



Usos potenciales del basalto

Provincia del Neuquén

Dania V. Pascua y Horacio A. Lucesoli

Serie de Contribuciones Técnicas
Recursos Minerales - Boletín N° 02

Usos potenciales del basalto

Provincia del Neuquén

Dania V. Pascua
Horacio A. Lucesoli

Zapala – 2020

Gobernador

Gobernador de la Provincia del Neuquén: Cr. Omar Gutiérrez

Vicegobernador

Vicegobernador de la Provincia del Neuquén: Cr. Marcos Koopmann Irizar

Ministerio de Energía y Recursos Naturales

Ministro de Energía y Recursos Naturales: Lic. Alejandro Monteiro

Subsecretaría de Energía, Minería e Hidrocarburos

Subsecretario de Energía, Minería e Hidrocarburos: Cr. José Gabriel López

Dirección Provincial de Minería

Director Provincial de Minería: Lic. Carlos Portilla

Sugerencia de referencia bibliográfica

Pascua (D.V.) y Lucesoli (H.A.). 2020. Usos potenciales del basalto, provincia del Neuquén. Dirección Provincial de Minería, Serie de Contribuciones Técnicas: Boletín N° 02. 27 pág. Zapala, Neuquén.

ISSN 2618-5369

Dirección Provincial de Minería
Elena de la Vega 472
(8340) Zapala | Neuquén | Argentina
Tel/Fax: 02942 – 431438
halucesoli@neuquen.gov.ar

Zapala – 2020

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	8
CARACTERÍSTICAS Y COMPOSICIÓN DEL BASALTO	8
USOS DEL BASALTO	10
Agregados pétreos o Áridos	10
Rocas ornamentales.....	10
Forma de comercialización.....	12
Descripción de la producción	13
Industria cerámica	13
Forma de comercialización.....	14
Harina de basalto	14
Forma de comercialización.....	15
Fibras de basalto.....	16
Forma de comercialización.....	17
Lana de basalto, Tejido de basalto, Textiles - Geotextiles.....	17
Forma de comercialización.....	19
Varillas o Barras corrugadas de basalto	19
Formas de comercialización	21
Descripción de la producción de fibras, varillas de basalto y sus derivados.....	21
CONCLUSIONES	24
BIBLIOGRAFÍA	25

INTRODUCCIÓN

Las rocas basálticas presentan una amplia distribución en el territorio provincial, especialmente en el sector andino; en la región nororiental de la provincia las lavas basálticas de las sierras de Huantraico - Sierra Negra y las del Complejo Volcánico del Auca Mahuida, constituyen los mayores centros volcánicos de esa comarca. En Varvarco, en los alrededores de Rincón de los Sauces, en las inmediaciones de Zapala y, en menor proporción, en algunas localidades de la región de los lagos se explotan esporádicamente las rocas basálticas. A la totalidad del basalto extraído de las canteras neuquinas no se le otorga valor agregado.

El uso industrial de estas rocas es frecuente en construcción de cimientos, hormigones, empedrados y como balasto para ferrocarril; en grandes volúmenes se lo utiliza para enrocamiento de presas, defensa de márgenes en ríos y lagos artificiales. Existen obras de hormigón (pavimentos y pistas de aeropuertos) en las que se ha utilizado basalto como agregado. Además de sus múltiples usos y posibles aplicaciones industriales, la mayor importancia de los basaltos quizás esté dada por la propiedad que poseen como retentores y reguladores de agua, contribuyendo con ello al desarrollo de excelentes acuíferos. Conocida y bien apreciada resulta esta particularidad en zonas de climas áridos-semiáridos en donde las coladas basálticas constituyen pantallas de recarga y protección de los terrenos infrayacentes, preservando así la vida útil y calidad de las aguas subterráneas.

Por sus características físico-mecánicas, son rocas aptas para ser usadas como agregados para hormigón, aunque pueden contener especies mineralógicas que las tornen potencialmente reactivas frente a los álcalis; la principal causa del comportamiento perjudicial es la presencia de vidrio volcánico (fresco o alterado a minerales arcillosos, principalmente) y sílice micro y/o criptocristalina (ópalo, tridimita, cristobalita y cuarzo secundario). En los últimos años, se lo ha empezado a utilizar en muchas otras aplicaciones, como ser en la fabricación de componentes para la industria aeronáutica, industria automotriz, industria eólica, defensa; materiales ignífugos, tuberías y otros, con el uso de fibra de basalto y sus derivados.

CARACTERÍSTICAS Y COMPOSICIÓN DEL BASALTO

Los basaltos, junto con las andesitas, suman el 95% de las rocas volcánicas presentes sobre la corteza terrestre; es una de las rocas más abundantes en dicha corteza, ya que cubre cerca del 70% de la superficie terrestre. Los basaltos constituyen un tipo de

roca formada a partir de la fusión de materiales procedentes del manto superior y pueden encontrarse tanto en zonas oceánicas como continentales. El basalto es una roca ígnea volcánica de color oscuro, de composición máfica, rica en silicatos de magnesio y hierro; comparado con otras rocas ígneas, el basalto, tiene un bajo contenido en sílice. Los basaltos suelen tener una textura porfídica, con fenocristales de olivino, augita, plagioclasa y una matriz cristalina fina; en ocasiones puede presentarse en forma de vidrio, denominado sideromelano, con muy pocos cristales o sin ellos. La temperatura de fusión del basalto se encuentra entre 1100 y 1200°C, su densidad varía entre 2,8 y 2,9 g/cm³, estos valores dependen de la composición mineral de la roca.

En la tabla 1 se da un ejemplo de la composición química del basalto expresada en porcentaje de masa de óxidos, los porcentajes son valores medios sujetos a ligeras variaciones:

Tabla 1: composición química del basalto expresada en porcentaje de masa de óxidos.										
SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
49,97	1,87	15,99	3,85	7,24	0,20	6,84	9,62	2,95	1,12	0,35

Los afloramientos con mayor calidad pétreo se localizan en la zona norte, centro y noreste de la provincia en donde se ubican una veintena de canteras, 2 canteras en el departamento Minas, 11 canteras en el departamento Zapala y 4 canteras en el departamento Pehuénches.

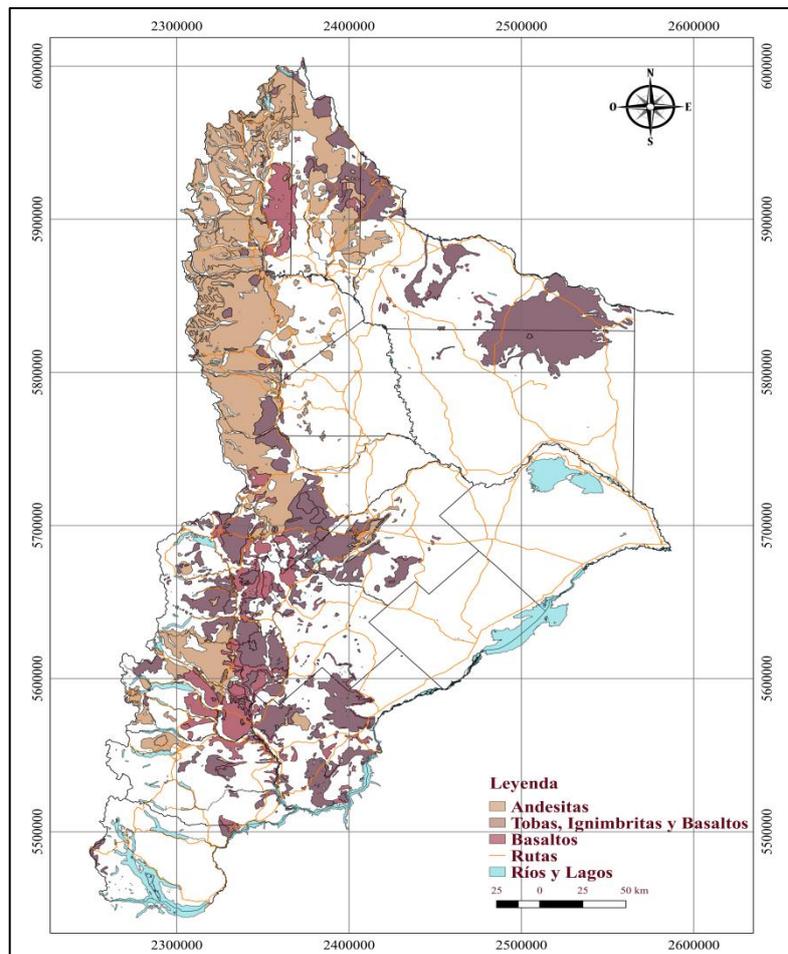


Fig. 1: afloramientos de rocas volcánicas en Neuquén.

USOS DEL BASALTO

Los basaltos son muy utilizados en la construcción, especialmente para la producción de agregados pétreos; existen otros usos potenciales que están menos difundidos y que hasta ahora han sido poco estudiados. Dichos usos abarcan aplicaciones industriales, ornamentales y enmiendas minerales.

Agregados pétreos o Áridos

Las rocas basálticas son excelentes áridos naturales, generalmente, se obtienen a través de voladuras y se procesan en plantas de trituración y clasificación. Se usan como agregados para la elaboración de hormigón armado de los edificios y mezclas asfálticas en la construcción de asfalto para rutas; así como también, para empedrados, drenajes, bases y sub-bases en la construcción vial; como balasto y sub-balasto en las vías del ferrocarril; para la protección ribereña y de taludes; entre otros.



Fig. 2: acopios de basalto utilizados como balasto.



Fig. 3: a) cerco y b) parrilla contruidos con clastos de basalto.

Rocas ornamentales

La aptitud ornamental de una roca se define por sus propiedades mecánicas, químicas; por sus posibilidades de explotación (forma y dimensiones de los bloques obtenibles) y, por la valoración estética de su color, textura, tamaño de grano y demás cualidades ligadas a los propósitos ornamentales. Las propiedades a tener en cuenta en relación con las posibilidades de uso son: tipo de roca, absorción, dilatación térmica,

resistencia a la flexión, resistencia a la compresión y alterabilidad. En el caso de los pisos y fachadas, a estas características, se suman requisitos de resistencia a la abrasión y acabado superficial, respectivamente.

Densidad real	3,00 - 3,15	g/cm ³
Densidad aparente seca	2,85 - 3,05	g/cm ³
Adsorción de agua	0,1 - 0,3	%
Expansión térmica	0,90	mm/m 100°C
Resistencia a la compresion	250 - 400	N/mm ²
Resistencia a la flexión	13 - 25	N/mm ²
Resistencia al impacto	9 - 20	%

La característica más significativa del basalto para uso decorativo, es su color negro, la gama de tonalidades de grises y verdosas. Es un material muy resistente, siendo el preferido para revestir los muros de las viviendas, posee una baja capacidad de reflejar la radiación y puede encontrarse en acabado mate o brillante. La resistencia al tránsito en residencias es elevada, sin embargo no se recomienda para sitios de alto tránsito como centros comerciales; permite la creación de espacios infinitos donde se minimizan las juntas, otorga la sensación de continuidad que logra estancias minimalistas mimetizándose sutilmente con su entorno decorativo. La elaboración de ciertos productos a partir de rocas basálticas -como ser losas aserradas- podría verse condicionada por el tamaño mínimo extraíble. Dicho factor se relaciona con el grado de diaclasamiento natural y la distribución espacial que pueden presentar las discontinuidades en los afloramientos de estas rocas.



Fig. 4: a) calzada de adoquines y b) piso de adoquines de basalto (negros) y caliza (blancos).

Cuando se pule la roca y se lo corta en láminas delgadas se usan como baldosas o como paneles.



Fig. 5: baldosas de a) basalto gris y b) basalto negro.

La disyunción columnar en muchos afloramientos basálticos ha favorecido los procesos de explotación; los romanos usaban el basalto “lapis sílex”, para empedrar sus calzadas. En muchos lugares, es normal la utilización de piezas hexagonales constituyendo el adoquinado, procedentes del corte directo de las columnas formadas por disyunción, como las observadas en la localidad de Varvarco, en el norte neuquino.



Fig. 6: mosaico de disyunción columnar.

Tabla 3: aplicación ornamental de basaltos compactos en obras exteriores (Lorenz y Gwosdz, 2004).

Poco labrado		Labrado		Lijado		Pulido	
Mampostería	Adoquines	Escultura grosera	Escultura grosera	Solería	Monumentos, Fachadas, Lápidas	Fachadas	Monumentos, Lapidas
X	X	X	X	XXX	XXX	XXX	XX

Referencias: X: poco adecuado, XX: adecuado, XXX: muy adecuado.

Tabla 4: aplicación ornamental de basaltos compactos en obras interiores (Lorenz y Gwosdz, 2004).

Lijado y pulido fino		
Solería	Escalones, repisas	Tableros sin revestimientos
X	X	X

Referencias: X: poco adecuado, XX: adecuado, XXX: muy adecuado.

Forma de comercialización

La forma de explotación y extracción del basalto debe ser realizada mediante técnicas adecuadas para obtener bloques relativamente grandes que abastezcan a talleres de corte y pulido. Actualmente, los cortes que se comercializan de la roca generan las

medidas: 30x30 cm, 20x20 cm, 10x10 cm, 10x20 cm, etc., se podría además obtener formas rectangulares de 30 cm de ancho por lo que permita el largo del bloque y según demanda; el espesor y el uso pueden variar en relación al aprovechamiento proyectado.

Descripción de la producción

El equipamiento utilizado para generar este tipo de productos consiste en una máquina de corte con motor eléctrico y/o a explosión, prensa de diamantado de discos, lijadora y pulidora.

Industria cerámica

Los basaltos tienen aptitudes como fundentes, para la elaboración de vidriados y esmaltes y como materia prima en la industria vitro-cerámica (Hevia, 2006). Los *fundentes* son componentes que bajan el punto de fusión de las mezclas cerámicas, para ello son muy utilizados los feldespatos, especialmente los alcalinos (albita, microclino y ortosa); algunas rocas volcánicas, entre ellas los basaltos, son consideradas aptas para sustituir a estos minerales en ciertas composiciones cerámicas. Los *vidriados* y *esmaltes* son vidrios en los que predominan óxidos de bajo punto de fusión llamados, también fundentes; cuando son transparentes y no hay agregado de pigmentos u otros productos, se habla de vidriados, de lo contrario, se denominan esmaltes. Estos materiales se utilizan para dar color y/o decoración a las piezas cerámicas, para alisar su superficie e impermeabilizarla, así como también para aumentar su resistencia química y mejorar sus propiedades mecánicas (Durán, 2002). Según Holand y Beall (2012), los *vitro-cerámicos*, son materiales que se forman a partir de la nucleación y cristalización controlada de vidrios, pueden ser formulados a partir de materias primas de síntesis (materiales vitro-cerámicos) y/o de materias primas naturales como rocas y minerales (materiales petrúrgicos), por su baja temperatura de fusión (entre 1100 y 1300° C) y, por la menor viscosidad de sus fundidos, el basalto tiene aplicación como materia prima petrúrgica (Vicente y Mingarro *et al.*, 1993).

Al basalto se lo utiliza en la fabricación de cerámica de la construcción (revestimientos de pisos y paredes, externos e internos) y para la elaboración de cerámica fina para vajilla; es común utilizar este tipo de material en cubiertas de



Fig. 7: vajilla confeccionada con pasta de basalto.

cocina y baños, debido a su dureza y a su baja absorción. Debido a que carece de plasticidad, para poder utilizar basalto en cerámicos, es indispensable agregar a la pasta, materias primas que aporten la plasticidad necesaria, tales como: arcilla, caolín, y eventualmente bentonita; muy abundantes en nuestra provincia.

Forma de comercialización

Para realizar los esmaltes a partir de rocas basálticas se utilizan distintas proporciones de los componentes pulverizados (harina de basalto, fritas [mezcla de sustancias químicas boro-cálcica o plúmbico-bórica], arcilla y bentonita) y agua. Se logran esmaltes con colores que van desde el marrón rojizo al negro, pasando por el marrón oscuro.

Harina de basalto

Las harinas de roca son un conjunto de minerales con un alto poder para remineralizar y nutrir suelos. En el basalto se pueden encontrar más de 45 elementos, entre ellos: silicio, hierro, magnesio, manganeso, calcio, sodio, potasio, fósforo, zinc, cobre, cobalto, etc. La enmienda mineral es una práctica ligada a procesos productivos agro-ecológicos que tiene por objetivo mejorar suelos degradados o empobrecidos a través de la utilización de polvos de roca. Los principales beneficios que se le reconocen a esta técnica son la provisión de macro y micro nutrientes; mejoras del pH de los suelos; aumento de la capacidad de intercambio catiónico y costos bajos o ningún costo si se aprovechan los residuos minerales de las canteras y plantas de trituración de áridos.

La experiencia ha demostrado que esta roca reducida a polvo, actúa favorablemente sobre el suelo y sobre las plantas por diversas razones:

- 1.** Aumenta el valor nutritivo y sabor de los cultivos, el basalto es rico en magnesio (el polvo de basalto contiene en forma natural más de un 8% de magnesio). Este elemento es esencial para las plantas y para la fotosíntesis ya que es el principal constituyente de la clorofila. Análisis han demostrado que la mayoría de los suelos tienen carencias en magnesio, esta carencia se vuelve a encontrar en la alimentación humana (el magnesio es indispensable para el equilibrio fisiológico de las personas, para su salud nerviosa, para combatir el cansancio, etc.).
- 2.** Aporta nutrientes, el basalto es rico en oligoelementos (elementos esenciales para la vida, intervienen en muy baja dosis en los organismos vivos). Estos son esenciales que el hombre los encuentre en su alimentación.

3. El basalto facilita la absorción por las plantas de los elementos nutritivos contenidos en el suelo, esta propiedad se debe a intercambios iónicos. El basalto se combina con las partículas nutritivas para alimentar a las raíces, este fenómeno impide el empobrecimiento del suelo por las lluvias al llevar los elementos nutritivos en profundidad, en zonas inaccesibles al sistema radicular.
4. El basalto es un potente regenerador de los suelos, participa en la formación del complejo arcilla-humus, resulta de la combinación de sustancias orgánicas, de partículas minerales y de micro-organismos. Revitaliza a los suelos agotados por los tratamientos químicos y los monocultivos.
5. El basalto, bajo el efecto de diversos factores físico-químicos, se transforma lentamente en una arcilla de muy alta calidad desde el punto de vista agronómico.
6. El basalto es un estructurante del suelo. En los suelos arenosos, el aporte de basalto permite retener el agua y, por lo tanto, obtener una tierra menos seca. Esta propiedad se debe a las características higroscópicas del basalto micronizado y al desarrollo del humus. El basalto es también eficaz en las tierras apelmazadas que airea cuando se emplea en forma de arena, contribuye al calentamiento de los suelos.
7. Aumenta la resistencia ante insectos, enfermedades, heladas y sequías, el basalto contiene más de 40% de sílice, elemento que refuerza los tejidos de los vegetales y estimula su resistencia natural a las enfermedades y a los ataques parasitarios; en una granulometría muy fina, permite combatir algunos insectos que asolan los cultivos. Esta acción es de orden físico y no químico, es repulsiva para los insectos; la ausencia de toxicidad es una garantía de no contaminación de los depredadores útiles para el equilibrio ecológico.
8. El basalto con fina granulometría fija los olores. Esta propiedad se aprecia en el tratamiento de los purines y de las camas de paja de los animales. Por su poder de fijación de las materias nitrogenadas, volátiles, el basalto contribuye al enriquecimiento de los estiércoles.

Forma de comercialización

La elección de la granulometría depende de la utilización y del efecto buscado, cuanto más finos los polvos, más grande es su superficie de contacto; la acción de los microorganismos es así más rápida. Actualmente en el mercado se comercializan los siguientes tamaños:

✦ El *basalto 0/2 triturado*, obtenido por molienda de las rocas, posee una granulometría semejante a la de una arena fina; el diámetro de las partículas va de 80 micrones a 2 mm. Este polvo es más barato, su acción es lenta y conviene para un tratamiento de fondo y duradero o cuando la activación microbiana es intensa. También se utiliza para airear tierras apelmazadas.

✦ El *basalto micronizado*, se obtiene mediante una molienda, que reduce la roca a una harina; su granulometría está en un 90% entre 1 micrón y 80 micrones. Su superficie de contacto muy grande permite su descomposición rápidamente por los microorganismos y los factores físico-químicos. Se utiliza para estructurar los suelos arenosos y allí donde se desea una acción rápida. Esta granulometría es la adecuada para el espolvoreado foliar, el tratamiento de las camas animales y de los purines.

Ambos tamaños pueden utilizarse juntos para potenciar los efectos. El precio aumenta con la finura, pero el costo más elevado del micronizado se compensa con una reducción de dosis (las dosis de empleo del micronizado son 2 a 3 veces más bajas que las del 0/2).



Fig. 8: harina de basalto.

Fibras de basalto

La fibra de basalto es un material artificial que se obtiene a partir de un proceso productivo en el que la roca basáltica se funde en un horno a unos 1600°C. La fibra de basalto es resistente a los ácidos, al medio alcalino; presenta un alto módulo de elasticidad, baja resistencia a los rayos UV, elevada resistencia a la corrosión electroquímica y resistencia a la temperatura (hasta 800°C), lo que unido a su capacidad de deformación, le aportan una excepcional tenacidad.

Por sus características, las fibras de basalto, son vistas como un buen reemplazo para las fibras de asbesto (Schiavon *et al.*, 2007) y como competencia para las fibras de vidrio, debido a que presentan propiedades semejantes y costos relativamente buenos (Černý *et al.*, 2012).

La fibra de basalto se emplea en la confección de materiales textiles resistentes al fuego, como aislantes térmicos y acústicos en la construcción, en la industria automotriz,

en la industria aeroespacial, en la construcción de barcos, aspas de molinos de viento, etc. También se utiliza fibra de basalto para reforzar estructuras de hormigón.

La aptitud de estas rocas para su fibrado, estudiada mediante las curvas de viscosidad, mejora considerablemente con la adición de calcio y magnesio. El basalto con mayor calidad para su fibrado es aquel que al ser procesado se obtienen mayor cantidad de fibras y de menor diámetro, el basalto con mejor aptitud es el que necesita menor porcentaje de aditivos. Hay basaltos que se pueden fibrar directamente, sin aditivos, aunque la cantidad de fibra obtenida es escasa y su diámetro es elevado, estos aspectos se ven notablemente mejorados usando aditivos como carbonato de calcio (CaCO_3) y el carbonato de calcio y magnesio ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) en proporciones de un 15 o 20% en peso (Cáceres *et al.*, 1996), con esto se consiguen fibras más finas y en mayor cantidad. Ambos carbonatos son materiales de probadas reservas en el ámbito de la provincia, y de excelente calidad, con una pureza del 98% CaO y de 20% MgO, respectivamente.

En la siguiente tabla se observa una comparativa entre la fibra de basalto y la fibra de vidrio, se observa claramente que en general las características mecánicas de la fibra de basalto superan a la fibra de vidrio.

Tabla 5: Comparativa fibra de basalto vs fibra de vidrio tomado de Moraño Rodríguez (2010).			
	Fibra de basalto	Fibra de vidrio	Unidades
Densidad	2,75	2,60	g/cm^3
Diámetro medio del filamento	9 - 23	9 - 13	μm
Resistencia a la tracción	4840	3450	MPa
Resistencia a la compresión	550	440	psi
Módulo de elasticidad	89	77	GPa
Coefficiente de expansión lineal	5,5	5	(x 10/K)
Elongación hasta la rotura	3,15	4,7	(%)
Absorción de agua	< 0,1	< 0,1	(65% RH)

Forma de comercialización

Las fibras son producidas con basalto extraído de canteras, el que es molido, lavado y luego fundido en horno; se obtienen así fibras de 60 a 100 mm de longitud con un diámetro entre 7 y 13 μm .

Lana de basalto, Tejido de basalto, Textiles - Geotextiles

La lana de basalto o de roca es un producto aislante constituido por entrelazamientos de fibras o filamentos de rocas del tipo basáltica que forman un fieltro o una alfombra no tejida, sin agentes de unión, que mantiene aire en estado casi inmóvil.



Fig. 9: a) lana de basalto y b) lana de vidrio.

Los numerosos poros ocluidos en este entramado de fibras le confieren a la lana una conductividad térmica singularmente baja, así como un elevado coeficiente de absorción sonora, cualidades que han posibilitado su uso extendido como aislamiento térmico y acústico; a su vez, poseen otras valiosas propiedades como: incombustibilidad, inercia química y no favorecer el crecimiento ni el desarrollo de microorganismos. Por ello, son utilizados para elaborar fibras textiles resistentes al fuego y a las altas temperaturas, como refuerzo en materiales compuestos. En industria de la construcción para sumar resistencia a estructuras de hormigón y distintos aglomerantes pétreos, del transporte, aeronáutica, automovilística, y ahora más comúnmente en elementos deportivos, como bicicletas, palos de hockey, esquís, palos de golf, snowboards, cascos de protección, raquetas de tenis y pádel, etc., ya que dan ligereza y un acabado estético al producto final.

Las principales propiedades que hacen que la lana de basalto sea el producto idóneo son:

1. Buena conductividad térmica, gracias a la porosidad abierta de la lana mineral, se reduce al máximo la transmisión de calor. Sus bajas conductividades térmicas hacen que la lana mineral de poco espesor consiga un excelente aislamiento térmico en los elementos donde se incorpora.

2. Atenuación acústica, gracias a su naturaleza filamentosa, de estructura abierta, ordenada y elástica, las ondas sonoras que penetran en la lana mineral se amortiguan, haciendo que el sonido transmitido o reverberado sea menor.

3. Incombustibilidad, el origen pétreo de las materias primas proporciona un carácter ignífugo a la lana mineral con una clasificación en reacción al fuego A1 - A2.

4. Protección frente a la humedad, la lana mineral es hidrófuga y no capilar, por tanto no capta ni transmite la humedad.

5. Carácter biosoluble, la lana mineral es biosoluble, por lo que en caso de inhalación es destruida por los mecanismos de defensa del organismo, sin riesgo para los usuarios.

6. Facilidad de colocación, la lana mineral tiene gran adaptabilidad ajustándose a las irregularidades de los distintos elementos constructivos y pasos de instalaciones, dando continuidad al aislante y evitando los posibles puentes térmicos y/o acústicos.

Las lanas de vidrio y de basalto constituyen actualmente más del 50% de la demanda de los aislantes, el resto de los aislantes son poliuretanos, poliestirenos y en menor medida otros productos como celulosa, vermiculita, etc.

Forma de comercialización

Las lanas minerales o lanas de basalto se presentan en diferentes formatos en el mercado, como mantas, rollos, paneles, etc. El tejido de basalto está producido íntegramente con hilos de basalto, obtenidos de la fusión a alta temperatura de rocas basálticas, que unidos forman una tela o trama completamente plana, se extienden tanto en la dirección de urdimbre como la de trama consiguiendo así diferentes acabados como la sarga o el tafetán.

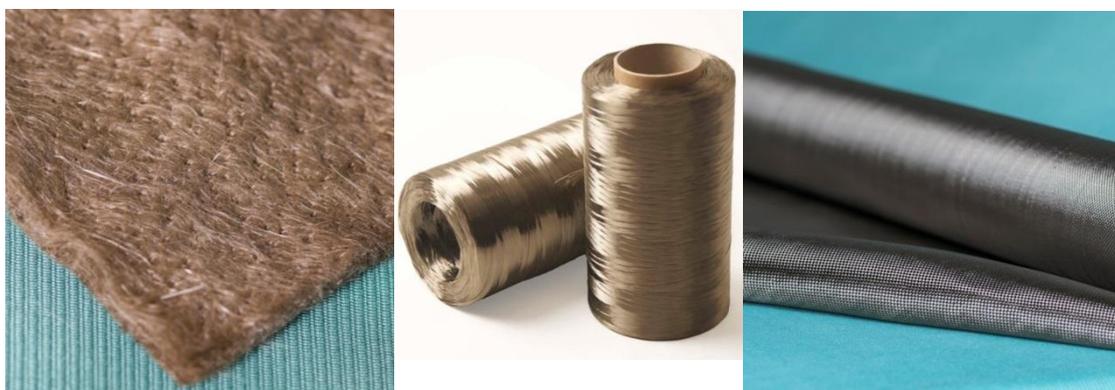


Fig. 10: a) lana de basalto, b) hilo de basalto y c) tejido de basalto o geotextil.

Varillas o Barras corrugadas de basalto

Las varillas de basalto nacen de la fusión de fibras de basalto, resina epoxy con poliéster usando el proceso de pultrusión (ver más adelante). Las varillas de basalto no se oxidan, son más ligeras y fuertes que el acero, además, son incombustibles, no tóxicas, ecológicamente más sostenible al ser un material natural. Se emplean en el sector de la construcción debido a que poseen ciertas propiedades que hacen que su uso sea ventajoso respecto a los materiales tradicionales como el concreto o el acero. Los polímeros

reforzados con fibras son utilizados en diversos elementos estructurales como: losas, vigas, zapatas, muros de contención, entre otros.

Estas varillas mantienen todas las propiedades de las fibras que las hacen extraordinarias al compararlas con las varillas de acero. Entre las propiedades más relevantes tenemos:

1. Excelente resistencia a la corrosión y a los ambientes ácidos y alcalinos. Al ser 100% resistentes a la corrosión y al ataque de ácidos, los recubrimientos para minimizar la corrosión de las estructuras de hormigón reforzado con acero, se eliminan, trayendo como beneficio directo una reducción en los volúmenes de obras y por ende, de los costos de construcción.

2. Alta resistencia a la tensión, entre 1,000 a 1,350 MPa, comparada con los aceros de 400 y 500 MPa. La mayor resistencia a la tensión, permite utilizar varillas de menor calibre para las mismas condiciones de carga y fuerza del diseño de una obra civil.

3. Densidad específica de 1.9 a 2.1 g/cm³, menor a las barras de acero de 7.85 g/cm³. El menor peso específico trae como beneficio la reducción de los costes directos de obra tales como mano de obra, transporte, alquiler de maquinarias y equipos, instalación, etc.

4. Baja conductividad térmica y eléctrica.

5. Variedad de formas y diseños con posibilidad de moldeo en grandes piezas.

6. Bajo costo.

El corrugado de basalto es fabricado a base de fibras continuas de basalto y aglutinantes (epoxi y otras resinas orgánicas en combinación con varios componentes según tareas y condiciones específicas del uso posterior). Es un producto excelente para refuerzo de concreto, es ligero, de alta flexibilidad, de alta resistencia a la tracción, sin corrosión, pesa 4 veces menos que las barras de refuerzo de acero y su resistencia a la tracción es 3 veces mayor.

Las ventajas de las barras de corrugado de basalto en comparación con las de acero son:

1. Inerte a los ambientes agresivos (álcalis, ácidos y otros), ya que es prácticamente la misma roca elaborada a base de los últimos avances de tecnología. Lo que hace la corrosión interior del hormigón inexistente.

2. Las barras son resistentes de -70 a +200°C sin alterar sus características.

3. El límite de resistencia de rotura, como mínimo, es tres veces mayor al de acero (la característica principal para formar estructuras de hormigón).

4. El coeficiente de conductibilidad de calor es prácticamente 0%, de 60 hasta 110 veces menos que el mismo de acero.

5. El peso lineal de un metro del corrugado de basalto es cuatro veces menor que el del mismo peso de acero, lo que permite reducir el peso de las edificaciones hasta un 40%.

6. El corrugado del basalto es dieléctrico y diamagnético.

7. Material 100% ecológico y reciclable.

8. El precio del corrugado de basalto es muy competitivo, lo que reduce los costes de las estructuras de construcción.



Fig. 11: varillas de basalto.



Fig. 12: barras corrugadas de basalto.

Formas de comercialización

Las varillas de basalto se fabrican en diferentes longitudes: hasta 4000 m, en rollos, para los diámetros (\varnothing): 4, 5, 6, 8, 10 y 12 mm; longitudes hasta 12 m, para los diámetros (\varnothing): 14, 16, 18, 20, 22, 25 y 32 mm.

Descripción de la producción de fibras, varillas de basalto y sus derivados

El basalto extraído de las canteras, es puesto en una trituradora vertical de rodillos gemelos y reducido al tamaño de una nuez, luego es llevado hacia arriba por una cinta transportadora a una tolva, luego es tamizado y preparado para ir al horno. El proceso de

fabricación de las varillas y barras corrugadas de fibra de basalto, se puede dividir en dos partes, por un lado, la elaboración de las fibras y por otro lado la elaboración de la barra de refuerzo por combinación de las fibras con la resina. Por lo tanto, en primer lugar se describe la elaboración de las fibras, este proceso consta de tres etapas:

1. Fusión, la materia prima molida se almacena en silos, y a través de una estación de carga y de un sistema transportador, se conduce hasta la zona de alimentación del horno principal. En este, se añade el material en cantidades controladas, y se produce la fusión a una temperatura de entre 1200 y 1600°C en un periodo que varía entre 4 y 6 horas, dependiendo de la composición de la roca. El horno empleado es similar al usado para la fundición de hierro, el aire es previamente calentado, pero no así el gas, que fluye continuamente en dirección opuesta a la del aire caliente para equilibrar la distribución del calor. Cuando el basalto adquiere el estado líquido, se agrega carbonato de calcio (CaCO_3) y carbonato de calcio y magnesio ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), con esto se consiguen fibras más finas y en mayor cantidad.

2. Obtención de la fibra, una vez fundido el material, la masa de basalto es vertida en moldes de hierro o de arena y, cuando la colada es retirada del molde, se lleva a un segundo horno conocido como horno de mantenimiento u horno de recocido. Este es un horno ancho y relativamente somero, con un calentador de gas a un costado. Las coladas son colocadas del lado caliente, el piso del horno está construido según los lineamientos de una cinta transportadora, de modo que la colada pasa gradualmente del lado caliente al más frío. La cinta transportadora es movida por un motor eléctrico que es apagado con frecuencia durante media hora por si la colada se mueve con demasiada rapidez. Todo el proceso de recocido lleva 60 horas, aproximadamente; la temperatura se mantiene a 900°C durante las primeras 2 o 3 horas, luego la temperatura desciende. El periodo de enfriamiento es de 36 horas, generalmente; pero puede variar de acuerdo con la naturaleza del basalto. En este horno se busca estabilizar la temperatura de la masa, con el objetivo de que no se rompa la fibra en el proceso de hilado.

3. Bobinado, a la salida del horno de mantenimiento se hará pasar a la masa por un sistema de hilado en caliente; la masa pasa por una placa agujereada en caliente (1250-1300°C) formando hilos con diámetros de décimas de milímetro; mediante un proceso controlado de estiramiento y enfriamiento se le aporta las propiedades mecánicas. Una vez obtenidas las fibras, se le añaden componentes orgánicos que le aportan la protección necesaria para poder trabajar con las fibras en los procesos siguientes. Finalmente, las fibras forman hebras y mediante una estación tensora se procede al enrollado de estos.

En segundo lugar, mediante el proceso de pultrusión, se elaborarán las varillas y barras de refuerzo; este es un proceso continuo donde las fibras pasan por los diferentes elementos que conforman el proceso:

1. *Dispensador de refuerzo*, consta de estanterías donde se sitúan las fibras de basalto, generalmente agrupadas en filamentos continuos.
2. *Impregnador de resina*, las fibras se sumergen en un baño de resina y aditivos necesarios.
3. *Dado de preformado*, una vez saturados completamente, se dirigen al dado de preformado, que sirve para eliminar el exceso de resina y dotarle de la posición deseada.
4. *Dado de pultrusión*, en él se produce el perfil final, se trata de una matriz de acero o cerámica que se calienta. El calor da lugar a una reacción exotérmica que pone en marcha el proceso de polimerización (endurecimiento) de la resina.
5. *Dispositivo de tiro*, se sitúa en el espacio entre el dado de pultrusión y el dispositivo de tracción y generalmente se basa en un mecanismo de rodillos, en este dispositivo el producto se enfría.
6. *Dispositivo de corte*, se basa en un dispositivo que previa programación corta el producto a la distancia deseada.

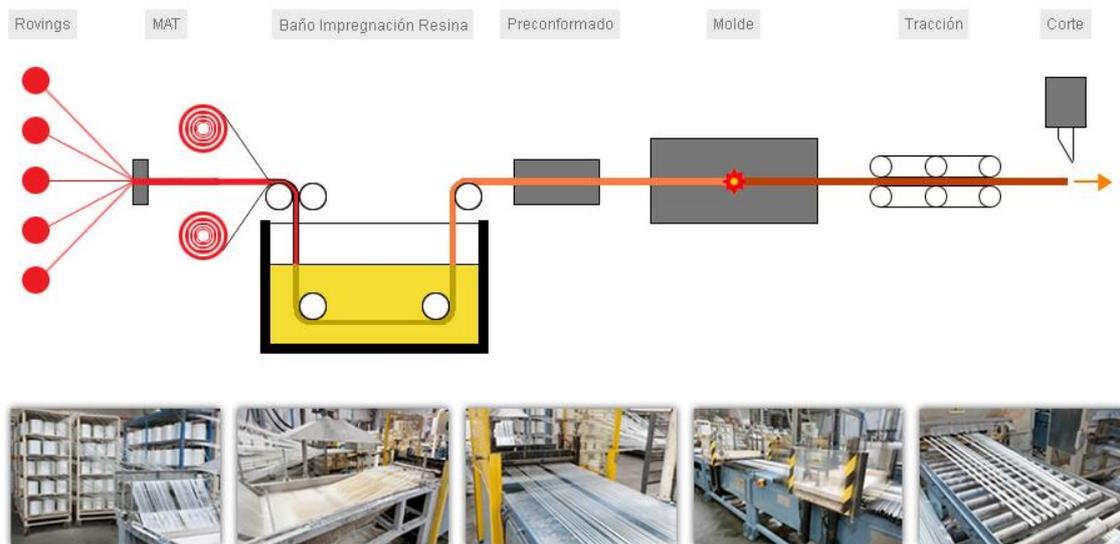


Fig. 13: proceso de pultrusión.

Este proceso permite obtener productos con un alto contenido de fibra, entre 60 y 80% en volumen, con una distribución homogénea de fibras en la sección transversal de la barra (Almerich, 2010).

Este procedimiento se caracteriza por: a) equipo económico; b) producción continua; c) alta velocidad de producción; d) versatilidad de formas; e) posibilidad de

obtener grandes longitudes; f) selección direccional de propiedades y; g) buen acabado superficial.

Se pueden obtener: perfiles, rejilla de fibra, escalones, barandas, bandejas portables, sistemas de drenaje (canaletas y rejillas), fibro-barras para construcción, chapas, celdas electrolíticas, escaleras marineras, cercos, postes, torres de enfriamiento y sistemas estructurales.

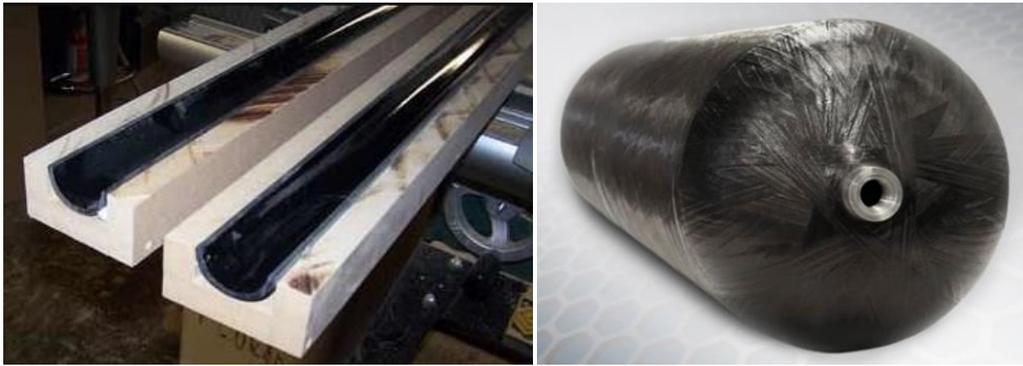


Fig. 14: a) tubo de basalto y b) bomba o contenedor de basalto.

CONCLUSIONES

El basalto constituye un recurso de amplias reservas en la provincia, se utiliza principalmente en la construcción civil como agregado pétreo para la fabricación de hormigones y mezclas asfálticas, y en menor medida, como material de revestimiento rústico y en empedrados de rutas y calles.

Actualmente, a la totalidad del basalto extraído de las canteras neuquinas no se le otorga valor agregado.

La utilización *in situ* de materias primas, basalto predominantemente y, carbonato de calcio, carbonato de magnesio, arcillas, caolines y bentonita en menor medida, constituye un aporte no siempre aprovechado para desarrollar la producción de los recursos minerales no metalíferos provinciales. Por un lado, la cercanía de los insumos a las plantas de producción, constituye un aspecto significativo en cuanto a la reducción de costos de flete y, por otro, la abundancia de recursos geológicos puede constituir un incentivo para la instalación de industrias afines, con el consiguiente aporte para el desarrollo regional.

El basalto es una roca impermeable, tiene excelentes propiedades aislantes y una gran protección térmica, además no conduce la electricidad y puede ser usado como

aislante eléctrico. Adicionalmente no tiene propiedades tóxicas, es ignífugo y anti explosivo.

Las fibras de basalto son materiales más resistentes que las fibras de acero o la fibra de vidrio en tensión. Además, estas fibras son mucho más baratas, son ecológicas, ya que en su producción se utiliza un 70% menos de energía y, además, la materia prima son rocas volcánicas reciclables.

La demanda mundial de la lana y fibras de basalto creció en los últimos años, se espera que este mercado crezca en los próximos años debido a que este producto es clave para el desarrollo de la arquitectura sustentable. El principal proveedor de lana de basalto a Argentina, es Estados Unidos, seguido de Brasil; la única empresa de origen nacional productora de lanas de basalto es Térmica San Luis S.A., cuya planta está ubicada en la provincia de San Luis.

BIBLIOGRAFÍA

- ✦ Arslan (M.E.). 2016. Effects of basalt and glass chopped fibers addition on fracture energy and mechanical properties of ordinary concrete: CMOD measurement. *Construction and Building Materials* 114, 383-391.
- ✦ Branston (J.), Das (S.), Kenno (S.Y.), Taylor (C.). 2016. Mechanical behaviour of basalt fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials* 124, 878-886.
- ✦ Cáceres (J.M.); García Hernández (J.E.) y Rincón (J.M.). 1996. Caracterización de fibras en forma de lana de roca para aislamiento obtenidas a partir de basaltos canarios. *Materiales de construcción*, Vol. 46, N° 242-243.
- ✦ Ciccioli (S.E.). 2017. Caracterización geológica y ambiental del área de Eldorado, provincia de Misiones. Aptitud de los materiales geológicos para su uso cerámicos y otros alternativos. Tesis doctoral, UNLP, pág.: 172.
- ✦ Cotec. 2014. Textiles técnicos. España, pág.: 157.
- ✦ Danieli (J.C.), Casé (A.M.), Leanza (H.A.) y Bruna (M. A.). 2011. Minerales y rocas industriales. En Leanza (H.), Arregui (C.), Carbone (O.), Danieli (J.C.) y Vallés (J.) (eds.) *Relatorio Geología y Recursos Naturales de la provincia del Neuquén*, 18° Congreso Geológico Argentino, Recursos Minerales 62, Buenos Aires.
- ✦ Dirección General de Minas y Geología, Subsecretaría de Industria, Ministerio de Industria. 2017. *Minas y geología, Misiones*, pág.: 17.

- ✦ Dong (J.F.), Wang (Q.Y.), Guan (Z.W.). 2017. Material properties of basalt fibre reinforced concrete made with recycled earthquake waste *Construction and Building Materials* 130, 241-251.
- ✦ Fenu (L.), Forni (D.), Cadoni (E.). 2016. Dynamic behaviour of cement mortars reinforced with glass and basalt fibres. *Composites Part B* 92, 142-150.
- ✦ Galán (E.) y Aparicio (P.). 2006. Materias primas para la industria cerámica. <https://www.researchgate.net/publication/233911019>.
- ✦ Hevia (R.). 2006. Materias primas no convencionales en cerámica. Ed.: Fundación EMPREMIN, Córdoba, pág.: 80.
- ✦ High (C.), Seliem (H.M.), El-Safty (A.), Rizkalla (S.H.). 2015. Use of basalt fibers for concrete structures. *Construction and Building Materials* 96, 37-46.
- ✦ Hinostroza Yucra (J.J.). 2018. Estudio del comportamiento estructural de vigas de concreto reforzadas con varillas de basalto. Maestría en Ingeniería civil, Pontificia Universidad Católica del Perú, pág.: 168.
- ✦ Kizilkanat (A.B.), Kabay (N.), Akyüncü (V.), Chowdhury (S.), Akça (A.H.). 2015. Mechanical properties and fracture behavior of basalt and glass fiber reinforced concrete: An experimental study. *Construction and Building Materials* 100, 218-224.
- ✦ Lapena (M.H.), Marinucci (G.), de Carvalho (O.). 2012. Utilização da fibra de basalto em aplicações estruturais, revisão e propostas de aplicação. 20º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Joinville, SC, Brasil, 5051-5069.
- ✦ Madsen (L.). 2018. Influencia de la mineralogía, textura y grado de alteración de rocas volcánicas en su comportamiento como agregado en hormigón. Tesis, UNS, Bahía Blanca.
- ✦ Moraño Rodríguez (A.J.) y Guillén Viñas (J.L.). 2010. Enfibrado de los materiales de construcción. En: VIII Jornadas Iberoamericanas de Materiales de Construcción, Lima, Perú.
- ✦ Ólafsson (H.), Þórhallsson (E.). 2009. Basalt fiber bar, Reinforcement of concrete structures. Reykjavik University, pág.: 12.
- ✦ Puche Riart (O.), García de Miguel (J.M.). 1991. Rocas volcánicas empleadas en la construcción. *Roc Máquina*, 11-19.
- ✦ Sim (J.), Park (Ch.), Moon (D.Y.). 2005. Characteristics of basalt fiber as a strengthening material for concrete structures. *Composites: Part B* 36, 504-512.
- ✦ Thorhallsson (E.), Erlendsson (J.Ó.), Erlendsson (Ö.). 2013. Basalt fiber introduction. Reykjavik University & Iceland GeoSurvey.

✦ Torres Vegara (J.). 2019. Estudio comparativo de barras corrugadas de diferentes materiales para armar hormigón, Tesis Universitat Politècnica de València, ETS de Ingeniería de Edificación, pág.: 86.

✦ Valles Pla (P.). 2013. Estudio comparativo entre barras corrugadas de acero y de basalto para su uso en edificación. Tesis Universitat Politècnica de València, ETS de Ingeniería de Edificación, pág.: 173.

✦ Weissbrod (P.). 1961. Basalto fundido, desvitrificación de basaltos nacionales. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.

