

Materiales volcánicos

Utilización en construcción y comportamiento geotécnico de los materiales volcánicos de Canarias

Alejandro Lomoschitz Mora-Figueroa; Dr. en Ciencias geológicas. Departamento de Ingeniería Civil Escuela de Ingenierías Industriales y Civiles, EIIIC. Área de Ingeniería del Terreno. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

José Miguel Medina Pérez; Geólogo. Director técnico de ESO CAN SL, Estudios de Suelos y Obras Canarias S.L.

Las erupciones recientes de Canarias han puesto en primer plano la necesidad de estudios geológicos y geotécnicos que permitan llevar un control de las emisiones volcánicas (gases, coladas lávicas y piroclastos) durante y con posterioridad a la erupción, y poder así establecer criterios constructivos concretos, fiables desde un punto de vista técnico y viables económicamente, de cara a la vigilancia y reconstrucción de las zonas afectadas.



Figura 1. Erupción del volcán Tajogaite, en el Parque natural de Cumbre Vieja, en el sur de la isla de La Palma, en la madrugada del 20 de septiembre de 2021. Son visibles dos bocas eruptivas que expulsan al aire gases y piroclastos, y las coladas lávicas que avanzan ladera abajo.

Las erupciones más recientes acaecidas en las Islas Canarias han sido dos: 1) La erupción submarina de El Hierro de 2011-12 [1] (monte submarino Taoro), ocurrida al sur de la isla, con unos 329 millones de metros cúbicos de materiales emitidos y una duración de 148 días (10 de octubre de 2011 al 5 de marzo de 2012); y 2) la erupción de La Palma de 2021 [2], en la zona del parque natural de Cumbre Vieja (volcán Tajogaite). Con 85 días de actividad (19 de septiembre al 23 de diciembre de 2021) y 1219 hectáreas arrasadas, el volcán produjo la destrucción de 2988 edificaciones, 72 km de carreteras y 369 hectáreas de cultivos, y la evacuación de unas 6800 personas (Fig. 1).

Este artículo establece un marco general sobre la utilización de los materiales volcánicos, describe el comportamiento geotécnico habitual de estos materiales, ya sea en zonas de talud como en zonas de cimentación de estructuras y, por ende, pretende servir de punto de partida para desarrollar procedimientos constructivos concretos, acordes con la naturaleza y comportamiento propios de estos materiales.

I. Introducción

La utilización de las rocas volcánicas queda restringida a zonas muy concretas en nuestro país. Así su empleo es extensivo en las islas Canarias, constituídas principalmente por rocas volcánicas, y

muy restringido en la Península Ibérica donde sólo aparecen en la zona de Olot, Campos de Calatrava, Murcia, Valencia y algún punto más. No obstante, en la Tierra existen zonas extensas con formaciones volcánicas, por ejemplo, en África, Centro y Sudamérica y las islas de Asia oriental (por ejemplo: Japón, Filipinas e Indonesia). [3]

Las rocas volcánicas muestran características particulares, debido a las diferentes condiciones de formación del magma, de su emisión y depósito. Con frecuencia los terrenos volcánicos son heterogéneos y presentan grandes variaciones locales que dificultan su estudio.

La Tabla 1 resume los litotipos de las Islas Canarias [4], también aplicables a las islas atlánticas próximas (Madeira, Azores y Cabo Verde) en términos generales.

En la citada edición de GETCAN-011 (Guía para la planificación y realización de estudios geotécnicos para la edificación en la Comunidad Autónoma de Canarias) [4] también se presentan valores de otras propiedades geomecánicas como la velocidad de transmisión de ondas ultrasónicas, índice de carga puntual, tracción indirecta y módulos de Young (Tabla 2). Para los piroclastos cementados (compactados o soldados) además se aportan valores promedio de pesos específicos, porosidad y presión de colapso (Tabla 3).

Tabla 1. Litotipos de las Islas Canarias, extraído de GETCAN-011 (Gobierno de Canarias, 2011).

ROCAS	BASALTOS (B)	OLIVINICO-PIROXÉNICOS (OP)	VACUOLARES (V)	B-OP-V
			MASIVOS (M)	B-OP-M
		PLAGIOCLÁSICOS (PL)	VACUOLARES (V)	B-PL-V
			MASIVOS (M)	B-PL-M
		AFANÍTICOS (AF)	VACUOLARES (V)	B-AF-V
			MASIVOS (M)	B-AF-M
	ESCORIÁCEOS (ES)		B-ES	
	TRAQUIBASALTOS (TRQB)		TRQB	
	TRAQUITAS (TRQ)		TRQ	
	FONOLITAS (FON)		FON	
IGNIMBRITAS (IG)	SOLDADAS		IG-S	
	NO SOLDADAS		IG-NS	
PIROCLASTOS	PIROCLASTOS BASÁLTICOS	LAPILLI (LP)	SUELTO (S)	LPS
			CEMENTADO (T)	LPT
		ESCORIAS (ES)	SUELTO (S)	ESS
			CEMENTADO (T)	EST
	CENIZAS BASÁLTICAS (CB)	SUELTO (S)	CBS	
		CEMENTADO (T)	CBT	
	PIROCLASTOS SÁLICOS	PÓMEZ (PZ)	SUELTO (S)	PZS
			CEMENTADO (T)	PZT
		CENIZAS SÁLICAS (CS)	SUELTO (S)	CSS
			CEMENTADO (T)	CST



Materiales volcánicos

Tabla 2. Propiedades geomecánicas de las rocas volcánicas de Canarias, valores promedio y litotipos de GETCAN-011 (Gobierno de Canarias, 2011), siglas de litotipos de la Tabla 1.

Propiedades / Litotipos	BOMP	BOPV	BPLV	BPLM	BAFV	BAFM	BES	TRQB	TRQ	FON	IGNS	IGS
Peso específico aparente (KN/m^3)	27	22	23	24	20	26	21	24	24	24	16	21
Velocidad ondas ultrasónicas (m/s)	5040	4435	3052	4071	4752	4752	2964	4513	4485	4858	2592	3649
Índice carga puntual $I_{s_{90}}$ (MPa)	7	5	2	5	5	7	2	6	5	5	2	4
Tracción indirecta, E. Brasileño (MPa)	48	28	22	25	22	50	23	47	42	45	22	33
Resistencia compresión simple, q_u (MPa)	114	48	36	51	31	104	31	75	95	119	16	48
Módulo Young dinámico (GPa)	69	44	21	40	31	59	20	50	49	58	13	29
Módulo Young estático (GPa)	31	16	25	—	17	65	4	51	33	48	8	50

Tabla 3. Propiedades geomecánicas de piroclastos cementados o trabados (T) de Canarias, valores promedio y litotipos de GETCAN-011 (Gobierno de Canarias, 2011), siglas de litotipos de la Tabla 1.

Propiedades / Litotipos	CST	EST	LPT	PZT
Densidad de partículas (KN/m^3)	25	28	29	25
Peso específico aparente (KN/m^3)	12	12	12	7
Peso específico aparente seco (KN/m^3)	11	12	13	7
Porosidad (%)	57	58	54	72
Resistencia a compresión simple (MPa)	1	2	2	1
Presión isotropa de colapso (MPa)	3	7	7	1
Módulo Young (MPa)	297	240	412	18

2. Utilización y comportamiento de los piroclastos basálticos

Son materiales fragmentarios de carácter granular, vesiculares, de tamaños variables, color negro o rojizo, composición básica y textura vítrea, porfídica o criptocristalina. Los piroclastos de basanita y traquibasalto, próximos en composición, tienen características y comportamiento similares. Generalmente se encuentran sueltos o poco compactados y son fácilmente ripables, si bien en ocasiones están soldados.

Son característicos los conos volcánicos de piroclastos que resaltan en el paisaje, por su emisión central, carácter puntual y morfología cónica. No obstante, alrededor de ellos también se extienden mantos de piroclastos, dispersados por el viento, que pueden alcanzar espesores métricos (Fig. 2).

Los piroclastos reciben distinta denominación según el tamaño de las partículas: cenizas (<2 mm), lapilli (2 a 64 mm), escorias o bombas (>64 mm) según tengan forma angulosa o redondeada.



Figura 2. Alineación de conos volcánicos de piroclastos en el Parque Natural de Timanfaya, Lanzarote.

Tabla 4. Principales parámetros geotécnicos de piroclastos basálticos. Pesos específicos sólido (δ_s) y seco (δ_d), ángulo de rozamiento (ϕ), cohesión (c), módulo de elasticidad (E), Módulo de Poisson (ν) e índice CBR. ⁽¹⁾ Lomoschitz et al. (2006) [5]; ⁽²⁾ Malheiro et al. (2010) [6].

Litología / parámetros	δ_s (KN/m ³)	δ_d (KN/m ³)	ϕ (°)	c (MPa)	E (MPa)	ν	CBR (%)
Escorias	24	–	38	0,03	113	0.32	–
Lapilli Canarias	23-25	8-12	34-37 ⁽¹⁾ 30-45 ⁽²⁾	0,14-0,18 ⁽¹⁾ 0-0,1 ⁽²⁾	240	0.3	–
Lapilli Madeira ⁽²⁾	25-29	12-14	29-50	0-0,1	–	–	40-96
Lapilli Azores ⁽²⁾	20-22	–	–	–	–	–	42-73

Los depósitos de piroclastos basálticos están compuestos principalmente de lapilli y escorias. En detalle, las partículas tienen aristas marcadas y forma angulosa, con multitud de huecos esféricos (vesículas o vacuolas) que llegan a alcanzar el 36% del volumen total, de manera que el conjunto es altamente poroso.

Lapilli y escorias se emplean como rellenos filtrantes en muros y pavimentos, en jardinería y agricultura. Por sus propiedades higroscópicas, que retienen la humedad, son empleadas en el cultivo de viñedos. Los lapilli se emplean como árido natural o triturado en la fabricación de bloques de hormigón y se han empleado extensamente en capas granulares de carreteras. Sin embargo, la normativa actual de firmes limita su uso, a cambio de la zahorra artificial, lo que no impide su utilización en pistas y caminos forestales.

En la Tabla 4 se han reunido los principales parámetros geotécnicos de escorias y lapilli, cuyos valores indican las siguientes particularidades respecto a un material granular convencional:

- 1) La elevada porosidad varía entre 36 y 58 %, según se consideren sólo los poros intrapartícula (porosidad cerrada) o también los interpartícula (porosidad abierta), que justifica los bajos valores de peso específico seco (δ_d) respecto al peso específico de los sólidos (δ_s).
- 2) Los valores variables y elevados del ángulo de rozamiento interno se deben a las formas irregulares y picudas de las partículas.
- 3) Estrictamente no son materiales cohesivos por su carácter granular y al estar sueltos. Los valores de cohesión obtenidos son atribuibles a cierta trabazón o empaquetamiento que existe entre partículas.
- 4) El particular comportamiento en los taludes se debe a las propiedades ya aludidas. Los ángulos de talud a corto plazo e intactos son elevados, de 70-85°, mientras que a largo plazo o al ser removidos adoptan los ángulos de reposo, 35-40°

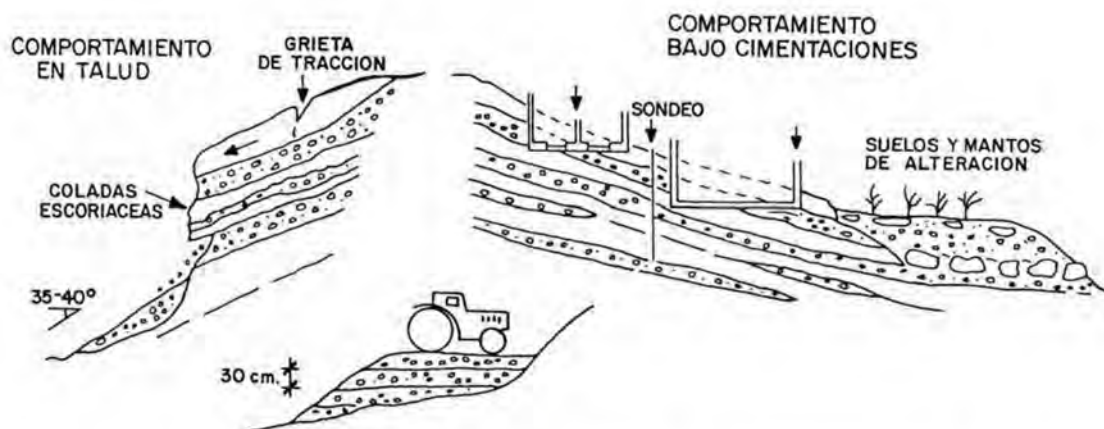


Figura 3. Comportamiento de los niveles de piroclastos en talud, bajo cimentaciones y en terraplenes. [7]

Materiales volcánicos

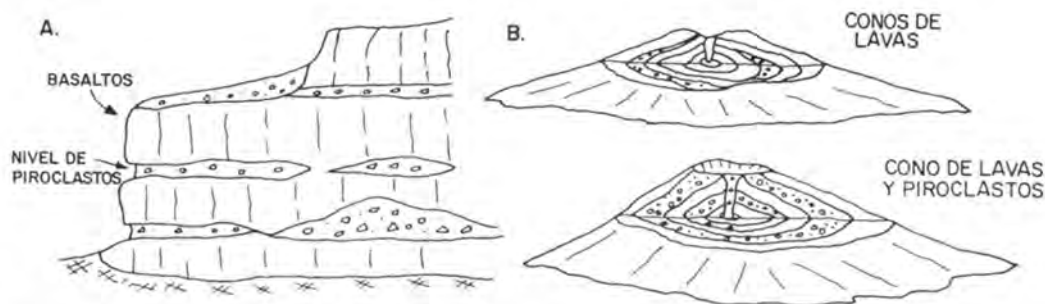


Figura 4. (A) Sucesión de coladas basálticas horizontales. (B) Cono volcánico con predominio de lavas y cono volcánico de coladas basálticas y piroclastos en alternancia. [7]

Además de formar paquetes o mantos masivos, los piroclastos con frecuencia se alternan con coladas, como es el caso de los conos de lavas y piroclastos basálticos. El soporte estructural de estos conos se debe a los paquetes de coladas. Los taludes admiten relaciones de pendiente 1H:5V siempre que la socavación de los niveles de piroclastos no los descalce. En el diseño de grandes taludes conviene estudiar la estabilidad del conjunto, pues se pueden deslizar y desprender grandes bloques (Fig. 3).

El comportamiento bajo las cimentaciones puede resultar problemático, pues cuando los apoyos coinciden con los niveles de piroclastos son previsible asentamientos importantes, las zapatas se hundirán y las losas de cimentación trabajarán a flexión en esos puntos. Por eso es necesario que el reconocimiento del terreno permita reconstruir la disposición espacial de estos niveles lo mejor posible; e incluso son recomendables las comprobaciones puntuales una vez excavado el terreno, con el fin de rellenar con hormigón las zonas flojas. Por último, los rellenos de terraplén requieren un control específico de la compactación, para romper las aristas que traban las partículas. [7]

3. Utilización y comportamiento del basalto masivo

El basalto masivo es la roca propia de las coladas lávicas de basalto, ya sean homogéneas y densas o bien escoriáceas, porosas e irregulares.

Es la roca volcánica más extendida, es densa y oscura, de color negro a gris oscuro estando fresco y castaño oscuro o rojizo cuando se altera. La basanita y el traquibasalto se incluyen en este grupo, por su composición parecida y comportamiento similar al basalto. Sus minerales esenciales son la plagioclasa cálcica y un piroxeno, generalmente augita. Puede tener olivino, piroxeno o plagioclasa, circunstancia que se utiliza para nombrar las diferentes variedades (basalto olivínico, piroxénico o plagioclásico). Tiene bajo contenido en sílice y alto en minerales ferromagnesianos. Su textura preferente es porfídica y es afanítica cuando el grano es fino.

En los macizos volcánicos antiguos suele disponerse en coladas horizontales en una sucesión monótona, con intercalaciones de piroclastos. En los conos volcánicos o estratovolcanes las coladas aparecen inclinadas y alternan con niveles de piroclastos, en proporciones variables (Fig. 4).

	Ámbito	P. específico aparente (KN/m ³)	Resist. Comp. Simple .qu (MPa)
Basalto masivo	General ⁽¹⁾	25.1 – 27.2	–
	I. Canarias ⁽²⁾	24 - 27	61 - 114
	Tenerife ⁽³⁾	23 - 28	40 - 80
Basalto vacuolar	General ⁽¹⁾	13.5 – 18.9	–
	I. Canarias ⁽²⁾	20 – 23	31 – 48
	Tenerife ⁽³⁾	13 - 23	< 40

Tabla 5. Densidad y resistencia a compresión simple del basalto, intervalos de valores frecuentes.

⁽¹⁾ Blyth y de Freitas, 1986 [8]; ⁽²⁾ Gobierno de Canarias, 2011 [4]; ⁽³⁾ González de Vallejo et al., 2006. [9]

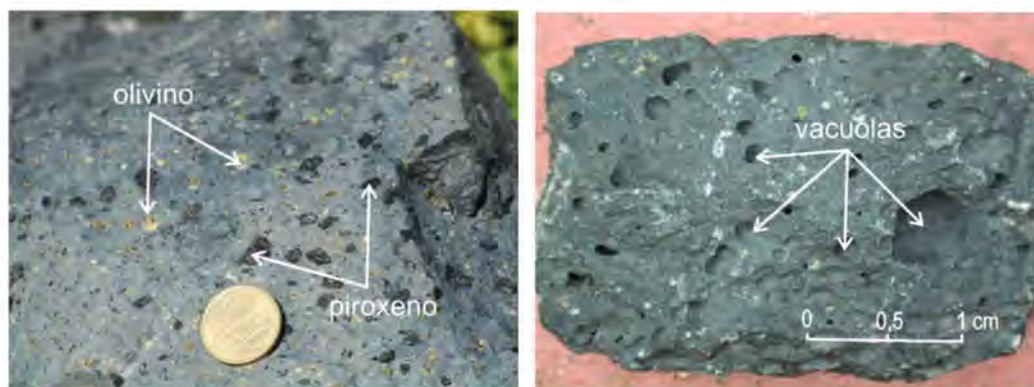


Figura 5. Muestras de basalto masivo (izquierda) olivínico-piroxénico y basalto vacuolar (derecha).

La disyunción columnar por enfriamiento es característica común de las coladas basálticas, con juntas paralelas y hexagonales, normales a la colada. Ocasionalmente presentan disyunción esferoidal por meteorización, propia de rocas ígneas masivas.

En ocasiones el basalto incluye vacuolas (basalto vacuolar) que son huecos esféricos de varios milímetros, dejados por burbujas de gas del magma original (Fig. 5). La presencia de vacuolas disminuye la densidad de la roca (Tabla 5). El basalto masivo denso tiene 24-27 KN/m³ de densidad y el basalto vacuolar 20-23 KN/m³ (Gobierno de Canarias, 2011). En la Tabla 5 se dan los rangos de valores del peso específico y de la resistencia a compresión de basaltos masivos y vacuolares.

Esta roca es utilizada en mampostería por su fácil labra y buena resistencia. Excelente como árido por su superficie rugosa con adherencia magnífica para el cemento y el asfalto. Como adoquinado es resistente pero algunos tipos se pulen excesivamente y dan lugar a superficies resbaladizas. Se emplea en chapado y ornamentación de edificios. Dada su dureza, densidad y facilidad de troceado resulta buena roca para puertos. Ejemplo clásico de esta utilización, son los diques holandeses, construidos a base de basaltos traídos de Inglaterra.

Por su resistencia al desgaste, adherencia y escasa absorción, machacado es un material de buen uso en carreteras tanto como material de base, subbase o rodadura, también es muy empleado para escolleras y rellenos de puerto.

En ferrocarriles es utilizada para balasto cuando la roca esta sana, para conformar el pedraplén bajo las traviesas. Es una de las rocas que para tal fin señala la norma de RENFE N.R.V. 3-4-0.0 [10].

Aunque roca impermeable su excesiva fracturación la hace desaconsejable como cierre de obras hidráulicas. Su alteración, a favor de fracturas, da lugar a zonas arcillo-arenosas de color rojizo, que engloban bloques de roca más o menos sana. En conjunto es atacable con máquina sin necesidad de explosivo cuando el macizo está meteorizado.

En general es un material con alta capacidad portante para cimentar estructuras. Los problemas geotécnicos provienen de: 1) la heterogeneidad espacial de algunas coladas y de los piroclastos intercalados, 2) la presencia de juntas verticales y abiertas, 3) la frecuente aparición de huecos y cuevas, que ocasionalmente son tubos de gran tamaño y 4) niveles de escorias

4. Cuevas y tubos volcánicos

Con relativa frecuencia, las coladas de lavas fluidas, en general de composición basáltica o basanítica, dejan en su interior cuevas que pueden ser desde pequeñas cavidades, de 0,5 a 1 metro, a grandes cavernas de decenas de metros de diámetro, e incluso tubos volcánicos, que se caracterizan por su trayectoria lineal y longitudes de decenas a centenas de metros, e incluso de varios kilómetros.

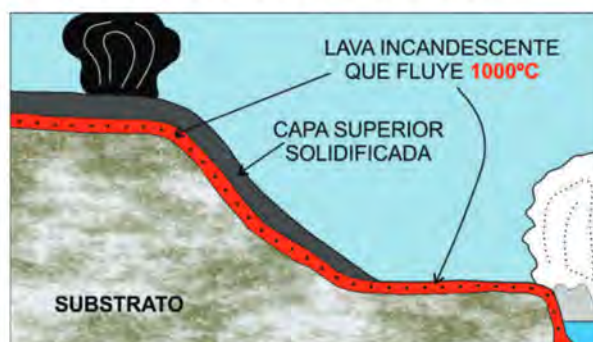


Figura 6. Esquema de la formación de un tubo volcánico.

Materiales volcánicos



Figura 7. Canales lávicos del volcán Tajogaite, Parque natural de Cumbre Vieja, La Palma.

La existencia de cavernas en un terreno de cimentación de un edificio es un problema geotécnico muy serio, para el cual los equipos de investigación al uso y los procedimientos habituales no permiten un análisis eficiente de cada caverna. En regiones volcánicas, donde pueden aparecer



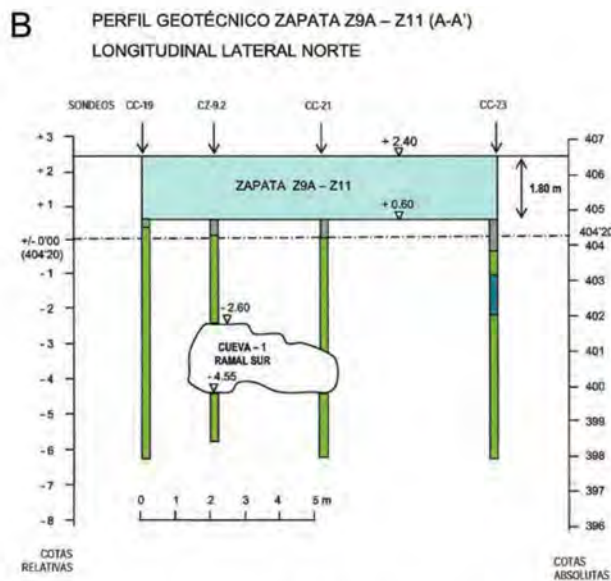
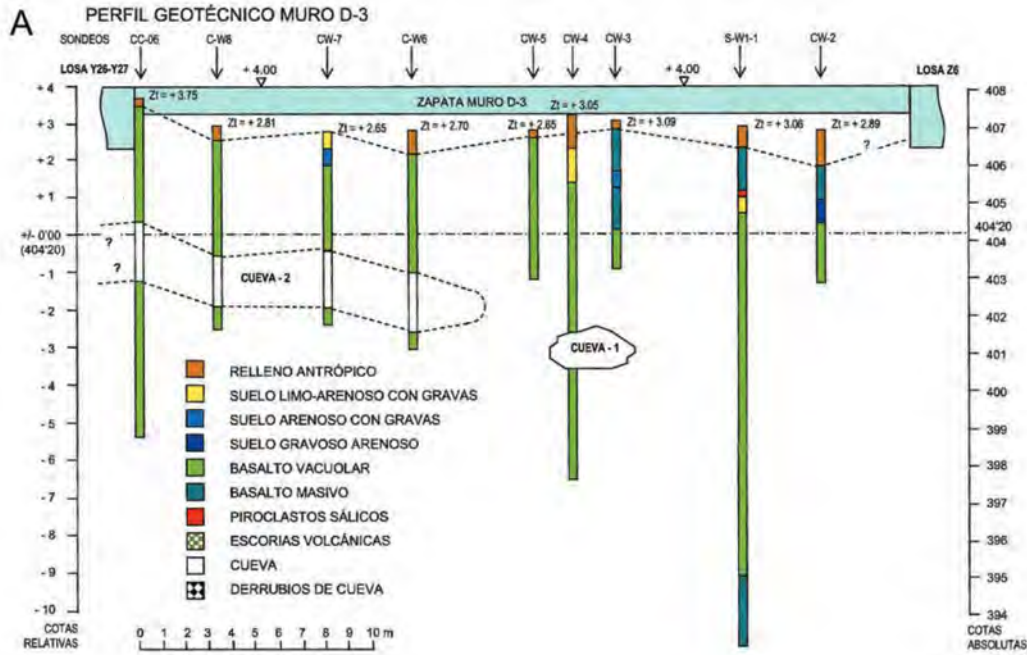
Figura 8. Tubo volcánico del volcán La Corona, Lanzarote.

cavernas, es una practica usual realizar perforaciones con barrenas o de reconocimiento geotécnico de 6-8 m de profundidad en el centro de cada cimentación, con la intención de verificar que, a esas profundidades, no hay ninguna caverna. En caso de detectarse una caverna, se suele aumentar el nº de sondeos mecánicos al menos a 4, coincidiendo con las esquinas de la cimentación, o bien cubriendo uniformemente la zona potencialmente peligrosa. Una vez confirmada la presencia de cualquier caverna deben ser adoptadas las medidas constructivas adecuadas para su tratamiento [11].

Un tubo volcánico es una estructura común en coladas basálticas o basaníticas y se forma cuando la lava fundida que discurre por un terreno entra en contacto con el aire frío de la superficie (Fig. 6, Fig. 7). Su capa superior tiende a perder temperatura y se solidifica, creando una especie de costra aislante. Esto permite que la lava fundida siga fluyendo por el interior del terreno, dejando una cavidad lineal tras de sí, es decir, un tubo volcánico (Fig. 8).

En algunos casos, no se llega a formar un techo, o este no se estabiliza y se desploma con el cese de la actividad volcánica. En este caso, se obtiene un "tubo volcánico sin techo" que se denomina canal lávico, y que se clasifica como una cavidad subaérea.

El riesgo por la existencia de cuevas o tubos volcánicos en el subsuelo, que podrían quedar bajo



CONTROL GEOTÉCNICO DE LA CIMENTACIÓN
Obra: Facultad de Bellas Artes, La Laguna

SERVICIO DE INGENIERÍA DEL TERRENO - UI PGC

Figura 9. Perfiles geotécnicos realizados a partir del reconocimiento del subsuelo para localizar tubos volcánicos mediante sondeos mecánicos cortos (6-10 m), ejecutados durante la construcción de la Facultad de Bellas Artes, La Laguna, en 2009. (A) perfil bajo la zapata de un muro corrido y localización de dos cuevas; (B) perfil bajo una gran zapata (6x10 m²) y localización del ramal sur de la cueva I, de 4 m de ancho y 2 m de alto. [14]

Materiales volcánicos

Tabla 6. Terminología simplificada para denominar los piroclastos y rocas piroclásticas sálicas

Piroclastos sálicos	Sueltos	Cenizas (< 2mm). Pómez (2-64 mm).
	Compactos	Toba de cenizas (cinerita), toba de pómez (pumita), toba de cenizas y pómez (<i>ash & pumice tuff</i>). [ignimbrita no soldada, puzolana]*
Rocas piroclásticas	Aglomerado volcánico (mezcla consolidada de fragmentos o líticos), brecha volcánica (predominio de fragmentos angulosos). [ignimbrita soldada, <i>volcanic breccia</i>]*	

[...]* Términos alternativos

la cimentación de una estructura, radica en la posibilidad de desmoronamiento e incluso de desplome del techo de la cavidad. En este sentido, la problemática es similar a la de las cuevas kársticas, tan abundantes en la península Ibérica e Islas Baleares, propias de los macizos rocosos de calizas, dolomías o yesos. Pero, a diferencia de estos, en la mayoría de los casos son conductos aislados y siguen trayectorias rectilíneas de gran continuidad. Pueden presentar diámetros de dimensiones muy variables y el acceso a los tubos volcánicos resulta en general más difícil que en las cuevas kársticas, que presentan más ramificaciones.

Un ejemplo clásico es la Cueva de los verdes y los Jameos del agua al norte de Lanzarote, abiertos por el desplome parcial del techo de un amplio tubo volcánico [12], y que son puntos de interés turístico de gran belleza natural con un diseño peculiar del artista Cesar Manrique.

El tubo volcánico principal, de 6 km de longitud, surge de la base del volcán de la Corona y discurre por el subsuelo mediante un conducto lineal hacia la costa Este y se adentra 1,6 km bajo el nivel del mar actual [13]. La sección del tubo es amplia y alcanza los 25 metros de diámetro en algunas zonas.

Por otro lado, han aparecido tubos volcánicos en varias islas de Canarias. En Tenerife se han encontrado en numerosas obras de la capital, Santa Cruz de Tenerife; también en La Laguna (por ejemplo, bajo los cimientos de la Facultad de Bellas Artes, donde hubo que hacer un control específico de las cavidades, para reforzar adecuadamente el terreno, antes de apoyar las estructuras de cimentación) (Fig. 9) [14] y en multitud de

localidades menores. También son frecuentes en el sur de El Hierro y de La Palma, en Lanzarote, así como en Gran Canaria, pero con menor frecuencia.

Especial importancia tienen los numerosos tubos y canales lávicos que se originaron durante la erupción de La Palma de 2021 (Fig. 1, Fig. 7), que fueron filmados y que en su mayoría quedaron enterrados por las coladas y mantos de piroclastos posteriores a su formación.

5. Utilización y comportamiento de los piroclastos sálicos y las rocas piroclásticas

La emisión de magmas sálicos, ricos en sílice y de alta viscosidad, produce erupciones violentas, con una enorme variedad de piroclastos y coladas piroclásticas, que tienen una elevada proporción de fragmentos, en contraste con las coladas lávicas. Los magmas sálicos son frecuentemente de composición traquítica o fonolítica.

Existe una terminología muy diversa para denominar a estos materiales. De forma abreviada se pueden considerar los tipos de la tabla siguiente.

Los piroclastos sálicos sueltos (cenizas y pómez) son partículas ligeras y de colores claros (blanco, beige o amarillo pálido). Los niveles de cenizas son pulverulentos y los pómez muy porosos y ligeros, pues flotan en el agua.

Los piroclastos sálicos compactos (cinerita y pumita) están constituidos por piroclastos aglutinados, ya sean de cenizas, pómez o una mezcla de los dos (*ash and pumice*, en inglés) junto

Tabla 7. Valores geomecánicos de rocas piroclásticas sálicas de Canarias, extraído de GETCAN-011, Gobierno de Canarias (2011) [4], ⁽¹⁾ Rodríguez Losada et al. (2007a) [16], ⁽²⁾ Rodríguez Losada et al. (2007b) [17].

	Rocas	P. específico aparente δ (KN/m ³)	Resist. Comp. Simple qu (MPa)
Piroclastos sálicos compactos	Cinerita	12	1
	Pumita	7	1
Rocas piroclásticas	Ignimbritas no soldadas	16 9-23 ⁽¹⁾	16 14-29 ⁽¹⁾
	Ignimbritas soldadas	21 17-24 ⁽²⁾	48 10-130 ⁽²⁾

a una porción variable de fragmentos de roca, denominados líticos. El término "ignimbrita no soldada" ha venido a sustituir al término común "toba volcánica" (tuff en inglés) y se refiere a que las partículas de pómez no están aplastadas. Son rocas ligeras, blandas y de colores claros.

Un aglomerado volcánico es una mezcla cementada o soldada de fragmentos volcánicos. Hay autores que restringen el término a aglomerados de piroclastos básicos (spatter). Está

más extendido el término brecha volcánica para denominar las rocas piroclásticas provenientes de una colada piroclástica, que viene a resaltar la forma angulosa de los fragmentos. Estos aparecen englobados en una matriz de pasta y partículas más finas, e incluso minerales de neoformación (juveniles). Atendiendo a la génesis, en vez de aglomerado o brecha volcánica, se emplea el término ignimbrita soldada que es una roca de origen piroclástico, altamente cohesiva, cuyos fragmentos de pómez aparecen deformados

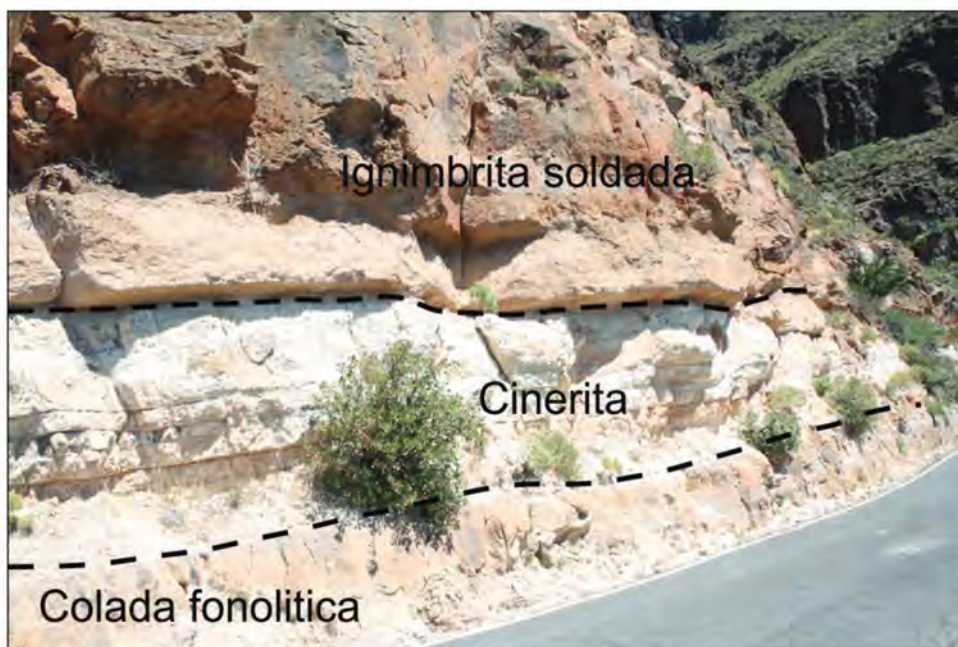


Figura 10. Paquete de 1.5 m de cineritas (toba de cenizas) de color blanco, intercalado entre coladas de ignimbrita soldada, gris rojiza, de composición fonolítica y una colada fonolítica en la base. Temisas, Gran Canaria (Foto de A. Lomoschitz).

Materiales volcánicos

Tabla 8. Propiedades de la fonolita del túnel de La Laja, Gran Canaria, ejecutado en 1997-98. (δ : peso específico o densidad; θ° : ángulo de rozamiento interno; c: cohesión; γ = coeficiente de Poisson; E: Módulo de Young).

δ (KN/m ³)	θ°	c (MPa)	γ	E (MPa)
25.4	60	3.14	0.26	20.607

dúctilmente, indican líneas de flujo y el conjunto está muy soldado térmicamente.

Es difícil establecer parámetros geotécnicos característicos para estos materiales [15]. Por un lado, cinerita y pumita son rocas muy ligeras y porosas, con densidades de 7 a 12 KN/m³ y resistencias en torno a 1MPa, es decir, son rocas blandas. Por otro lado, hay tal variedad de rocas piroclásticas que, en función de la composición y proporción de los líticos, la naturaleza de la matriz y el grado de soldadura, se obtienen valores muy diferentes.

La Tabla 7 reúne valores promedio del peso específico aparente y resistencia a compresión simple de rocas piroclásticas canarias.

La utilización de estos materiales se concreta en:

- 1) Las tobas de cenizas y pómez permiten la obtención de puzolana, materia prima del cemento Pórtland y de cementos especiales.
- 2) Hay ignimbritas soldadas de gran belleza y fácil labra, como es el caso de la Piedra de Arucas de Gran Canaria o la ignimbrita de Arico en Tenerife, empleadas como piedra ornamental [17].
- 3) Bloques de ignimbritas no soldadas y soldadas se han empleado en construcciones rurales para sillería y mampostería.

- 4) La baja resistencia de los piroclastos sálicos y la heterogeneidad general de los aglomerados los hacen inservibles como áridos para hormigones y de utilidad restringida para terraplenes.

6. Utilización y comportamiento de la fonolita y la traquita masivas

Proviene de coladas lávicas y domos de magmas sálicos, bajos en sílice, y tienen colores verdes, gris azulado y beige, con tonos desde oscuros hasta bastante claros.

La fonolita es una roca volcánica de grano fino, compuesta de feldespato potásico y feldespatoide, con textura porfídica (Figura 11-A). Es una roca muy impermeable y presenta una típica disyunción en lajas. Al golpearla produce un sonido característico (de phono: sonido, lithos: piedra), de ahí su nombre, fonolita.

Es una roca compacta, con valores promedio 24 KN/m³ de densidad y 119 MPa de resistencia a compresión simple [4].

En Canarias se emplea extensivamente, en forma de lajas para enchapados de pavimentos y paredes, pero sobre todo para obtener áridos de machaqueo empleados en hormigones, terraplenes,



Figura 11. (A) Muro enchapado con lajas de fonolita y (B) fachada con traquita de Tindaya, Campus de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (fotos de A. Lomoschitz).

capas de firme de carreteras, mezclas asfálticas y en escolleras de puerto.

El túnel de La Laja, Gran Canaria, atraviesa 1 Km de una colada de fonolita, cuyas propiedades se muestran en la Tabla 8.

El macizo presentaba 3 familias de discontinuidades, dos subverticales y otra subhorizontal, un RQD (Rock Quality Designation) promedio de 85 y RMR (Rock Mass Ratio) de 64. La continuidad de la colada fonolítica y el control de sus propiedades permitió pasar de una perforación en dos fases, avance y destroza, a una excavación a sección completa mediante jumbos robotizados [18].

La traquita es una roca sálica de grano fino a medio, compuesta por feldespato, piroxeno alcalino y anfíbol, de textura característica (traquita) en la que los feldespatos aparecen alineados. Tiene colores claros, de tonos grises, amarillentos o rojizos.

Es una roca de fragilidad media, con valor promedio 24 KN/m² de densidad y 95 MPa de resistencia a compresión simple [4].

Se ha utilizado como piedra de sillería y mampostería, pues se labra y corta bien. Las variedades de mayor calidad se emplean como roca ornamental, como la traquita de Tindaya, Fuerteventura (Figura 11-B). Los demás usos, para áridos y capas de firme, se ven restringidos a la extensión de las canteras. Estas rocas existen en las Islas Columbretes, en Jaspe (Vizcaya), en Jumilla (Murcia) y sobre todo en Canarias.

7. Otras rocas volcánicas

La riolita es la roca volcánica equivalente al granito y por tanto es de composición mineralógica similar: cuarzo, feldespato y un mineral oscuro, que puede ser biotita, anfíbol o piroxeno. También tiene en ocasiones material vítreo. Presenta textura porfídica. Se divide en dos grupos: riolitas sódicas y potásicas según el tipo de feldespato presente.

Roca dura y resistente es usada por estas características en construcción. Da un árido anguloso, pero presenta baja adherencia con el cemento. Es roca impermeable y su alteración da lugar a arcillas.

La dacita es el equivalente volcánico de la tonalita y la granodiorita. Presenta textura porfídica

con fenocristales de cuarzo, ortosa o sanidina, plagioclasas y piroxenos, biotitas u hornblenda, aunque estos tres últimos minerales suelen encontrarse en menor proporción. La pasta es corrientemente muy fina. Suele confundirse en el campo con la riolita ya que las características físicas son muy similares.

La andesita es una roca volcánica equivalente mineralógicamente al gabro, la diorita y la diabasa. Después del basalto, es la roca volcánica más abundante en el mundo, de ahí su importancia, aunque no abunda en España. Sin embargo, predomina en Centro y Sudamérica, principalmente en las regiones andinas, de ahí su nombre, "Andesita".

Los minerales dominantes son plagioclasas y andesina, aunque también presenta feldespatos alcalinos y cuarzo en pequeña cantidad. Los minerales ferromagnesianos más comunes son biotita, hornblenda, augita o hiperstena. Textura porfídica con fenocristales de feldespato y minerales máficos y pasta vítrea o microlítica con cuarzo. Cuando está sana su color es gris, pasando a verdoso, rojizo y castaño oscuro cuando se altera, cosa corriente, ya que es fácilmente atacable por los agentes atmosféricos.

En buen estado puede utilizarse en mampostería y machacada como subbase de carreteras. Es impermeable, así como los productos de su meteorización, por lo cual es buen cierre para obras hidráulicas, no necesitando revestimiento en los canales abiertos en ella.

Referencias

- [1] Wikipedia / Erupción de El Hierro de 2011 https://es.wikipedia.org/wiki/Erupci%C3%B3n_de_El_Hierro_de_2011
- [2] Wikipedia / Erupción volcánica de La Palma de 2021 https://es.wikipedia.org/wiki/Erupci%C3%B3n_volc%C3%A1nica_de_La_Palma_de_2021
- [3] López Marinas, J.M. y Lomoschitz, A. (2014). Geología aplicada a la Ingeniería civil, 4ª Ed., Editorial ed, Madrid, 506 pp.
- [4] Gobierno de Canarias (2011). Guía para la planificación y realización de estudios geotécnicos para la edificación en la Comunidad Autónoma de Canarias.
- [5] Lomoschitz, A., Jiménez, J.R., Yepes, J., Pérez Luzardo, J.M., Macás, A., Socorro, M., Hernández, L.E., Rodríguez, J.A., Olalla, C. (2006). Basaltic lapilli used for construction purposes in the Canary Islands, Spain. Environmental & Engineering Geoscience, Vol.XII, No.4, November 2006, pp. 327-336.
- [6] Malheiro, A.M., Sousa, J.F.V., Marques, F.M., Sousa, D.M. (2010). Contribution to geotechnical

Materiales volcánicos

- characterization of basaltic pyroclasts. En: Volcanic Rock Mechanics, Olalla et al. (eds). Taylor & Francis Group, London, pp. 53-57.
- [7] Lomoschitz, A. (1996). Caracterización geotécnica del terreno, con ejemplos de Gran Canaria y Tenerife. E.T.S. de Arquitectura de Las Palmas de Gran Canaria, 35 pp.
- [8] Blyth, F.G.H. & de Freitas, M.H. (1986). A Geology for Engineers, 7th edition, Edward Arnold, London, 325 pp.
- [9] González de Vallejo, L.I., Hijazo, T., Ferrer, M., Seidedos, J. (2006). Caracterización geomecánica de los materiales volcánicos de Tenerife. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 147 pp.
- [10] RENFE (1987). Balasto. Características determinativas de la calidad. N.R.V.3-4-0-0, 2ª Edición, p.7.
- [11] Serrano, A., Perucho, A., & Estaire, J. (2019). Foundations on grounds with caverns. In Volcanic Rocks: Proceedings of ISRM Workshop W2, Ponta Delgada, Azores, Portugal, 14-15 July, 2007. CRC Press.
- [12] Carracedo, J.C., Singer, B.S., Jicha, B., Guillou, H., Rodríguez-Badiola, E., Meco, J., Pérez-Torrado, F.J., Gimeno D, Socorro S, Láinez A (2003) La erupción y el tubo volcánico del volcán Corona (Lanzarote, Islas Canarias). Estudios Geológicos 59: 277-302.
- [13] Sauro, F., Pozzobon, R., Santagata, T., Tomasi, I., Tonello, M., Martínez-Frías, J., Johannes, L.M., Santana-Gómez, G., Massironi, M. (2019). Volcanic caves of Lanzarote: A natural laboratory for understanding volcano-speleogenetic processes and planetary caves. Lanzarote and chinijo islands geopark: From Earth to Space, 125-142.
- [14] gpy arquitectos S.L. (2009). Informe sobre los condicionantes del terreno en la construcción de la Facultad de Bellas Artes, Universidad de La Laguna. Servicio de Ingeniería del Terreno-ULPGC, 11 pp., 7 anejos.
- [15] Conde Palacios, M.M. (2013). Caracterización geotécnica de materiales volcánicos de baja densidad. Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 723 pp.
- [16] Rodríguez-Losada, J.A., Hernández-Gutierrez, L.E., Olalla, C., Perucho, A., Serrano, A., del Potro, R. (2007a). The volcanic rocks of the Canary Islands. Geotechnical properties. En: Volcanic Rocks, Malheiro & Nunes (eds). Taylor & Francis Group, London, pp. 53-57.
- [17] Rodríguez-Losada, J.A., Hernández-Gutierrez, L.E., Lomoschitz, A. (2007b). Geotechnical features of the welded ignimbrites of the Canary Islands. En: Volcanic Rocks, Malheiro & Nunes (eds). Taylor & Francis Group, London, pp. 29-33.
- [18] SUMPER (1999). Proceso constructivo del túnel de La Laja (Gran Canaria). Algunas consideraciones acerca de la utilización de jumbos robotizados. Ingeopres, Entorno Gráfico S.L., pp. 40-49.



Revista Técnica
de Maquinaria
y Obra Pública

Obras Urbanas

septiembre-octubre 2023
número 101



TRITURADORA DE MANDÍBULAS

Instalada en tu máquina operadora, transforma los desechos en material de calidad listo para su reutilización.



PARA EXCAVADORAS, RETROCARGADORAS,
CARGADORES, MINICARGADORES.

4,5 - 100 ton



REDUCE >> REUTILIZA >> RECICLA

| Construcción | Canalización | Maquinaria |

Sumario

septiembre / octubre

Directora
Rosario García

Publicidad
Ruth Sánchez

Maquetación
Cristina Sánchez

Suscripciones Anual:
España: 110 €
Europa: 150 €
Resto Países: 240 €

Tel.: +34 91 376 33 36
info@obrasurbanas.es
www.obrasurbanas.es

Edita
Ropero Editores, S.L.N.E.
Cerro Minguete, 135
28035 Madrid

Prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos de esta Revista, sin el permiso previo y por escrito de la editorial

Ropero Editores S.L.N.E.
La empresa editora no se hace responsable de las opiniones vertidas por sus colaboradores.

Edición Bimestral
Depósito Legal: M.10.476-2007

nº 101

Drones

4 Drones (UAS) y el Medio Ambiente.

Energías Alternativas

6 Los verificadores de ahorro energético ya pueden solicitar la acreditación a ENAC para actuar en el marco del Sistema de Certificados de Ahorro Energético.

8 Instalar placas solares sobre una cubierta verde puede incrementar hasta un 3,6% su producción de energía.

10 ABB invierte en Prateco, una compañía innovadora en plataformas *edge-to-cloud*.

Construcción

12 España se suma a la revolución digital del sector AEC con BIM y GIS.

14 Las principales empresas líderes ya están inscritas para valorizar la dinámica de innovación de sus soluciones y tecnologías libres de carbono.

18 La Seguridad como máxima prioridad en obras públicas.

20 Utilización en construcción y comportamiento geotécnico de los materiales volcánicos de Canarias.

34 Reacción al fuego de los materiales en la rehabilitación de los locales.

38 Master Builders Solutions® lanza una nueva tecnología revolucionaria: MasterCO₂re™ para la producción de hormigón con bajo contenido de clínker.

Canalización

40 Resolución-Modificación del trazado mediante perforación horizontal dirigida para evitar zonas kársicas en Nerja.

46 Primus Line Partner Days 2023.

48 Reposición y reparación de tuberías de otros materiales por PVC-O.

56 Saint-Gobain PAM destaca la sostenibilidad de su gama PAM Natural: material reciclado y reciclable.

Maquinaria

58 Diversas grúas Liebherr participan en la construcción del Estadio Roig Arena, en Valencia.

60 Rechazan el "No se puede reciclar" como respuesta. "Cierto, ¡con MB se puede reciclar!" es la única respuesta permitida.

62 Potente. Productiva. Diseño compacto.

64 Mecalac sigue ampliando su gama 100% eléctrica con el lanzamiento de su nueva pala cargadora basculante ES1000.

66 Exitoso Road Show Bobcat Iberia.

68 Grupo KMMB en Smopyc 2023.

70 Manitou apuesta fuerte en Smopyc 23.

76 SANY Iberia, Supported by Putzmeister, presenta su lanzamiento oficial en Smopyc 2023, redefiniendo la industria de la construcción en Iberia.

80 CAMSO en Smopyc 2023: tecnología de vanguardia para el sector de la construcción.