiales con vetas no homogéneas con relación al resto del material.

Las oficalcitas y brechas deben considerarse indeseables. Otros materiales indeseables son los que contienen piritas que pueden

dar lugar a manchas ferruginosas y los sulfatos que son muy solubles en agua.

Es preciso concluir recalcando que hay que seleccionar el material con gran cuidado, especialmente en cuanto se refiere a que esté libre de defectos estructurales, tales como vetas con características resistentes menores, planos de desconchado, litoclasas y criptolitoclasas, partes terrosas y cavernosidades, etc.

b) Color

La elección del color es un elemento determinante en los diseños arquitectónicos. No obstante, en relación a la aplicación de un material para un revestimiento exterior, debe subordinarse a la durabilidad.

El diseñador debe hacer su elección dentro del campo de los materiales disponibles, incluso aunque sea necesario llegar a una solución de compromiso entre el color ideal deseado y los colores más parecidos.

Procedimientos de instalación

Se van a indicar en primer lugar los factores externos y constructivos que más influyen en los revestimientos exteriores, para hacer posteriormente una serie de consideraciones con respecto al espesor y los procedimientos de instalación propiamente dichos.

a) Factores importantes en los recubrimientos exteriores

Todo material destinado a revestimientos exteriores está influido en mayor o menor medida por los siguientes factores:

- Peso muerto: La instalación usada para el anclaje de las losas debe soportar el peso total.

En este caso la propiedad fundamental es el peso específico del material.

Si consideramos como peso específico medio el valor de 2,70, el peso de cada metro cuadrado de losa de acuerdo con su espesor será el siguiente:

Espesor mms:	20	22	25	30	32	36	40	50	60
Peso: Kg/m ² :	54	60	68	81	86	103	108	135	162

claro es que el peso específico de una roca depende tanto de su compacidad como de la naturaleza mineralógica de sus componentes; por tanto, los datos de la tabla deben tomarse a título orientativo.

Acción del hielo: El hielo puede actuar no sólo sobre las losas sino también sobre el mortero de las juntas y sobre la mampostería. Cuando se utiliza una roca ornamental es suficiente usar materiales resistentes al hielo, elegidos con los criterios que se mencionaron al hablar de la durabilidad.

Dilatación y contracción: En un edificio que ha sido construido con materiales de diferente naturaleza el fenómeno de expansión puede tener consecuencias muy perjudiciales; éste es el caso por ejemplo del hormigón armado y del mármol. El primero tiene un coeficiente de dilatación de $0,011 \text{ mm/m/}^{\circ}\text{C}$ y el mármol tiene un coeficiente de dilatación que, para algunas variedades blancas y cristalinas, no es mayor de $0,0035 \text{ mm/m/}^{\circ}\text{C}$. Las experiencias realizadas permiten concluir que la diferencia del coeficiente de dilatación térmica entre el mármol y el mortero de cemento es suficiente para causar la rotura de las losas, sin que intervengan otros factores.

b) Espesor

En los países europeos, el espesor empleado para los recubrimientos exteriores es generalmente de 3 cm y excepcionalmente puede llegar a 4 cm.

En Francia las normas para recubrir exteriores autoportantes consideran losas de al menos 8 cm de espesor, colocadas una junto a otra y una debajo de otra. Las juntas, normalmente en espesores de 1 cm y excepcionalmente 0,5 cm, van fijadas al hierro por simples anclajes con una sección de 60 x 10 mm y están hechas de bronce, cobre o latón.

En los EE. UU. las normas del "Marble Institute of America" fijan espesores de $7/8''$ (22 mm) y $1/4''$ (32 mm), $1\ 1/2''$ (38 mm) $2''$ -

(51 mm), de acuerdo con el tamaño de las losas, la altura de las superficies de apoyo y las condiciones climáticas de la localidad de la construcción.

c) Juntas

Algunos constructores prefieren las juntas denominadas "Pico de ave" (mitre), que es del tipo del descrito en la figura nº 14 a. -- Normalmente esto se hacia por medio de un recorte de 45º de los bordes de la losa (fig. b), pero es preferible hacerlo con un rebaje (fig. c) que permite una mejor protección contra las infiltraciones de agua bajo las losas.

Otros diseñadores prefieren las juntas en todo el espesor de la losa. Si los bordes vistos se disponen alternadamente como en la figura d, es evidente que se obtiene un enlace muy útil de los ángulos de las losas en cuanto a la seguridad, por lo que, en la actualidad, es la solución preferida.

3.2.1.2. Revestimientos interiores

Para esta aplicación se anteponen frecuentemente las características estéticas (color, textura) a las técnicas. Por ello los granitos dedicados a este empleo siguen encontrando en el mármol un fuerte competidor.

Es admisible la instalación de mármoles de elevada calidad con una pequeña cohesión si antes se fijan con adhesivos adecuados a un sopor

te especial consistente en una losa de material pétreo o de distinta naturaleza.

Hay que tener en cuenta que ni los mármoles blancos ni algunos colorados soportan demasiado bien las operaciones de adhesión y es muy difícil enmascarar las vetas finas o las partes que no son de mármol, debido principalmente a dos causas: absorben una mayor cantidad de rayos de luz y se degradan más rápidamente en el curso del tiempo.

En la elección de los mármoles para estas aplicaciones hay que considerar los hechos señalados anteriormente al hablar de recubrimientos exteriores. Esto es particularmente importante en el caso de recubrimientos de cuartos de baño. En este caso es necesario seleccionar materiales que puedan soportar las frecuentes agresiones del agua caliente y del vapor sin sufrir alteración. Por tanto, los mármoles son el mejor material, seguidos por ciertas calizas de indudable compatibilidad y con bajo coeficiente de absorción.

Para el recubrimiento de lugares públicos tales como "halls", estaciones, etc., en los que el revestimiento suele estar sometido a frecuentes choques, deben considerarse como fundamentales las cualidades de dureza, deformación mecánica y facilidad de lavado.

La colocación de las losas se puede efectuar de las siguientes maneras.

- Simetría normal: obtenida por una elección discriminada de las losas para producir un efecto general de uniformidad, sin un patrón particular.

- Simetría de "página de libro": para losas que contienen ciertas vetas o signos que se repiten a todo lo largo o ancho de las losas. Pueden colocarse una junto a otra de tal forma que cada losa armonice con las demás horizontalmente o verticalmente.

- Simetría de ángulo recto: obtenida armonizando dos series de losas, la segunda de las cuales está dispuesta inversamente bajo la primera, obteniéndose un efecto romboide.

- Simetría de contraste de vetas: obtenida con losas colocadas alternativamente con vetas horizontales y verticales; se puede obtener este efecto particularmente con travertinos.

La superficie debe estar tratada por pulido y el espesor empleado es generalmente de 2 cm con una tolerancia de ± 2 mm.

3.2.1.3. Pavimentos

Elección de materiales

Debe hacerse teniendo en cuenta los factores que diferencian un tipo de pavimento de otro.

Los puntos a tener en cuenta son:

- A) De acuerdo con la situación en el edificio, los pavimentos pueden ser para utilización en interiores o en exteriores.

a) Pavimentos interiores:

Para esta aplicación las posibilidades de elección son muy amplias, tanto respecto al tipo de materiales como a su espesor; el usado corrientemente es de 2 cm, aunque puede rebajarse a 1,5 - 1,6 cm. para baldosas standard de pequeño tamaño obtenidas de calizas compactas, e incluso puede llegar a 1 cm pa-ra materiales particularmente resistentes tales como serpentinas, pizarras, etc.

b) Pavimentos exteriores:

Están sujetos a mayor desgaste y por consiguiente se requieren materiales más duros, resistentes al hielo, con un espesor de 3 cm e incluso más si estan sometidos a tráfico de ve-hículos.

B) De acuerdo con el tipo de edificio, los pavimentos pueden perte-ner a edificios públicos, comerciales o privados.

a) Pavimentos para edificios públicos:

Se requieren materiales de aspecto sobrio, precio moderado y resistentes al desgaste. Los más adecuados para este uso son las pizarras, pórfidos y esquistos calizos cristalinos.

b) Pavimentos para edificios comerciales:

Se usan diversos tipos de materiales dependiendo del lugar de colocación.

c) Pavimentos para residencias privadas:

En este caso se pueden seleccionar diversos tipos de rocas, - principalmente calizas y serpentinas, de acuerdo con el grado de destinación y clase del edificio.

- C) De acuerdo con la intensidad de desgaste. - Es preciso distinguir según estén sometidos a un desgaste elevado, medio o bajo:

En el caso de pavimentos sometidos a desgaste elevado, tales como los de estaciones de ferrocarril u oficinas públicas, las rocas silíceas, como el granito, están particularmente indicadas. - También es posible el uso de calizas compactas o cristalinas de un sólo color.

En el caso de que estén sometidos a desgaste medio, tales como en bancos, iglesias, etc. los mármoles de tipo corriente se - consideran suficientes siempre que sean compactos. El ensayo - de resistencia al desgaste puede proporcionar indicaciones muy útiles.

En ningún caso deben usarse materiales de color oscuro, dado - que se decoloran muy fácilmente en las zonas de mayor desgaste.

En los pavimentos sometidos a un desgaste reducido, como es - el caso de los pavimentos de las viviendas, los materiales usados generalmente son calizas pulidas y serpentinas.

D) En cuanto a la composición pueden dividirse en pavimentos constituidos por:

- a) Pavimentos de losas sencillas, consistentes casi exclusivamente en losas de forma rectangular cuya longitud es igual al doble de su anchura y que constituyen la casi totalidad de la producción de este tipo de losas, en las dimensiones normalizadas de 30 x 15, 40 x 20, 50 x 25, y 60 x 30 cm. En algunos mercados existe una fuerte demanda de los tamaños 30 x 30, 40 x 40 y 50 x 50 cm.
- b) Pavimentos consistentes en dos o más tipos de losas, cada una de las cuales tiene una forma geométrica regular y se presta a la composición de patrones dados, que se repiten con un ritmo modular.
- c) Los pavimentos llamados "Opus Romanum" y también mosaico romano se hacen con losas rectangulares o cuadradas, colocadas sin seguir un orden geométrico.
- d) El "Opus incertum" consiste en losas poligonales con bordes aserrados cortados a mano y colocados exactamente.

Son particularmente adecuados los materiales con un tratamiento superficial basto y se usan principalmente en jardines y patios.

- E) De acuerdo con el número de materiales empleados, pueden estar formados de uno o más materiales; la tendencia actual es hacia el empleo de pavimentos de un solo material.
- F) Con respecto al tipo de losas empleadas: Los pavimentos pueden hacerse de:

- a) Losas de tamaño normal: de 30 x 15, 40 x 20, 50 x 25 y 60 x 30 cm; son los usados para calizas ornamentales. Tamaños diferentes para el mosaico romano, con 20 - 25 piezas por m^2 .

Para el "Opus incertum" se emplean piezas poligonales.

Estos productos se fabrican en grandes cantidades y están disponibles comercialmente.

- b) Losas de diferentes tamaños, con producciones especiales de ciertas casas comerciales
- c) Losas compuestas, cuyos tamaños están de acuerdo con el tipo de diseño y con las dimensiones de los locales en que se va a colocar el pavimento.
- d) Losas de longitud fijas y otras de longitud variable
- e) Losas "Opus romanum"

- f) Losas "Opus incertum" poligonales
- G) De acuerdo con el tipo de junta. - Puede ser sumamente variado.
- a) Junta normal: de aproximadamente 1-1,5 mm empleada para mármoles coloreados, cuando se desea realzar el efecto artístico.
 - b) Junta estrecha: (de 0,5-1mm) para suelos hechos con diferentes materiales, si los contrastes en color y estructura son suficientes para mejorar el efecto artístico.
 - c) Junta ancha (de 2-4 mm) llena con cemento de varios colores.
 - d) Junta realizada por una tira de material diferente: latón, cobre, etc. Esta solución es particularmente adecuada en el caso de granitos intensamente coloreados.
 - e) Juntas selladas con material plástico, usadas también como juntas de expansión.
 - f) Juntas irregulares de hasta 3 cm de ancho para pavimentos rústicos.
- H) Con respecto al estado de la superficie, puede ser:
- a) Pulida o semipulida

b) Rectificada

c) Tal como sale de la cantera

3.2.1.4. Escaleras y perfiles de huecos

Escaleras

De acuerdo con su función estática pueden constituir voladizos o estar apoyadas. Las últimas, a su vez, pueden ser en forma de abanico y sólo raramente son curvilíneos.

Para el dimensionado de la huella y la contrahuella se usa generalmente la siguiente fórmula:

A (contrahuella) \div P (huella = 46 cm.

Las dimensiones más corrientes en la práctica son:

P = 28, 29, 30, 31 cms.

A = 18, 17, 16, 15 cms

A) Detalles de construcción. - Las huellas son generalmente de 3 cm de espesor, y en la mayoría de los casos están escuadradas con bordes ligeramente redondeados.

El exceso de longitud de la huella sobre la contrahuella es usualmente de 2 cm; por tanto, considerando un espesor de 2 cm de -

mortero, el desplazamiento total del borde de la losa de la huella con respecto a la contrahuella de hormigón es de 6 cm.

El cuidado que se ponga en estos detalles es de la mayor importancia en escalareas con huellas en abanico, especialmente en escaleras helicoidales, con el borde de la huella convergiendo hacia el eje central.

Las contrahuellas son generalmente de zonas de espesor y se colocan verticalmente.

- B) Elección de materiales. - Para la elección de los materiales más adecuados para esta aplicación, son válidas las indicaciones hechas al hablar de pavimentación en los casos de desgaste elevado y medio.

En el caso de construcciones de lujo, en las que el desgaste es limitado y en el que las escaleras están protegidas por una alfombra, los criterios estéticos pueden anteponerse a las características estructurales.

En cuanto al color, son preferibles los tonos claros, tanto por adquirir mayor relieve la escalera como por la decoloración que sufre el mármol oscuro en las zonas de abrasión debido al mayor uso, lo que produce un colorido irregular.

Perfiles de huecos

En este apartado se consideran las aplicaciones en perfiles de puertas y ventanas.

El mínimo espesor adoptado generalmente es de 3 cm, siempre y cuando las características del material lo permitan.

Los criterios de selección son los mismos, incluso más severos, que para recubrimientos exteriores, teniendo en cuenta que estas piezas son de anchura limitada comparada con su longitud.

3.3. Aplicaciones especiales

Este tipo de aplicaciones son tan numerosas que un estudio exhaustivo de ellas ocuparía un espacio del que no se dispone; basta pensar en la decoración, escultura, escaparates, etc.

Por otra parte, tales aplicaciones son más bien artesanales, y en este estudio se consideran las rocas básicamente por sus aplicaciones en la construcción; por otra parte, considerando el porcentaje de utilización - en estos campos apenas tiene importancia en el contexto actual del consumo.

Solamente se mencionarán las aplicaciones que parecen tener mayores posibilidades de desarrollo en el futuro.

a) Revestimientos de columnas y pilares

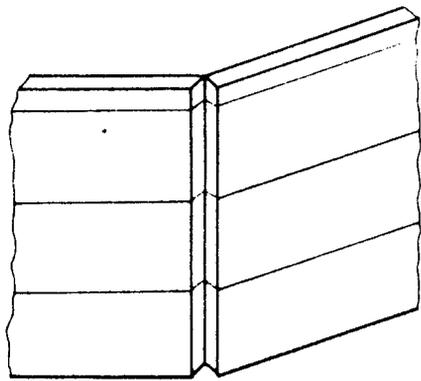
En cuanto a la elección de materiales puede aplicarse lo dicho - en el apartado de recubrimientos exteriores, en el caso de que los pilares se encuentren al aire libre, como ocurre en las estaciones de ferrocarril y otros lugares.

Para aplicaciones interiores pueden emplearse rocas que tengan una resistencia suficiente para soportar cambios de temperatura.

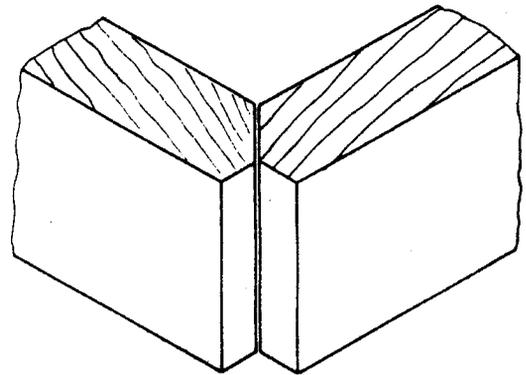
En los soportes sometidos a impacto, el espesor del recubrimiento debe ser de 4 a 5 cm; en los demás casos pueden emplearse espesores de 2 a 3 cm.

b) Chimeneas

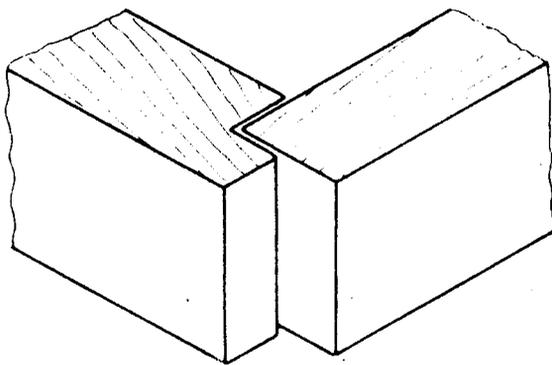
Se pueden emplear estas rocas para cualquiera de las partes que constituyen la chimenea.



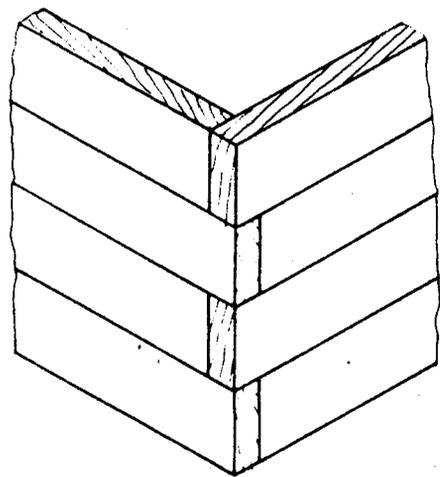
a)



b)



c)



d)

Fig. 14. - JUNTAS PARA LOS REVESTIMIENTOS EXTERIORES

4. PRODUCTOS SUSTITUTIVOS

Debido a que uno de los principales factores que determinan la utilización de un material con fines ornamentales son las características estéticas, que dependen en gran medida de consideraciones subjetivas, no se puede dar una norma general con respecto a la utilización y sustitución de los diferentes materiales pues en última instancia depende de la idiosincrasia, el grado de civilización y cultura de los países en que se va a utilizar. Así, por ejemplo, es mucho más normal la utilización de un mármol de calidad en Italia, Francia o España que en los EE. UU. donde tiene casi la misma aceptación materiales más funcionales y modernos como pueden ser los plásticos.

De cualquier forma, al analizar los materiales que pueden sustituir a los que se están estudiando, es preciso recordar que las rocas que se mencionan, además de sus cualidades ornamentales, son, al fin y al cabo, materiales de construcción, por lo que pueden distinguirse dos tipos de sustitutos:

- a) Los que se limitan a sustituir a la roca considerada como elemento constructivo sin reproducir sus características estéticas.
- b) Los que pretenden imitar, en mayor o menor grado el aspecto de la roca que sustituyen.

Dentro del primer grupo existe una amplia gama de materiales que pueden emplearse, como son:

Baldosas de cerámica en pavimentos y recubrimientos de muros y paredes, ladrillo visto y elementos prefabricados en fachadas, recubrimientos metálicos de acero o aleaciones de aluminio, terrazo, paredes de madera u otros materiales.

El segundo grupo es bastante más restringido, y puede subdividirse, a su vez en las siguientes formas:

- . Piedras artificiales, fabricadas en general, a partir de fragmentos del mismo material que se trata de imitar.
- . Plásticos

Las piedras artificiales se fabrican generalmente uniendo los fragmentos de roca por medio de un aglomerante que puede ser de distintos tipos, como se describió en el apartado correspondiente al aprovechamiento de los subproductos. Como se indicó entonces estos métodos son aplicables a todos los tipos de rocas que se analizan en el estudio especialmente en que se incluyen en las denominaciones comerciales de "mármoles" y "granitos".

Por lo que respecta a los plásticos su campo de aplicación se incrementa continuamente, especialmente en los países de gran desarrollo industrial como consecuencia de las tendencias arquitectónicas a la prefabricación y el desarrollo de las viviendas unifamiliares. No obstante y aun cuando estos factores influirán en una mayor competitividad de magnitud de consumo de plásticos y materiales pétreos se

guirá siendo considerablemente distinto, pues mientras para los primeros se medirá en miles de t, para los segundos se trata de millones de t.

Por último, es preciso destacar que así como hasta ahora se han descrito someramente los distintos tipos de materiales que pueden sustituir a las rocas ornamentales, estas mismas rocas son susceptibles - de poder sustituirse entre sí ya que sus campos de aplicación se solapan frecuentemente, así las rocas del grupo 'de los "granitos" tiene - prácticamente las mismas aplicaciones y lo mismo ocurre con los mármoles y serpentinas. En este sentido y de cara a potenciar en la ma-yor medida posible los recursos locales es de gran interés la confec-ción de tablas de equivalencia que se han desarrollado con éxito en - Italia y que indican como una roca ornamental, generalmente mármol procedente del exterior, puede ser sustituida por rocas que se explotan en el propio país y que tienen una calidad equivalente.

Un ejemplo de tabla de equivalencia para los mármoles españoles podría ser la siguiente:

<u>Mármoles nacionales</u>	<u>Calidad equivalente</u>	<u>Mármoles italianos</u>
Rojo Alicante	←————→	Portosante Fallani (Lintarosa) Rosso Amiata
Agata de Málaga	←————→	Onice Piamonte

5. BIBLIOGRAFIA

- Tratado de Mineralogía
F. Klockmann & P. Ramdohr. Editado por Gustavo Gili

- Petrología ígnea y metamórfica
F. J. Pettijohn. Editado por EUDEBA

- Geology of the Industrial rocks and minerals
Robert L. Bates. Editado por Dober Publications

- Rocks & Minerals
Brian Simpson. Editado por Pergamon Press

- I marmi d' Italia graniti e pietre ornamentali
Mario Pieri. Editado por Ulrico Hoepli

- I marmi Esteri
Mario Pieri. Editado por Ulrico Hoepli

- Pigmentazioni e tonalita cromatica nei marmi
Mario Pieri. Editado por Ulrico Hoepli

- Technical guide to the rational use of marble
Editado por la industria italiana del mármol

- Piedras, granitos y mármoles
E. Samso. CEAC

- Perspectivas e innovaciones en la tecnología del corte de rocas ornamentales.
R. Mancini. G^a. Mostra internazionale marmo macchine

- Idoneidad técnica de los granitos españoles
Octavio Ramilo

- Graniti as dimension stone
Oliver Bowles Bureau of Mines (USA)

- Marble
Oliver Bowles. Bureau of Mines (USA)

- Arte mineraria
Luigi Gerbella. Editado por Ulrico Hoepli

- Estudio de Materiales
F. Arredondo. Editado por el CSIC

- Plan Nacional de la Minería
Ministerio de Industria. Dirección General de Minas

- . "Le Granit Materiau de Luxe"
Therese Amet. Editado por MAUSOLEE. Givors-Francia.
- . Geology of Building Stones
J. A. Howe. Inglaterra
- . "Geological, Chemical and Physical Problems of the Marble Industry"
AIME (USA)
- . "Cutting and Polishing Stones"
M. W. Von BERNEWITA. Bureau of Mines (USA)
- . Stone: Properties, Durability in Man's Enviroment
E. M. Winkler. - Springer-Verlag. New York
1º Convegno Internazionali sulla coltivazione di pietre e minerali litoidi.
Sessione II. Pietre da costruzione e da decoracione.
- . Jornadas Minero-Metalúrgicas Bilbao 1975
 - . Investigación de rocas ornamentales. A. Sanchez Jimenez. F. Calle. Sánchez-Hermosilla. J. J. García Rodriguez.
 - . Explotación de canteras por medio de hilo helicoidal.
F. Calle Sanchez-Hermosilla.
 - . Normativa para el control de calidad en las rocas ornamentales.
A. Otero Fernandez. J. Obis Sánchez.