

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/320286401>

Contenidos y Cálculos Tipo de una Mina/Galería de Agua en Terreno Volcánico

Chapter · September 2017

CITATIONS
0

READS
843

1 author:



Juan Carlos Santamarta
Universidad de La Laguna

330 PUBLICATIONS 699 CITATIONS

SEE PROFILE

ANEXO A





ANEXO A. Contenidos y Cálculos Tipo de una Mina/Galería de Agua en Terreno Volcánico

A.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de una galería de agua es captar agua de los acuíferos para su posterior uso. Este recurso se puede obtener del acuífero basal de la isla, o bien, de acuíferos colgados. Solamente, en la isla de Tenerife, existen 1.056 explotaciones. Para ello es necesario redactar un proyecto técnico, que deberá ser firmado por un técnico competente, en este caso un Ingeniero de Minas o bien, un Ingeniero Técnico de Minas. El uso del agua procedente de las galerías, como norma general, aunque el recurso alumbrado es de gran calidad, principalmente el recurso es usado en la agricultura.

En este tipo de proyectos de ingeniería, la Administración Minera debe tener bastante implicación, según el Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera. La seguridad de los trabajos y de la maquinaria empleada en cualquier prospección o aprovechamiento de aguas subterráneas debe ser supervisada por la Autoridad Minera competente, con aprobación previa del correspondiente proyecto. También, la autoridad minera competente, velará por la conservación de los manantiales de aguas mineras o mineromedicinales y sus macizos y zonas de protección, ordenando la suspensión de cualquier labor que pueda causar daño al caudal o a la calidad de las aguas. Los titulares de las autorizaciones de explotación facilitarán la inspección del personal legalmente autorizado. Igualmente, la Autoridad Minera competente velará porque no se produzca una sobre explotación del acuífero.

A.1.1 Proyectos de minas y galerías de agua.

Estos proyectos mineros, son de suma importancia, solamente en la isla de Tenerife, en Canarias, los volúmenes de aguas subterráneas obtenidos por galerías y pozos en el año 2012 representan una aportación de 153,6 hectómetros cúbicos al año, de los cuales el 67% procede de las minas y el 33% restante de pozos. Este dato supone que las aguas subterráneas aportan el 82% del total de los recursos hídricos disponibles en la Isla.

Los proyectos de explotación deben venir avalados por un estudio hidrogeológico, en el cual, se cuantifiquen las posibilidades existentes para realizar un aprovechamiento de agua subterránea, de manera sostenible con un caudal de extracción estable y con calidad suficiente, para los usos previstos. La calidad del agua alumbrada viene definida por los

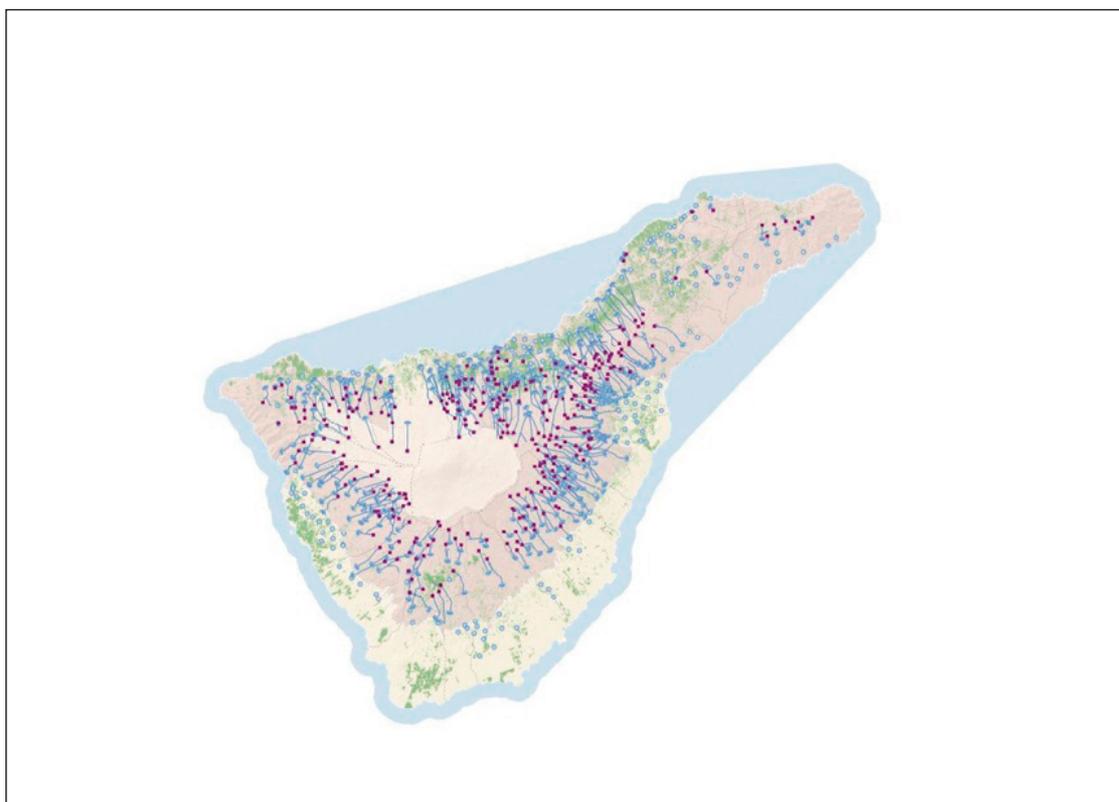


Figura A.1.- Mapa de situación y longitud de galerías en la isla de Tenerife (Consejo Insular de Aguas de Tenerife).

materiales volcánicos donde haya estado almacenada el agua y, el tiempo que ha permanecido en el interior del acuífero -tiempo de residencia-, lo cual determinará la cantidad de sales presente en el recurso. La cantidad de recurso va a ser definida por las características del acuífero, espesor, estructura, permeabilidad de los materiales, porosidad, zona donde se ubique, cantidad de diques...

El proyecto se compone de cuatro documentos:

1. Memoria y Anexos.
2. Planos.
3. Pliego de condiciones.
4. Presupuesto.

Los trabajos de profundización de pozos verticales o inclinados y el avance de galerías horizontales para captación de aguas deberán cumplir todas las prescripciones del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera (RGNBSM), para esta clase

de labores. Las autoridades mineras competentes prestarán un cuidado muy especial a la seguridad en la ventilación, circulación y el uso de explosivos.

A.1.2 *Pequeños aprovechamientos de aguas subterráneas destinados al autoconsumo.*

En el caso particular de las Islas Canarias, cuando son pequeños aprovechamientos de aguas subterráneas y se dedican al autoconsumo, —siempre que no haya otras alternativas—, es necesario la redacción de un proyecto de ingeniería por un técnico competente. En el caso de que sea necesario un sondeo, ese técnico debe ser de la rama minera, dado que necesita autorización por el Servicio de Minas de la zona, por el artículo 109 del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera, la supervisión de la obra, también debe ser realizada por un técnico de minas. En el caso particular de la isla de Tenerife, inicialmente es necesario realizar una memoria justificativa y una memoria descriptiva, los contenidos necesarios, según el Consejo Insular de Aguas de Tenerife, son los siguientes:

1. Memoria justificativa.
 - a. Necesidades.
 - Calidad.
 - Cantidad.
 - b. Justificación de la carencia de otras alternativas.
 - c. Existencia de recursos no aprovechados.
 - d. La no afección a otros aprovechamientos en un entorno de 200 m.
2. Memoria descriptiva.
 - a. Uso del agua alumbrada.
 - b. Lugar de consumo.
 - c. Obras que se proponen realizar.
 - d. Características de los elementos e instrumentos de la captación y distribución.

A esta documentación, se la debe de acompañar de: planos, croquis y esquemas explicativos de los anteriores apartados. La concesión es por cuatro años, prorrogable. El volumen anual aprovechado debe cumplir las siguientes condiciones, ser inferior a los 2.000 m³ anuales, diariamente un consumo menor de 20 m³ y no puede haber ninguna actividad económica o permuta con los recursos aprovechados.

A.1.3 *Obras para el mantenimiento de caudal inscrito en el registro de aguas.*

Este tipo de proyecto también necesita de la firma de un Ingeniero de Minas o bien un Ingeniero Técnico de Minas. Los proyectos más solicitados actualmente son los de perforación por reducción de caudales, con ellos se logra mantener los caudales alumbrados.



Figura A.2.- Tanquilla para aforo y control de caudales alumbrados.

¿Por qué se reducen los caudales de las galerías?, por el descenso del nivel freático local, debida a la sobreexplotación del acuífero basal, esto hace que algunas explotaciones queden por encima de este nivel y, en algunos casos, se deban abandonar por falta de recurso alumbrado.

En el caso de Canarias, particularmente en Tenerife, las explotaciones privadas —anteriores a la Ley 12/1990 de Aguas de Canarias—, pueden solicitar una autorización para re-perforar la galería y así, compensar los caudales mermados. Esta concesión administrativa se facilita, siempre que no se afecten a otras explotaciones o al acuífero, dentro del marco de la planificación insular. La solicitud de obras, según los requisitos del Consejo Insular de Aguas de Tenerife, debe contener los siguientes requisitos:

1. Memoria.
 - a. Localización de la explotación.
 - b. Aforo del caudal actual.
 - c. Necesidad de recuperación del caudal mermado.
 - d. Características geométricas y constructivas de la obra a realizar.

- e. Afección a otras explotaciones en un entorno de 3.000 m.
- f. Uso principal del agua.
- g. Destino territorial en el que se distribuirá el agua.
- h. Adecuación de la autorización que se solicita a la legislación vigente y al Plan Hidrológico Insular.

2. Planos.

En los proyectos de mantenimiento de caudales son muy similares a los de nueva construcción, con la salvedad que se incluyen nuevos apartados en la memoria descriptiva como:

1. Geología e Hidrogeología.
 - a. Descripción geológica de la traza que atraviesa la galería.
 - b. Hidroquímica.
 - c. Uso recursos de agua obtenidos.
 - d. Afecciones.
2. Accesos.
3. Descripción de las obras existentes.
 - a. Dependencias.
 - b. Longitud galería.
 - c. Ramales.
 - d. Sección tipo.
 - e. Singularidades en la traza; sostenimientos, anchurones y situación de ventiladores.
4. Instalaciones.
 - a. Neumáticas.
 - b. Ventilación.
 - c. Eléctricas.
 - d. Hidráulicas.
 - e. Transporte.
5. Bocamina: Cierre y señalización.
6. Vías de evacuación.

En estos tipos de proyectos es necesaria una concesión administrativa, se debe indicar el caudal de aforo en L/s. En Canarias es de uso común los aforos en “pipas” cuya cantidad ronda, dependiendo de la isla y zona considerada, entre 440 y 481 litros —provincia de

Tenerife—. En Lanzarote se toma la pipa como 500 litros. Otra unidad de caudal es, por ejemplo la azada, cuyo caudal varía entre 8 L/s ($28,8 \text{ m}^3$) y 12 L/s ($43,2 \text{ m}^3$), se recomienda por motivos obvios usar las unidades S.I en L/h y para caudales anuales, los hm^3 . Como ejemplo el Pozo-Galería de los Padrones, en la isla de El Hierro tiene un caudal anual aproximado de unos 75 L/s, por lo tanto produce anualmente $2,365 \text{ hm}^3$. La demanda en la isla —de 10.000 habitantes—, es aproximadamente de $3,5 \text{ hm}^3$ anuales, por lo que sólo esta explotación suple cerca del 67% de los consumos de la isla, de ahí que se destaque la importancia de este tipo de explotación en la islas volcánicas.

Estas obras subterráneas, se clasifican atendiendo al Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera, donde en su Artículo 24 del Capítulo IV, se indican las condiciones que debe cumplir una obra subterránea, para su clasificación dentro de una de las cuatro categorías existentes. En general en las minas de agua, no es previsible que aparezcan indicios de gases inflamables, muy raramente de CH_4 . El grisú es un gas propio de las minas de carbón y no aparece en las galerías de agua de terrenos volcánicos, el grisú tiene el mismo origen que el carbón y se forma a la vez que él, por lo tanto se consideran que estas labores subterráneas están clasificadas como de primera categoría.

A.2 LA MEMORIA DEL PROYECTO DE GALERÍA DE AGUA

La memoria contiene el objeto del proyecto minero, incluyendo los antecedentes y estudios previos. Se incluyen los resultados y conclusiones definitivas (los cálculos detallados se exponen en los anexos correspondientes). La memoria se inicia con los antecedentes, en los cuales se explica la necesidad del proyecto, incluyendo una descripción del lugar donde se va a construir la mina. Se suele describir los recursos hídricos actuales de la zona de influencia de la obra, incluso un antecedente histórico del aprovechamiento de los mismos.

Posteriormente, se indica el objeto del proyecto; describiendo la obra principal y las auxiliares que, como norma general, suelen ser las conducciones y en algún caso un depósito de regulación. Este depósito, dado que las galerías se suelen construir en las partes elevadas de la isla, tiene suficiente altitud para poder abastecer a zonas o cultivos situados a menor cota, por lo tanto suele ser ventajoso su construcción. La alternativa de regulación de caudales alumbrados por las galerías, son los sistemas de cierres en el interior de la galería, aprovechando los diques geológicos encontrados a lo largo de la traza de la explotación. Si bien este sistema se ha utilizado en algunas explotaciones en el mundo, como en Sicilia o Canarias, no es un sistema del todo eficaz, debido a la excesiva idealización supuesta, en el funcionamiento del acuífero, en la explotación, así como la suposición de estanqueidad en la formación volcánica, cuestión que pocas veces se cumple, por ejemplo; como consecuencia de las voladuras, los diques se han podido fisurar.

Se incluye el peticionario de la obra, en el caso de Canarias, se da la circunstancia que el 90% de las explotaciones están en manos privadas, concretamente en comunidades de agua, las cuales solicitan a consultores o empresas los proyectos de construcción de galerías. Si bien es cierto, que la perforación de nuevas minas, desde los años 80 es residual, siendo como mucho, uno o dos los proyectos solicitados. Esto también es debido entre otros motivos a un descenso de caudales, por ejemplo en la isla de Tenerife desde el año 1973, se ha constatado una reducción de un 28%. Los motivos son: el alto coste de la ejecución de una galería donde el metro lineal se estima en unos 2.200 €/m, la incertidumbre en la obtención de agua, hay un porcentaje elevado de galerías que no han encontrado el nivel freático y, por último, los tiempos de construcción de la explotación, que pueden superar los dos años para minas de más de 3.000 m. Esto último, supone que el aprovechamiento, no puede dar una solución inmediata a una demanda urgente de recurso hídrico. En numerosas ocasiones, se están destinando recursos económicos a la construcción de plantas desalinizadoras de agua, con unos costes de construcción y tiempo de implantación menores. Esta opción a la larga, puede suponer un problema económico, dado que los costes de explotación son elevados (0,65 €/m³ – 1,00 €/m³, Santamaría 2009) y, la vida útil, no supera los 15-20 años. En estos parámetros, las galerías de agua en servicio pueden llegar a los 80 años y los costes de explotación son muy bajos, dado que en la mayoría de las ocasiones no es necesario recurrir a la energía eléctrica.

A.2.1 *Situación y accesos*

Se debe incluir la descripción del paraje donde se va a ejecutar la mina, así como los accesos. En el caso de Canarias, las explotaciones se proyectan en zonas de elevada altitud, debido a que el acuífero, está sobre elevado por los diques geológicos, se han estudiado casos—como por ejemplo en el Pozo de Los Padrones en el Hierro— donde se han reportado elevaciones de 16, 23 y 75 metros de altura de agua tras dique.

El hecho de tener que proyectar la bocamina en zonas elevadas de la isla implica lo siguiente:

- Dificultad de acceso de la maquinaria y operarios.
- Ausencia de líneas eléctricas para la alimentación de la obra y explotación posterior.
- En el caso de Canarias, suelen ser espacios protegidos, lo cual supone problemas ambientales.
- Problema en la retirada de basuras y desechos de la construcción.
- Problemas derivados de la extracción de escombros de la perforación, en este sentido, en Canarias, las escombreras se están utilizando para la reparación de caminos agroforestales.
- Lejanía de los centros médicos de emergencia.
- Necesidad de construir conducciones con longitudes importantes para la evacuación de caudales.



Figura A.3.- Ubicación de galería y construcción de acceso a la explotación.

Los caminos de acceso suelen tener un mínimo de 3 metros de anchura, generalmente sin asfaltar, hay que tener precaución en el diseño de los radios de curvatura para que sean de dimensiones suficientes para el acceso de la maquinaria de obra. En el caso de que estos accesos deban atravesar barrancos, habrá que hacer un estudio de las diferentes obras de paso para que no interfiera o bloquee la capacidad de desagüe del barranco. En caso de que se estime oportuno hacer el paso de barranco mediante badenes, para evitar la erosión de los mismos, se proyectan, como una losa de hormigón anclada al terreno. Dado que estos accesos discurren por espacios naturales, en algunos casos, catalogados con alguna figura de protección, se deberá buscar un equilibrio entre los desmontes y los terraplenes en la medida de lo posible y minimizar el impacto ambiental. Estos accesos en algunas zonas deberán tener muros de contención, si son de importancia deberán calcularse en el correspondiente anejo. Resumiendo, los aspectos a tener en cuenta en la construcción de los accesos a la mina serían los siguientes:

1. Trazado.
2. Sección transversal, explanada, subbase, base y rodadura.
3. Pendiente máxima.

4. Drenaje.
5. Obras de Paso.
6. Muros de contención, protección de cuneta.
7. Capacidad de carga.
8. Minimización de impactos al medioambiente.
9. Mantenimiento durante la explotación.

Para el emplazamiento de la bocamina, se establecen la cota a la que se va a situar con respecto al nivel del mar y las coordenadas U.T.M. La zona de las bocas de las galerías, se deben proyectar, para que cumplan los fines de facilitar la descarga de los materiales de excavación.

A.2.2 *Geología e hidrogeología*

Tal vez, este apartado de la memoria, sea el más importante en una explotación de aguas en terreno volcánico, debido principalmente, a que define el éxito de la galería, pues el conocimiento de la geología y el funcionamiento del acuífero en la zona de estudio, es el pilar básico del funcionamiento de la explotación, en calidad y en cantidad.

Se suele partir de una geología histórica de la isla en cuestión, donde se incluyen las transformaciones que ha experimentado la isla, desde su formación hasta el presente, describiendo la forma de la isla (estratovolcán, en escudo,...), diferentes erupciones, series de coladas, (Serie I, II, III...), materiales y edad de las formaciones más antiguas.

Se describen las formaciones presentes, tales como complejo basal, que suele estar integrado por rocas plutónicas básicas y ultra básicas, lavas, piroclastos básicos de aspecto submarino. El buzamiento de las coladas, espesor medio y, sobre todo, la presencia de diques, los cuales suelen estar relacionados con centros de emisión. Los materiales que se pueden encontrar a lo largo de la traza de la galería son de suma importancia, a la hora de plantear sostenimientos especiales en la sección, aunque generalmente, estos sostenimientos artificiales, por la propia naturaleza de los materiales volcánicos —salvo los más fluidos, no masivos—, no son necesarios.

La hidrogeología, establece la descripción del acuífero insular, —acuífero basal—, que suele ser único, en las islas volcánicas, apoyado en una formación lo suficientemente antigua y compacta para asegurar su impermeabilidad, que suele ser el complejo basal, aunque también pueden existir, series de coladas antiguas, consideradas —por la antigüedad de los materiales y la alteración de los mismos—, impermeables. En esta descripción se incluyen los diques, densidad, orientación aproximada y los diferentes paleosuelos. Es posible que aparezcan alumbramientos vinculados a paleosuelos o formaciones impermeables que hacen de depósito, son los acuíferos colgados o nacientes cuando estos se manifiestan en el terreno.

A priori, es complicado, determinar los materiales y formaciones que van a ser atravesados por la mina, debido a la heterogeneidad del terreno volcánico, no obstante, se pueden consultar numerosas fuentes y estudios, así como la inspección de galerías cercanas — sólo en Tenerife hay más de 1.500 explotaciones, como ya se ha comentado—, con el fin de determinar aproximadamente el perfil geológico e hidrogeológico de la mina que se va a perforar.

Como norma general, el alumbramiento se espera en los materiales permeables, con un aumento de la presencia de diques y a medida que la explotación se acerque al eje de la dorsal, zona donde el acuífero está más elevado y existe la mayor pluviometría de la isla. En Tenerife, por ejemplo, las galerías se suelen ubicar en altitudes entre 1.000 y 1.500 metros y suelen tener una profundidad entre 3 y 6 kilómetros.

162

Se debe hacer una estimación de los recursos alumbrados así como de la afección a captaciones próximas. En relación a los recursos hídricos conviene valorar la calidad de aguas alumbradas. Los terrenos volcánicos, al ser muy heterogéneos, almacenan agua de diferentes calidades, a este hecho, se le suma la actividad volcánica que interactúa con el agua. Esta actividad, puede incorporar CO₂ y otros gases al agua, lo cual la hace más agresiva con respecto a su interacción con los materiales que la almacenan, incorporando más sales y disminuyendo su calidad, por ejemplo la afección por flúor. En este caso (afección por flúor), se da la circunstancia que; en la isla de Tenerife se ve afectada notablemente en las captaciones del Norte de la isla, con cantidades de flúor en el agua de más de 10 mg/L (máximo consumo por persona al día según normativa 1,5 mg/L).

La obtención de aguas de gran calidad en galerías cercanas a la proyectada, no asegura éxito en la explotación, ni el alumbramiento de aguas de calidad.

A.2.3 Geotecnia

Se debe realizar un reconocimiento geológico-geotécnico, con especial interés en donde vayan a ir las infraestructuras asociadas a la explotación. En este reconocimiento se debe tener en cuenta:

1. El nivel freático.
2. Litología.
3. Estructura de las formaciones.
4. Excavabilidad de los terrenos.
5. Estabilidad de los taludes.
 - a. Principalmente donde se va hacer el emboquille de la mina.
 - b. Propuesta de acciones de corrección, en caso de inestabilidades.

- Muros.
 - Redes estáticas de protección.
 - Redes dinámicas.
- c. Comportamiento ante ángulos elevados.
- Escorias y depósitos detríticos recomendación de 50°.
 - Coladas masivas 70°-80°.

La geotecnia en los terrenos volcánicos es compleja, debido a la heterogeneidad de los materiales constituyentes de la isla. Existe muy poca literatura relativa a las características geotécnicas de los materiales volcánicos, pero es necesario tener una idea de las formaciones que atravesará la mina y su comportamiento mecánico, de cara a la necesidad de sostenimiento, o no. Al igual que, para el apartado de geología e hidrogeología, en función de la magnitud del proyecto y su complejidad, podría ser necesario un anejo especial geotécnico si la galería está planificada en una zona con un terreno relativamente complejo —por ejemplo; si atraviesa paleo cauces, conos piroclásticos, emboquilles en piedemonte etc.—. A modo de resumen, se adjunta las unidades establecidas por el Gobierno de Canarias en 2013:

1. Unidad I: COMPLEJOS BASALES.
2. Unidad II: COLADAS Y MACIZOS SÁLICOS.
3. Unidad III: MACIZOS BASÁLTICOS ALTERADOS.
4. Unidad IV: COLADAS BASÁLTICAS SANAS.
5. Unidad V: MATERIALES PIROCLÁSTICOS.
6. Unidad VI: MATERIALES BRECHOIDES.
7. Unidad VII: DEPÓSITOS ALUVIALES Y COLUVIALES.
8. Unidad VIII: SUELOS ARENOSOS.
9. Unidad IX: SUELOS ARCILLOSOS Y/O LIMOSOS.
10. Unidad X: RELLENOS ANTRÓPICOS.

Los problemas geotécnicos que pueden ocurrir en la construcción y explotación de la galería, dependiendo de la unidad geotécnica, pueden ser los siguientes:

1. Alta heterogeneidad, tanto en vertical como en horizontal.
2. Materiales muy alterados, de baja resistencia y alta deformabilidad.
3. Intercalación de niveles de suelos plásticos y expansivos.
4. Presencia de tubos volcánicos.
5. Existencia de niveles escoriáceos con parámetros geotécnicos muy desfavorables intercalados entre los materiales masivos más resistentes.
6. Hundimientos y colapsos.
7. Moderada y baja resistencia, asociada a deformabilidad moderada a alta.
8. Moderada expansividad de los niveles arcillosos.

A.2.4 Descripción de las obras

La elección del método constructivo a emplear en toda obra subterránea debe estar condicionada, en primer lugar, por las características geotécnicas del terreno a atravesar y, en segundo lugar, por la geometría y tamaño de la excavación. Se aportan las conclusiones sobre los sistemas de perforación utilizados, dimensiones de la galería en sección y en longitud, tipo de alineación, comúnmente recta, así como los resultados de los cálculos de las instalaciones. Si existiera algún ramal se indicará también con su longitud en metros.

El alzado de la galería siempre debe presentar una pendiente ascendente del 1%, constante en toda su longitud, con objeto de poder evacuar las aguas de infiltración por gravedad hacia la boca, durante su construcción y explotación. A nivel constructivo, esto se puede gestionar mediante la instalación de ganchos y tornillos en el techo para orientar la topografía en el interior de la traza.

A.2.5 Legislación aplicable

Se debe incluir la relación e documentos que afectan a la ejecución del proyecto minero, en el caso de Canarias, donde se ubica el mayor porcentaje de estas instalaciones, serían:

1. Autonómica.
 - Ley 12/1990, de 26 julio, de Aguas.
 - Las propias de los Planes Hidrológicos del Cabildo.
2. Nacional.
 - Ley 22/1973, de 21 de julio de Minas.
 - Real Decreto 230/1998, de 16 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento de explosivos.
 - Real Decreto 277/2005, de 11 de marzo, por el que se modifica el reglamento de explosivos, aprobado por el Real decreto 230/1998 de 16 de febrero.
 - Real Decreto 863/1985, de 2 de abril, por el que se aprueba el Reglamento General de normas básicas de seguridad minera.
 - RD 2018/1996 de 6 de septiembre, de Certificado de Minería de Transporte y extracción.
 - Ley 31/1995, de 8 de noviembre de Prevención de Riesgos Laborales.
 - Reglamento de los servicios de Prevención, Orden de 27 de junio de 1997.
 - RD 485/1997, de 14 de abril, DMSS relativa a la manipulación manual de cargas.
 - RD 773/1997, de 30 de mayo, DDMMSS relativas a la utilización por los trabajadores de los equipos de protección individual (EPI).
 - RD 1215/1997, de 18 de julio, DDMS para la utilización de los trabaja-

dores de los equipos de trabajo.

- RD 1389/1997, de 5 de septiembre, DM destinadas a proteger a los trabajadores en actividades mineras.
- Ley 54/2003, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de Riesgos Laborales.
- RD 1311/2005, de 4 de noviembre, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores frente a los riesgos derivados o que puedan derivarse de la exposición a vibraciones mecánicas.

A.2.6 Plazo de ejecución

Se debe incluir en el proyecto el plazo total de ejecución, en los anejos se debe incluir un plan de obra con las diferentes actividades del proyecto.

A.2.7 Plan de obra

El objetivo del plan de obra, es definir la programación de los trabajos proyectados, se describen los principales tajos a realizar, indicando los rendimientos. Para una galería tipo, un plan de obra ejemplo, para una galería de 3.500 m podría ser como el que sigue, (plazo de ejecución, tres años):

Actividad	1T	2T	3T	4T	5T	6T	7T	8T	9T	10T	11T	12T
Adecuación del solar y accesos a la explotación	■											
Edificios e instalaciones exteriores		■	■									
Acometida e instalaciones eléctricas	■											
Emboquille de la mina		■										
Perforación			■	■	■	■	■	■	■	■		
Conducciones de servicio											■	■
Plan de calidad	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Control ambiental	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Seguridad y salud	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

A.2.8 Presupuesto

Finalmente se incorpora el presupuesto de ejecución del proyecto y el correspondiente con los diferentes suplementos; beneficio industrial, impuestos y gastos generales.

A.3 PLANOS

Los Planos, son la representación gráfica de las soluciones adoptadas. Deben comprender, tanto los planos de conjunto como los de detalles necesarios para que pueda realizarse el trabajo sin dificultad, tanto en obra como en taller. Los planos habituales de este tipo de instalación suelen ser los siguientes:

1. Emplazamiento.
2. Situación de la bocamina.
3. Caminos de acceso.
4. Estado de alineaciones de la mina.
5. Traza en planta.
 - a. Sobre mapa geográfico.
 - b. Sobre mapa geológico.
6. Instalaciones exteriores.
7. Sección de la galería y sus elementos.
8. Esquema del cuele y de la voladura propuesto.
9. Instalaciones.
 - a. Eléctricas.
 - b. Ventilación.
 - c. Hidráulicas.
 - d. Neumáticas.

A.4 EL PLIEGO DE CONDICIONES

En esta parte se fijan; las exigencias, requisitos y condiciones que debe cumplir aquello que se ha proyectado. Es un documento de carácter contractual que servirá de base para la redacción del contrato de ejecución de las obras, y en el cual, se debe describir con detalle los trabajos objeto del proyecto, las condiciones que deben reunir los materiales y las condiciones económicas en que puedan y deban realizarse dichos trabajos. Se incluye

la normativa, reglamentos y leyes, que se deban aplicar al proyecto indicando su ámbito de aplicación, esto es:

- Local.
- Autonómica.
- Nacional.
- Internacional (Europea).

Se indican también las responsabilidades contractuales y requisitos derivados de la ejecución del proyecto. Incluyendo las condiciones referentes a los materiales y a la ejecución, medición y abono de las obras ejecutadas.

Si la obra es promovida por la Administración, es preceptiva la exigencia de clasificación a los contratistas que deseen concurrir a las obras. De acuerdo con el Real Decreto 1098/2001 de 12 de Octubre por el que se aprueba el Reglamento General de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas, para esta tipología de obras:

- Grupo A4, pozos y galerías.
- Subgrupo E1, abastecimiento y saneamiento.

A.5 LOS PRESUPUESTOS

El presupuesto de la galería definirá y justificará la cantidad y características de todos los elementos de integrar el diseño junto con una estimación justificada de los precios de dichos elementos. Con él se hará una previsión del coste de ejecución.

Los presupuestos constarán de los siguientes apartados:

1. Mediciones.
 - a. Mediciones auxiliares.
 - b. Medición general.
2. Cuadros de precios.
 - a. Cuadro de precios nº 1.
 - b. Cuadro de precios nº 2.
3. Presupuestos Parciales.
4. Presupuesto General.
 - a. Presupuesto de Ejecución Material.
 - b. Presupuesto de Ejecución por Contrata.



Figura A.4.- Zona escoriácea en la traza de la mina con problemas de sostenimiento.



Figura A.5.- Anchurón para cambio de maquinaria y vagonetas.

168

La unidad de perforación de galería será el metro lineal de excavación en galería incluyendo la entibación provisional, agotamiento de agua, ventilación e iluminación, sostenimiento y revestimiento, rejilla para canaleta y raíl para la circulación de la maquinaria.

En el caso de la perforación, es necesario que exista un precio de avance para terreno no saturado, con unas condiciones favorables para la excavación y el avance, aunque se genera un ambiente pulverulento. Por otro lado, debe existir un precio para cuando se alcanza el terreno saturado, con unas condiciones de humedad importantes y una reducción del rendimiento, por las condiciones complejas de trabajo.

Debido a la dificultad de valorar “a priori” las zonas en la traza de la mina, con presencia de inestabilidades por materiales escoriáceos, arcillosos o conglomerados. Por experiencia se puede plantear la necesidad de sostenimiento como un 10-20% de la longitud total de la traza, incluyendo esto, en el presupuesto final como *partida alzada a justificar*.

También, para el precio de perforación, hay que tener en cuenta otras singularidades en la traza, tales como los anchurones, para los cambios de maquinaria, entronques de ramales, zonas de ventiladores etc.

La construcción de una galería de agua (media de 3,5 kilómetros), suele implicar más de 24 meses de trabajo, incluso los trabajos de reperfusión suelen tener una duración elevada, por ello será necesario proponer en el proyecto una revisión de precios cada cierto tiempo.

A.6 LOS ANEXOS DEL PROYECTO

Principalmente, constan de los cálculos que justifican las soluciones planteadas en la memoria, en algunos casos conviene indicar los métodos de cálculo utilizados. Los de mayor importancia y singulares son los relativos a los explosivos, —que se suelen incluir en el anejo constructivo, junto con los sostenimientos y sistemas de perforación—, y el de ventilación.

A.6.1 *La organización de las obras*

En este apartado se explica la modalidad de la ejecución de las obras, ¿qué personal o empresa va a ejecutar el proyecto?, así como el nombramiento del Director Facultativo, que deberá ser por ley un Ingeniero de Minas o un Ingeniero Técnico de Minas. Se incluye las máquinas y herramientas que se van a utilizar en todo el proyecto constructivo, tales como:

1. Grupo motor-ventilador, para el acondicionamiento de la atmósfera en el frente de la galería.
2. Grupo motor-compresor para los equipos neumáticos.
3. Martillo perforador, percutor.
4. Vagonetas y locomotora diésel.
5. Pala neumática de arrancado de material.
6. Herramientas manuales.
7. Herramientas y accesorios para explosivos.

En algunas minas que están ejecutando en los últimos años por la Administración, las galerías tienen dimensiones de tres metros de base por tres metros de alto. Se está utilizando maquinaria tipo yumbo perforador, para la perforación de barrenas y sondeos. Para los sondeos tanto horizontales como verticales se utilizan varios modelos de perforadoras, como la tipo Zahorí pero adaptadas a las dimensiones de la galería en ejecución.

En el solar de la galería se depositan los escombros procedentes de la excavación. Se debe indicar como va a estar custodiada la explotación en fase de construcción, así como, los

aspectos de seguridad relativos a evitar personas ajenas a la obra y el cierre diario de la explotación mediante una puerta metálica. Para el emboquillamiento y la zona de ventiladores se reservan los primeros 20 metros de la explotación.

Se define también el personal que va a estar en la ejecución de la mina. Los operarios se organizan en “cuadrillas”. El número mínimo de operarios suele ser de 3, sus denominaciones son:

- Artillero.
- Maquinista.
- Barrenista.

Uno de ellos, deberá hacer las labores de vigilante de labores, el maquinista permanecerá en el exterior de la mina cuando se esté trabajando en el interior. Para la mejora de las condiciones de trabajo, dado que la mayoría de las minas carecen de instalaciones de luz artificial, es usual disponer de lámparas de trabajo alimentadas a PTS (Pequeña Tensión de Seguridad), para que no interfiera con los explosivos, también se dispone de la tradicional lámpara de carburo de acetileno que además de luz, mejora la condiciones de seguridad,—alerta de la disminución del oxígeno—, complementariamente al detector de gases, como ya se ha explicado en secciones anteriores.

Antiguamente en las islas Canarias, la jornada de trabajo comenzaba a las 6 am, los trabajos se organizaban en piñas, cada una formada por dos operarios, con herramientas muy rudimentarias, hasta las 6 pm, en turnos de 12 horas. Las operaciones eran las siguientes:

- Colocación del explosivo.
- Pega.
- Retirada de escombros.
- Limpieza del frente de la mina.

A partir de los años 50, el grupo de trabajo se redujo a uno, —con dos o tres operarios—, trabajando en un único turno de 12 horas. Se cobraba por metro lineal de galería perforado o, en algunos casos mediante jornal. Aparece la figura del cabuquero, el cual se encargaba de los explosivos y pegas. En los inicios de la minería del agua en Canarias, las condiciones eran muy penosas.

Actualmente, para aprovechar las mejores condiciones de ventilación natural en el interior de las galerías, que están directamente relacionadas con la climatología. A partir del mediodía no se suele trabajar en el interior de la galería ya que se suelen producir fenómenos de inversión de la ventilación natural, aumentando la concentración de gases nocivos en su interior, como se ha comentado en otras secciones.



Figura A.6.- Equipo electrógeno para suministro energético de la obra.



Figura A.7.- Secciones de las galerías ejecutadas por la Administración con dimensiones "sensiblemente" mayores que las ejecutadas por la iniciativa privada.



Figura A.8.- Lámparas de carburo de acetileno, ampliamente utilizadas en la actualidad en la minería del agua.

OBRAS CONSTRUÍDAS							
Alineaciones	Ángulos Absolutos	Rumbos		Distancias		Coordenadas	
		C.N.Vº	UTM	Parciales	Totales	X	Y

Tabla A.1.- Estado de alineaciones de una galería de agua.

172

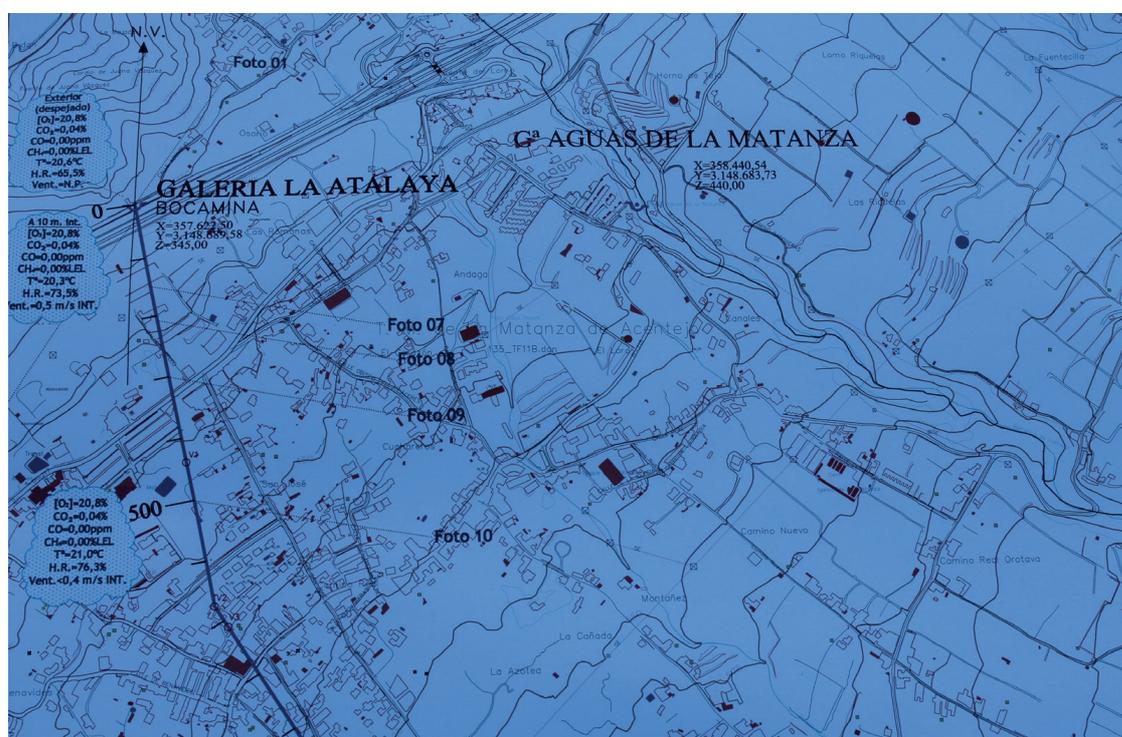


Figura A.9.- Trazado en planta y rumbos de una galería en Tenerife.

A.6.2 El estado de las alineaciones

El estado de alineaciones lo forma el trazado en planta, partiendo de la bocamina, en este estado se incluyen las distancias totales y parciales de la mina, incluyendo los rumbos y ángulos. De los puntos singulares se facilitan las coordenadas X e Y. También, obviamente se incluyen los ramales de la explotación. En la tabla A.1 se puede ver un ejemplo con el contenido del estado de alineaciones.



Figura A.10.- Vagoneta tipo "cuna".



Figura A.11.- Rails en proceso de oxidación al estar "embebidos" en el agua de repisa de la mina.

A.6.3 Volumen de excavación, carga y transporte

En este apartado, se incluye, en base a los cálculos en el correspondiente anejo, los resultados de los volúmenes a excavar, así como los medios para transportar y evacuar los escombros. Usualmente se usan vagonetas para el transporte de escombros, aunque también se usan cintas transportadoras.

Los sistemas de transporte en las minas de agua, para el caso particular de Canarias, han tenido una importante evolución. Generalmente esta maquinaria proviene de explotaciones de la minería del Norte de España, teniéndola que adaptar a las singularidades de la minas canarias. Los primeros railes eran de madera y las vagonetas se transportaban de manera manual o bien con burros pequeños. Actualmente, y desde los años 80 del pasado siglo, se utilizan máquinas motrices de la empresa FUENDOR. Estas máquinas tienen las siguientes características (Cedrés, 2007): 2-3 toneladas, velocidad media 10 Km/h, con capacidad para arrastrar 6 vagonetas cargadas de escombros.

Un sistema de transporte tipo se compone de los siguientes elementos:

1. Vías de hierro instaladas en la solera de la galería, carga media 7 kg/m.
2. Locomotora con motor de combustión.
3. Vagonetas con capacidad mínima de 1 m³, de acero laminado, montadas sobre ruedas-llantas de ferrocarril con frenos mecánicos.

4. Vagonetas de transporte de herramientas, con plataforma de madera, denominadas “cuna”.
5. Excavadora para retirada de escombros con pala.

El transporte de los escombros una vez que se ha perforado se realiza mediante las vagonetas remolcadas por una locomotora desde el frente de mina hasta la bocamina.

Las vías de acero, se suelen oxidar en minas donde existen zonas de surgencia por el agua de repisa, en zonas no saturadas se suelen mantener un estado de conservación aceptable. En algunas ocasiones y, debido a la aparición de materiales arcillosos, el suelo de la galería se “hincha” y afecta a la circulación del convoy minero, este efecto tiene muy difícil solución.

174

A.6.4 Cálculos de perforación y explosivos

En este anexo, se incluyen los cálculos relativos a la perforación los rendimientos de la misma, donde destaca la parte relativa a los explosivos y voladuras en el interior de la mina. Las galerías de agua, al ser una obra subterránea de primera categoría, puede utilizarse cualquier tipo de disparo, sin limitación en explosivo ni detonador. Para el empleo de explosivos se debe tener en cuenta el Capítulo X del Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera.

La excavación se compone de las siguientes operaciones:

- Perforación de barrenos.
- Carga de explosivo.
- Disparo de la voladura.
- Evacuación de los humos y ventilación.
- Saneamiento y fortificación en caso necesario.
- Carga y transporte del escombros.
- Replanteo de la nueva pega.

Cuando se alcanza la zona saturada, es posible que se deba utilizar los explosivos con presencia de humedad y agua, por lo que los cartuchos deberán estar encartuchados con resistencia a estos elementos. Los elementos auxiliares a tener en cuenta son los siguientes:



Figura A.12.- Perforación de barrenas para la introducción de explosivos. (Foto cortesía de Rafael Lario).

- Carga de fondo.
- Carga de columna.
- Cordón detonante.
- Detonadores eléctricos de alta insensibilidad.
- Explosor.

Cada tipo de explosivo tiene características propias definidas por sus propiedades, para el mismo tipo de explosivo las características pueden variar dependiendo del fabricante; el conocimiento de tales propiedades es un factor importante en el diseño de voladuras en las galerías. Los explosivos se guardan en el interior de las galerías, al inicio de la traza, cuando está en fase constructiva, para ello se construyen dos cajas blindadas al terreno, una para los explosivos y otra para los detonadores, la distancia entre ambas debe ser de “al menos” 1,5 metros.

En la fase constructiva, debe haber un operario responsable del almacenamiento y consumos de los explosivos, mediante las correspondientes anotaciones en un libro de registro, donde se da cuenta diariamente de los consumos y existencias.

El avance de galerías o las voladuras en túnel, es una operación más compleja que la voladura en banco, la única “cara libre”, es el frente de la galería, la roca tiene un grado de fijación muy alto, por lo que el consumo específico de explosivos es mayor.

Cuando se realiza una voladura, se produce un tampón de gases resultantes de la explosión, este tapón se compone principalmente de CO₂, CO, H₂O, N₂, NO, NH₃, entre otros elementos, también se produce polvo procedente de las rocas y material perforado, la ventilación forzada hace que este tapón y el polvo se disipe más rápidamente. No es conveniente que los operarios estén sometidos a este tapón de gases, dado que hay algunos que son tóxicos, aunque sea en bajas concentraciones.

El caudal para la dilución de los gases de voladura viene dado por la siguiente expresión:

$$Q = \frac{100 \cdot a \cdot A}{0,01 \cdot t}$$

Donde Q es el caudal de aire en m³, t; el tiempo de ventilación en segundos (entre una y dos horas), A; explosivo por pega en kg, a; en el caso de dinamita goma valdría 0,04.

La dinamita que actualmente está recomendada por la Unión Española de Explosivos y utilizada en este tipo de explotaciones, es la Riodin, dado que las rocas son de dureza media/alta y se trabaja en ambientes húmedos, las características de este explosivo son las siguientes:

- Excelente calidad de los humos.
- Alta densidad y gran resistencia al agua.
- Fácil uso.
- Alta velocidad de detonación.
- Baja emisión de gases.

	UNIDAD	VALOR
Densidad	g/cm ³	1,5
Velocidad de detonación	m/s	6.000
Calor de explosión	MJ/kg	4,54
Presión de detonación	Kbar	207
Volumen de gases	L/kg	886
Resistencia al agua		Excelente
Categoría de humos		1 ^a

Tabla A.2.- Características técnicas de la dinamita Riodin (MAXAM).

Como se ha comentado en secciones anteriores, el hecho de poder localizarse tras dique, alturas de agua de más de 100 metros de altura, implica que se debe proceder con extrema cautela a la hora de realizar las voladuras para evitar romper el dique de forma segura y conocer las presiones tras dique. El agua drenada se conduce a una zanja, revestida de hormigón, diseñada para que pueda drenar un caudal de “al menos” 500 L/s, que en la fase constructiva verterá a los barrancos o bien se podría utilizar en fincas cercana para riego, nunca para abastecimiento, dado que puede tener restos de explosivo y restos de materiales usados para la construcción de la mina (plásticos, combustibles, etc.). Posteriormente

este canal se puede entubar para la fase de explotación de la mina con caudales de diseño inferiores, según el caudal de la explotación determinado en los ensayos correspondientes. La perforación se lleva a cabo mediante un martillo neumático cuando sean materiales excavables, el arranque con explosivos tipo goma 2 ECO o Riodin en materiales más masivos, como por ejemplo las coladas basálticas masivas con diaclasado muy cerrado, con pala manual o neumática y el transporte con locomotora y vagonetas de escombros que serán depositados en la escombrera en el exterior de la explotación. La cuantificación de cuanto material será excavable y cuanto deberá ser extraído con explosivos, es de muy difícil estimación.

Las obras auxiliares son; las vías para el avance de la locomotora, la conducción de aire comprimido, la conducción de ventilación forzada y la conducción hidráulica para la canalización de las aguas alumbradas.

178

Los rendimientos de avance medios, con el fin de estimar un plan de obra razonable, se estiman en función de si la perforación es en seco, o en zona saturada, esto puede variar de seis metros (seco) y descender a cuatro metros (zona saturada) al día, en jornadas de 12 horas. Estos avances pueden variar en función de las características de la sección atravesada, por ejemplo; si es inestable, si hay que hacer un anchurón, construir una plataforma para los ventiladores etc.

Cuando aparecen materiales escoriáceos, arcillosos o conglomerados, se presenta una inestabilidad en la sección, pueden existir desprendimientos y, es necesario actuar mediante la propuesta de sostenimientos o refuerzos en la sección. Los objetivos del sostenimiento son:

1. Evitar que el terreno pierda sus propiedades resistentes.
2. Evitar el desprendimiento de cuñas o zonas sueltas del terreno por el proceso de excavación.
3. Limitar las deformaciones en la cavidad creada.
4. Proporcionar seguridad a las personas e instalaciones.

Los sostenimientos habituales, donde sean necesarios, en función del problema geotécnico valorado, suelen ser:

1. Hormigón, encofrado y armado.
2. Mediante bloques macizos de hormigón.



Figura A.13.- Revestimiento con bloques de hormigón macizo.

3. Bulonado². Este sistema no se usa en galerías tradicionales debido a su pequeña sección.
 4. Mediante archetes de hormigón ciclópeo en hastiales con losas de hormigón en la clave.
 5. Mediante marcos metálicos de perfiles de acero.
 6. Inyectado de cemento.
 7. Gunitado, hormigón proyectado con un espesor mínimo de 5 cm. Este sistema no se usa en galerías tradicionales debido a su pequeña sección, que impide el uso de la maquinaria necesaria.
 8. Cercos metálicos y planchas de enfilaje con secciones perforadas (materiales arcillosos).
-
2. Los sistemas de bulonado de rocas se usan para estabilizar la masa rocosa en minas de interior y en la excavación de túneles. Los bulones de refuerzo se disponen sistemáticamente para transferir la carga de la superficie inestable o del exterior de la roca a la parte interior, mucho más fuerte, de la misma.

A.6.5 Control de las vibraciones

Desde el punto de vista de los efectos de las explosiones, hay que tener especial cuidado con las vibraciones producidas por la perforación de la galería, ya que estas, pueden afectar a las edificaciones en superficie. Este hecho ya ha sido constatado en algunas galerías en construcción, en isla de La Palma, Canarias.

Debido a la anisotropía de las rocas volcánicas, no es posible predecir el nivel de vibración. Existen diferentes tipos de ondas emitidas por la explosión; ondas “P”, longitudinales, ondas “S”, transversales, estos dos tipos de ondas se mueven en toda la masa de la roca, de tal manera que son consideradas internas, finalmente se forman ondas superficiales; ondas Raleigh, “R”, de naturaleza vertical y ondas Love de oscilación horizontal, con mayores amplitudes y longitudes de onda que las P y S.

Durante su producción las ondas mueven las partículas del medio que recorren produciendo sobre éstas velocidades, desplazamientos y aceleraciones que se pueden registrar en los aparatos destinados para este fin. Los registros de desplazamiento, velocidad y aceleración de partículas generados por las voladuras tienen tres características primordiales: la amplitud, frecuencia y la duración.

Las vibraciones dependen fundamentalmente de varias variables, que pueden ser controlables o no, estas son:

- Características de las rocas que atraviesa la mina y las situadas en su montera.
- Carga de explosivo en la pega.
- Consumo específico de explosivo.
- Tipo de explosivo.
- Tiempo de retardo.
- Geometría de la voladura.

Para el control de las vibraciones, hay que seguir la norma UNE 22-381-93, esta norma define claramente el tipo de estudio a realizar en materia de vibraciones previo a la realización de una voladura de acuerdo con las características de la misma, el macizo rocoso circundante, y la distancia de las edificaciones a proteger.

%CO ₂	SÍNTOMAS
0,02	Produce dolor de cabeza después de cuatro horas de exposición
0,04	Produce dolor de cabeza y malestar en dos horas
0,12	En media hora produce palpitaciones del corazón tendencia a perder el equilibrio en una hora y media
0,20	Produce inconsciencia en media hora

Tabla A.3.- Efectos de la reducción del aumento del CO₂.

El cálculo habitual es el siguiente:

$$Q = 924,79 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{F_e} \cdot \frac{1}{F_R} \cdot F_a \cdot D^2$$

Donde Q, es la carga máxima expresada en kilogramos, las “F”, son factores que tienen que ver con la estructura, macizo rocoso y recta, D es la distancia a la estructura en metros.

A.6.6 La ventilación

El aire de las galerías de agua, es una mezcla de gases y vapor de agua, se acerca mucho a los gases perfectos, en cuanto a sus propiedades. En los terrenos volcánicos es frecuente el registro de anomalías térmicas positivas y, emanaciones de gases. Las primeras están asociadas al volcanismo reciente de las islas las emanaciones a la actividad magmática. Los gases de esta tipología están compuestos de componentes volátiles disueltos en el mismo magma, entre un 98% y un 99% son H₂O y CO₂, también pueden aparecer SO₂, H₂S, HCl, H₂, y, en menores cantidades (menos de un 0,1%) compuestos y moléculas de HF, B, Br, O₂, CO, CH₄, NH₄. El gas CO, también puede estar asociado al gas producido en la combustión del motor de la locomotora del convoy, en cantidades de hasta 0,28 m³/min, este hecho puede dar valores elevados de este gas en los medidores (en menor medida de metano, aldehídos y SO₂) y, tendrá que ser tenido en cuenta.

No es usual encontrar en las minas grandes cantidades de CH₄. La concentración de los gases en la mina puede verse alterada por causas atmosféricas exteriores, en los casos



Figura A.14.- Ventilación flexible para adecuar la atmósfera de la mina en el proceso constructivo de la misma.



Figura A.15.- Medidor personal de gases en la mina.

182

donde no haya una ventilación artificial y, en base a las características físicas del terreno. La variación de la presión atmosférica y la temperatura provocan un flujo de aire hasta que se equilibran las condiciones del interior con el exterior. Nunca se debe estar en una explotación con una concentración de O_2 menor del 19%.

Estacionalmente (invierno-verano), la temperatura también puede variar las condiciones de trabajo en el interior de la mina. En invierno el aire frío y denso diluye los gases de toda la galería. En verano, es el caso contrario, los gases, en flujo ascendente, alcanzan a la galería sin diluir.

En la perforación de galerías, es importante mantener una buena ventilación para evacuar los gases de los explosivos utilizados y los procedentes del terreno (principalmente dióxido de carbono CO_2) y, evitar accidentes por asfixia. Cuando no se contempla el diseño de un equipo de ventilación, es debido a que la galería se ventila de manera natural, por difusión, en fondo de saco. Hay que tener en cuenta que esto es habitual en algunas galerías dado el carácter poroso de algunos materiales volcánicos. En algunas galerías sin ventilación forzada se han utilizado los grifos de aire comprimido para obtener aire fresco además de reducir la temperatura ambiente de la galería.

El ambiente de la galería se ve permanentemente alterado por efectos originados por la actividad laboral —La respiración humana produce aproximadamente $47,20 \text{ m}^3/\text{s}$ de CO_2 , por operario—, y la propia naturaleza de los terrenos atravesados:

- Emanaciones gases (dióxido de carbono, metano, sulfhídrico).
- Gases procedentes de la actividad volcánica.

EFECTOS DE LA REDUCCIÓN DE OXÍGENO	
CONTENIDO DE OXÍGENO	EFECTOS
17 %	Respiración rápida y profunda. Equivale a 2.500 m.s.n.m.
15 %	Vértigo, vahído, zumbido en oídos, aceleración latidos.
13 %	Pérdida de conocimiento en exposición prolongada.
9 %	Desmayo e inconsciencia.
7 %	Peligro de muerte. Equivale a 8.800 m.s.n.m.
6 %	Movimientos convulsivos, muerte.

Tabla A.4.- Efectos de la reducción de oxígeno.

- Humos de explosivos y de máquinas.
- Respiración humana.
- Elevación del nivel de humedad, debido al vapor generado por la evaporación del agua del acuífero por la actividad volcánica.
- Polvo en suspensión, contaminación sólida.
- Ausencia de O_2 , en galerías sin agua ni ventilación, debido a la ausencia de porosidad, en zonas con materiales antiguos.

En un anexo de ventilación, el primer problema que hay que afrontar, es la cantidad de aire que los ventiladores moverán dentro de la galería. Son varios los factores que se deben tomar en cuenta para lograr el caudal más conveniente. Para la determinación de la velocidad del aire se utilizan los anemómetros de hélice, son pequeños aeromotores, en los que una rueda de hélices de aluminio, cuyo número de revoluciones es proporcional a la velocidad del aire, impulsa un mecanismo indicador, el rango de velocidades que mide varía entre 0,2 a 6 m/s.

Para calcular el aire requerido se deberán considerar los siguientes aspectos:

1. Velocidad del aire.
2. Cantidad de aire para los operarios.
3. Aire necesario para diluir o remover los gases y el polvo.
4. Cantidad de aire adecuado para enfriar la galería, en caso de tener que trabajar con altas temperaturas (en el caso particular de Canarias se han llegado a temperaturas de 45 °C).

CAUDAL	FÓRMULA DE CÁLCULO	PARÁMETROS
Caudal respiración operarios m ³ /s	$Q = 0,04 \times n$	n; número de operarios
Caudal para remover los gases locomotora m ³ /s	$Q = 0,03 \times N$	N; potencia de la locomotora
Caudal necesario corregido por la altitud situada la explotación m ³ /s	$Q' = Q \times (760/P)$	Q; caudal necesario sin corrección P; presión en la altitud de la explotación en mm de Hg

Tabla A.5.- Cálculo de caudales de ventilación en las galerías de agua.

Con respecto al polvo hay que tener en cuenta que si este está muy concentrado del orden de 0,5 mg/m³, se debe considerar como un espacio peligroso en relación a la salud de los trabajadores. Influye notablemente el tiempo de exposición que haya tenido el trabajador.

Dependiendo del sentido de circulación del aire se distinguen tres tipos de esquemas de ventilación:

- Soplante.
- Aspirante.
- Mixta (aspirante y soplante).

Las conducciones utilizadas, suelen ser de acero galvanizado de arrollamiento helicoidal con un Diámetro nominal de 500 con 0,6 mm de espesor y flexibles cuando se está en fase constructiva.

A.6.7 Instalaciones neumáticas

El sistema de aire comprimido se suele ubicar en los hastiales, lo forma una tubería de acero galvanizado de 3" de diámetro que parte de la sala de máquinas hasta la zona donde se esté trabajando. A lo largo de la traza se diseñan numerosos grifos de aireación que, en algunas ocasiones, se utilizan para refrescar el ambiente, —es necesario recordar que en algunas galerías se llega a temperaturas del orden de 40-50 °C—. Los grifos de aireación están compuestos por collarín de acero, llave de paso y una manguera flexible. El principal



Figura A.16.- Grifo de aire comprimido a lo largo de la traza de la mina.

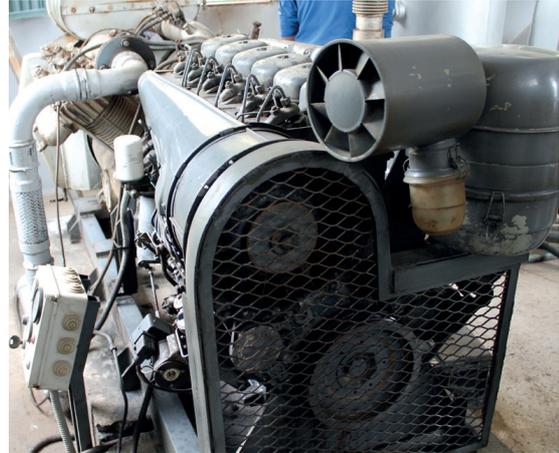


Figura A.17.- Grupo motor.

uso que se le da a la instalación neumática es para el accionamiento de los equipos de perforación manuales, con el fin de perfilar o avanzar en el desarrollo de la traza de la galería.

A.6.8 Instalaciones

Teniendo en cuenta los condicionantes ambientales y respetando en todo momento el entorno de la explotación, se debe diseñar y construir los siguientes elementos:

- Sala de máquinas.
- Dependencias de personal.
- Caseta-almacén.
- Tanquilla de aforo.
- Conducciones.

Los tres primeros, son los que se construyen inicialmente antes de comenzar la perforación, los dos últimos una vez concluida la obra. En la sala de máquinas se ubican los siguientes grupos, un motor-compresor y un motor-ventilador, con sendos depósitos de gasoil que no suelen superar los 1.000 L de capacidad.

Las dependencias del personal, hay que tenerlas en cuenta para posteriores trabajos de explotación, o bien, de reperfóraci3n de la mina, los operarios, por los horarios de trabajo suelen dormir en las propias instalaciones. Esta instalaci3n consta de un edificio de hormig3n, con cocina, vestuario, comedor, aseos y dependencias. El suministro el3ctrico, si no hay l3neas el3ctricas para suministro energ3tico, se hace mediante un motor diesel. Esta edificaci3n, se suele complementar con otra para el almacenamiento de herramientas y 3tiles de trabajo.



Figura A.18.- Edificio de dependencias exteriores de la explotación.

La instalación eléctrica tiene como función principal la alimentación de los equipos de ventilación y de aire comprimido, cuando éstos se accionen de esa manera. Aunque en muchas galerías, tanto los ventiladores como los compresores de aire se accionan directamente por un motor diésel.

Hay que tener en cuenta la seguridad de la explotación, dado que se ubican en zonas despobladas y, están sometidas a robos y actos vandálicos, se podría proponer algún sistema de video vigilancia, aunque no hay experiencias previas. Mención aparte tienen los polvorines, hay que ubicarlos en el interior de la galería, en dos cajas fuertes, una para los detonadores y otra para el explosivo. Se recuerda la obligatoriedad de que la mina, tenga una puerta metálica exterior.

A.6.9 Documento de seguridad y salud

En el proyecto es necesario identificar a la empresa promotora de las obras, el centro de trabajo, trabajadores y las actividades y procesos. Dada la naturales de las operaciones

a realizar es necesario hacer un documento de seguridad y salud cuyo contenido debe contener “al menos los siguientes epígrafes”:

1. Introducción.

2. Objeto.

2.1 Ámbito de aplicación y variaciones respecto del documento anterior.

3. Datos generales de la actividad extractiva.

3.1 Identificación de la empresa.

3.2 Identificación del centro de trabajo.

3.3 Identificación de los trabajadores, cualificación y tipos de contrato laboral.

3.4 Identificación de las contratatas, y sus trabajadores.

3.5 Descripción de las actividades e identificación de los procesos.

4. Organización de la prevención.

4.1 Política preventiva.

4.2 Empresario.

4.3 Director facultativo.

4.4 Modalidad preventiva.

4.5 Recurso preventivo.

4.6 Representantes de los trabajadores y dedicación en materia de seguridad y salud.

4.7 Responsabilidades y funciones en materia preventiva.

4.8 Consulta y participación de los trabajadores.

5. Identificación de peligros derivados de la actividad.

5.1 Identificación de los lugares de trabajo.

5.2 Identificación de los puestos de trabajo.

5.3 Peligros en los lugares y puestos de trabajo.

6. Evaluación de riesgos laborales en la empresa.

6.1 Evaluación general de riesgos en la empresa.

6.2 Evaluación de riesgos por puestos de trabajo.

7. Prevención de riesgos en la empresa.

7.1 Planificación de la acción preventiva.

7.2 Medidas de prevención y protección para las condiciones generales y lugares de trabajo.

7.3 Medidas de prevención y protección para trabajadores singulares.

En la fase de explotación de la galería, para la verificación de la seguridad minera se analizará el grado de cumplimiento de acuerdo con las siguientes normativas:

- La Ley de Prevención de Riesgos Laborales 31/1995 y sus modificaciones posteriores.
- El Real Decreto 1215/1997, que establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- El Real Decreto 1389/1997, por el que se aprueban las disposiciones mínimas destinadas a proteger la seguridad y la salud de los trabajadores en las actividades mineras.
- El Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera:
 - a. Las Instrucciones Técnicas Complementarias.
 - b. Especificaciones Técnicas.
- Normativas Autonómicas.
- Cuanta normativa técnica específica sea de obligado cumplimiento.

Al final del estudio, de seguridad minera de cada galería y con los datos obtenidos, se elaborará un informe en el que se establecerán las medidas de mejora y/o medidas correctoras a implantar por la empresa explotadora del recurso; para una mejor implantación y seguimiento de estas medidas, se priorizarán por orden de importancia.

A.6.10 Aspectos ambientales

Para los aspectos e impactos ambientales, hay que tener en cuenta la ubicación de la explotación y aplicar la normativa existente en materia de medioambiente, a la que está sometida el emplazamiento de la galería.

En el caso de las Islas Canarias, donde están situadas la mayoría de las explotaciones de estas características, es necesario aplicar evaluación de impacto ecológico, tanto a proyectos privados como públicos, que bien por su tipología o por razón de ubicación pudieran producir impacto, quedando afectados no sólo las grandes obras sino también los pequeños proyectos. La Ley 11/1990 de 13 de Julio de Prevención del Impacto Ecológico establece las distintas categorías de Evaluación a aplicar en función de la financiación, del lugar y de la actividad a realizar.

Inicialmente en este anejo, se contemplan las características generales del entorno donde se va a construir la explotación, inicialmente las geográficas, partiendo de la descripción del municipio, paraje o zona de actuación. Seguidamente se estudia el clima, la geología y

la hidrología, esta última atendiendo especialmente a la red de drenaje como los barrancos, nacientes etc. El inventario y la calidad ecológica de la flora y la fauna, es de especial importancia cuando se van a proyectar obras con la necesidad de construir nuevos accesos y caminos, dado que, se deben hacer desbroces, desmontes, terraplenes... incluyendo los impactos en la fase constructiva, tales como ruido, polvo etc. Finalmente hay que hablar del entorno social y económico, en este destaca la población, su evolución, economía. Dentro de este último apartado hay que indicar el patrimonio histórico y arqueológico, especialmente si la explotación va a interferir con el mismo.

Después de la descripción del entorno se procede a identificar y valorar los impactos generados por la construcción de una galería, los cuales se pueden enumerar de la siguiente manera:

1. Consumo de recursos.
2. Factores físicos.
 - a. Retirada de vegetación.
 - b. Desmonte y terraplenes para la construcción de accesos.
 - c. Excavación para emboquille de la mina.
 - d. Extracción de áridos de la perforación.
 - e. Vertederos de escombros.
3. Factores climáticos.
 - a. Emisión de polvo.
 - b. Gases.
 - c. Ruidos.
 - d. Vibraciones.
4. Paisaje.
 - a. Traza de los accesos.
 - b. Edificios y dependencias auxiliares.
 - c. Conducciones hidráulicas.
5. Impacto sanitarios, biológicos y químicos.
 - a. Afección a la fauna y la flora.
 - b. Residuos sólidos.
 - c. Contaminación por hidrocarburos.
 - d. Aguas residuales y contaminadas por restos de explosivos etc.

Hay que tener especial precaución en que la explotación de la galería no afecte a caudales superficiales alumbrados por manantiales. En ese caso, se estaría obteniendo por la mina, recursos que anteriormente se obtenían por los nacientes. Esto incluso puede suponer un perjuicio grave a agricultores o ganaderos que obtenían esos recursos de manera superficial.

Finalmente, hay que destacar que el éxito en una explotación de estas características supone el aumento de recursos hídricos para la población y sus actividades económicas, tales como la agricultura y el turismo, por lo tanto supone un impacto positivo en este sentido.

IMPACTO	FASE CONSTRUCCIÓN	FASE EXPLOTACIÓN
Consumo de recursos	N	P
Retirada de vegetación	P	N
Desmote y terraplenes para la construcción de accesos	S	N
Excavación para emboquille de la mina	S	N
Extracción de áridos de la perforación	P	N
Vertederos de escombros	P	N
Emisión de polvo	N	N
Gases	N	N
Ruidos	P	N
Vibraciones	P	N
Traza de los accesos	S	S
Edificios y dependencias	S	S
Conducciones hidráulicas	S	S
Afección a la fauna y la flora	N	N
Residuos sólidos	N	N
Contaminación por hidrocarburos	N	N
Aguas residuales y contaminadas por restos de explosivos etc.	P	N

Tabla A.6.- Impactos principales del proyecto de una galería, Nada significativo (N), Poco significativo (P), Significativo (S), Muy Significativo (M).





BIBLIOGRAFÍA y TRABAJOS CITADOS

193

- APPELO C.A.J., POSTMA D. (1993). *Geochemistry, groundwater and pollution*. Balkema Publishers, Netherlands, 536 pp.
- ARAÑA V., LÓPEZ J. (1974). *Dinámica y Petrología de sus productos*. Madrid: Colección Colegio Universitario. Ediciones Istmo.
- BABIKER M., GUDMUNDSSON A. (2004). *The effects of dykes and faults on groundwater flow in an arid land: The Red Sea Hills, Sudan*; J. Hydrol. 297 256–273.
- BJANARSON, B., (1993). *Groundwater on Small Oceanic Islands. Some Problems and Solutions*. Comunicação apresentada no Seminário Recursos Hídricos e o Ambiente na Região Autónoma dos Açores. Câmara Municipal de Angra do Heroísmo. 10p.
- BOE (2003). Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios para la calidad de las aguas destinadas al consumo humano. (BOE Nº 45 de 21 de febrero de 2003, 7228-7245).
- D'ALESSANDRO, W. (2006). *Human fluorosis related to volcanic activity: a review*. Transactions of the Wessex Institute, <http://dx.doi.org/10.2495/ETOX060031>.
- DREVER, J.I. (1997). *The geochemistry of natural waters: Surface and groundwater environments*. Prentice-Hall Inc.
- CABRERA, M.C.; JIMÉNEZ, J. & CUSTODIO, E. (eds) (2011). *El Conocimiento de los recursos hídricos en Canarias: cuatro décadas después del Proyecto SPA-15* [The knowledge of water resources in the Canaries: four decades after Project SPA-15]. Asociación Internacional de Hidrogeólogos-Grupo Español. Las Palmas de Gran Canaria, Spain.
- CARRACEDO, J.C., (2011). *Geología de Canarias*, I. Ed. Rueda. 398 p.
- CARRACEDO, J.C., TILLING, R. (2003). *Geología y volcanología de islas volcánicas oceánicas Canarias-Hawái*. Tenerife: Servicio de Publicaciones de la Caja General de Ahorros de Canarias nº 293.
- CAMARGO, J.A. (2003). *Fluoride toxicity to aquatic organism: a review*. Chemosphere 50(3): 251-264.

- CONSEJO INSULAR DE AGUAS, CABILDO DE TENERIFE, (1996). Plan Hidrológico Insular.
- CUSTODIO, E., LLAMAS, M. R. (1976; 1983). *Hidrología Subterránea*. 2ª Edición Corregida. Volumen 1 y 2. Ed. Omega. Barcelona, 2359 pp.
- CUSTODIO, E. (1978). *Geohidrología de terrenos e islas volcánicas*. Centro de Estudios Hidrográficos e Instituto de Hidrología, 128, 303 pp., Madrid.
- CUSTODIO, E. (1985). *Low permeability volcanics in the Canary Islands (Spain)*. *Hydrogeology of Rocks of Low Permeability*. International Association of Hydrogeologists, Tucson, Arizona, 533-544.
- CUSTODIO, E. (1986). *Groundwater characteristics and problems in volcanic rock terrains. Isotope techniques in the study of hydrology of fractured and fissured rocks, Proceedings of An Advisor Group Meeting*, Agencia Internacional de la Energía Atómica, Viena.
- CUSTODIO E., HOPPE J., HOYOS-LIMÓN A., JIMÉNEZ J., PLATA A., UDLUFT P. (1987). *Aportaciones al conocimiento hidrogeológico de Tenerife utilizando isótopos ambientales*. Hidrogeología y Recursos Hidráulicos. Asociación Española de Hidrogeología Subterránea. Vol. XI, 263-280.
- CUSTODIO, E. (1987). *Ground water problems in coastal areas: studies and reports in hydrology*, nº 45, UNESCO, 595 pp.
- CUSTODIO E. (1988). *Hidrogeochemistry of Tenerife Island*. Revista Española de Hidrogeología. Asociación Española de Hidrogeología Subterránea, 3: 1-19
- CUSTODIO, E., JIMÉNEZ, J., ANTONIO, J., NUÑEZ, J., PUGA, L., BRAOJOS, J. (1991). Case Study No. 4: *Canary Islands. (Canary Island.) Hydrology and water resources on small island: A practical guide*. A. Falkand. UNESCO. 4, 339-355.
- CUSTODIO E., CABRERA, M.C. (2013). *Métodos de estudio hidrogeológicos e hidrogeoquímicos*, en *Hidrología y Recursos Hídricos en Islas y Terrenos Volcánicos*, (Santamarta, J.C., ed.) Colegio de Ingenieros de Montes: Madrid. 556 pp.
- CUSTODIO, E. (1995). *La gestión de los acuíferos costeros como fuente de un recurso importante y estratégico: progreso y futuro. Punto de vista del usuario*. En: Las aguas subterráneas en la Ley de aguas española: un decenio de experiencia. AIH. Madrid. 239-251.
- CUSTODIO, E. (2004). *Myths about seawater intrusion in coastal aquifers*. *Groundwater and saline intrusion*. 18 SWIM, Cartagena 2004. IGME. Madrid. 599-608.
- CUSTODIO, E. (2004). *Hydrogeology of volcanic rocks*, in: *Hydrogeology of Volcanic Rocks*, UNESCO, Paris, 395-425.
- CUSTODIO, E. (2007). Chapter 5 - *Groundwater in volcanic hard rocks*, in: *Groundwater in Fractured Rocks*. Selected papers from the Groundwater in Fractured rocks International Conference, Prague, 2003. Eds: Krásný, J. and Sharp, J.M. Taylor & Francis Group, London, UK. 95-108.
- CUSTODIO, E. (2010). *Coastal aquifers of Europe: an overview*. *Hydrogeology Journal*, 18, 269-280.
- DAHLGREN, R., SHOJI, S., & NANZYU, M., (1993). *Mineralogical characteristics of volcanic ash soils*. In S. Shoji, M. Nanzyo & R. Dahlgren (Eds.), *Volcanic ash soils: genesis, properties and utilization* (pp. 288). Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V.

- DAHLGREN, R. A., SAIGUSA, M., & UGOLINI, F. C., (2004). *The nature, properties and management of volcanic soils*. In D. L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy*, Vol 82 (Vol. 82, pp. 113-182).
- DEPARTAMENTO DE PETROLOGÍA Y GEOQUÍMICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS GEO-LÓGICAS DE LA UCM. (2013). *Proyecto de Innovación y Mejora de la Calidad Docente (PIMCD-51)*. Consultado de <https://petroigne.wordpress.com/tiposrococos/clasificacion/rocas-volcanicas/>
- EFE (2013). *El CSIC halla en un mineral etíope la base para eliminar el flúor del agua*. Agencia EFE. Recuperado el 9 de abril: <http://www.efefuturo.com/noticia/un-mineral-etiope-tiene-la-base-para-eliminar-el-fluor-del-agua/>
- FALKLAND, A., E CUSTODIO, E., 1991. *Hydrology and water resources of small islands: a practical guide*. Ed. A. Falkland. UNESCO. 500p.
- FAO - ORGANIZACIÓN PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (2001). *Major Soils of the World*. ISRIC Wageningen, The Netherlands.
- FAO, 2006. *Evapotranspiración de cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Autores: Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D. y Smith, M. Riego y Drenaje n° 56. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 298 pp.
- FERNÁNDEZ-CALDAS, E. Y PÉREZ- GARCÍA, V. (1974). *Características químicas de las aguas subterráneas de las islas Canarias occidentales*. Centro de Edafología y Biología Aplicada de Tenerife (Consejo Superior de Investigaciones Científicas), Aula de Cultura de Tenerife, Santa Cruz de Tenerife: 67-71.
- FERNANDES, J.G.C., (1985). *Terceira (Açores). Estudo Geográfico*. Tese de doutoramento. Universidade dos Açores. p. 434 p.
- FLETCHER, C.H., MULLANE, R.A., AND RICHMOND, B.M., (1997). *Beach loss along armored shorelines of Oahu, Hawaiian Islands*. *Journal of Coastal Research*, v. 13, p. 209-215.
- FONTES, J.C., RODRIGUES, F.C., SANTAMARTA, J.C.,(2015). *Disponibilidad de los recursos hídricos superficiales y subterráneos en la isla de Terceira*. En actas del II Workshop "Estudio, aprovechamiento y gestión del agua en terrenos e islas volcánicas". (pp. 271-278). Las Palmas de Gran Canaria.
- FONTES, J. C. & PEREIRA, L. S. (2003). *Quantificação e simulação da erosão hídrica em solos vulcânicos. Relação com o uso do solo*. en: Ferreira, J. P. L.; Franco, A. B; Silva, R; Netto, O; Vaz, A. C.; Rodrigues, A. C. Cunha, L. V. E Leitão, T. (eds.) 6º SILUSBA: Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Praia, Cabo Verde: 399 - 411.
- FONTES, J. C., GONÇALVES, M. C. AND PEREIRA, L. S., (2004). *Andosols of Terceira, Azores: measurement and significance of soil hydraulic properties*. En: Arnalds, O. and Stahr, K. (eds.) Special Issue: Volcanic Soil Resources: Occurrence, Development and Properties. *Catena* 56: 145 - 154.
- FONTES, J. C. & PEREIRA, L. S. , (2003). *Quantificação e simulação da erosão hídrica em solos vulcânicos. Relação com o uso do solo*. en: Ferreira, J. P. L.; Franco, A. B; Silva, R; Netto,

O; Vaz, A. C.; Rodrigues, A. C. Cunha, L. V. E Leitão, T. (eds.) 6º SILUSBA: Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Praia, Cabo Verde: 399 - 411.

FONTES, J. C.; GONÇALVES, M. C. AND PEREIRA, L. S. (2004). *Andosols of Terceira, Azores: measurement and significance of soil hydraulic properties*. En: Arnalds, O. and Stahr, K. (eds.) Special Issue: Volcanic Soil Resources: Occurrence, Development and Properties. *Catena* 56: 145 - 154.

FRENCKEN, J.E. (editor) (1992). *Endemic Fluorosis in developing countries, causes, effects and possible solutions*. Publication number 91.082, NIPG-TNO, Leiden, The Netherlands.

GASPARINI A., FONTES J.C., CUSTODIO E., et al. (1990). *Example d'étude isotopique de circulations aquifères en terrain volcaniques sous climat semi-aride (Amurga, Gran Canaria)*. *Journal of Hydrology*, 114: 61-91.

GUERRA, J. A., ARBELO, C. D., ARMAS, C. M., RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, A., & MORA, J. L., (2003). *Erosión diferencial de Andosoles y Aridisoles en dos zonas climáticas de la isla de Tenerife*. *Edafología*, 10(2), 229-237.

GÓMEZ SANTOS G. (2000). *II Estudio Epidemiológico de la Salud Bucodental Infantil en Canarias*. 1998. Santa Cruz de Tenerife: Dirección General de Salud Pública, Servicio Canario de Salud, Consejería de Sanidad y Consumo.

GOBIERNO DE CANARIAS (2011). Informe Tecnoagua: *Evaluación de Tecnologías Potenciales de Reducción de la Contaminación de las Aguas de Canarias*. Universidad de La Laguna, pp. 266.

HARDISSON DE LA TORRE, A. Y REYES JORGE, J.P. (2003) *Estudio de los contenidos en ion fluoruro en dos zonas endémicas de fluorosis dental en las Islas Canarias*. *Alimentaria*, Noviembre: 43-48.

HEIDWEILLER, V. M. L. (1990). *Fluoride removal methods*. In: Proc. Symposium on Endemic Fluorosis in Developing Countries: Causes, Effects and Possible Solutions, ed: Frencken, J. E., Chapter 6, NIPG-TNO, Leiden, 51-85.

HERNÁNDEZ SUÁREZ, M. (2006). *El flúor en cifras: límites para el consumo y métodos de eliminación*. El Manantial 33. Fundación Centro Canario del Agua. Tenerife. 1-4.

HERNÁNDEZ GUTIÉRREZ, L.E. (2015). *Caracterización geomecánica de las rocas volcánicas de las islas Canarias*. (Tesis doctoral). Universidad de La laguna. Tenerife.

HARGREAVES, G.H. , SAMANI, Z.A., (1982). *Estimating Potential Evapotranspiration*. Tech. Note. *J. Irri. Drain Eng.*, vol 108(3): 225-230.

HARGREAVES, G.H. Y SAMANI, Z.A. (1985). *Reference Crop Evapotranspiration from Temperature*. *Appl. Eng. Agric.*, vol 1(2): 96-99.

HERRERA, C. (2001). *Caracterización hidrogeoquímica del Macizo de Betancuria, Fuerteventura, Archipiélago de Canarias*. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 225 pp.

IBÁÑEZ J.J.; EFFLAND, W.R. (2011). *Toward a Theory of Island Pedogeography: Testing the driving forces for pedological assemblages in archipelagos of different origins*, *Geomorphology*, Volume 135, Issues 3-4, 15, pp. 215-223.

- INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CANARIAS. (2013). *Proyecto Islhagua*. Recuperado de <http://www.islhagua.org/web/guest/ambito-geografico>.
- IPCC (2007). *Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, 104, Chapter: Climate change and its impacts in the near and long term under different scenarios, IPCC, Geneva, Switzerland, 43–54.
- JONG-HO, W., JI-WOOK, K., GI-WON, K., JIN-YONG, L. (2005). *Evaluation of hydrogeological characteristics in Jeju Island, Korea*. Geosciences Journal, Vol 9, nº1, pp. 33–46.
- JOIN, J.L., COUDRAY, J., LANGWORTH, K., 1997. *Using Principal Components Analysis and Na/Cl ratios to trace ground water circulation in a volcanic island, Reunion Island example*. Journal of Hydrology 190, 1 –18.
- LANDON, J. R., (1984). *Tropical Soil Manual*. Booker Agriculture. Londres: International Limited.
- LLOYD, E.F. E COLLIS, S.K., (1981). *Geothermal Prospection – Ilha Terceira, Açores*: Geological Report. Geothermal Energy New Zealand: Mitsubishi Corporation. Secretaria Regional do Comércio e Industria. 96 p.
- MARRERO, R. (2010). *Modelo Hidroquímico del Acuífero de las Cañadas del Teide, Tenerife, Islas Canarias*. Universidad Politécnica de Catalunya. Tesis doctoral.
- MARZOL, M.V., YANES, A., ROMERO, C., BRITO DE AZEVEDO, E., PRADA, S., MARTINS, A. (2005). *Los riesgos de las lluvias torrenciales de la Macaronesia (Azores, Madeira, Canarias y Cabo Verde)*. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC). Serie A, nº5.
- MACHADO, F., (1959). *Submarine pits of the Azores plateau*. Bull. Volc. 21: 109–116.
- MADRUGA, J.S. (1995). *Características e génese do horizonte plácico em solos vulcânicos do arquipélago dos Açores*. Dissertação de doutoramento, Departamento de Ciências Agrárias, Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo.
- MENDONÇA, J.L.L., (1991). *Prospecção de águas para o abastecimento da Madalena (Pico)*: obra nº 2318. Rel. Técnico Final. Sondagens e Fundações A. Cavaco. 19p.
- MENESES, J.G.A., (1993). *Hidrologia e Hidrogeologia da Ilha Terceira – Grandes Condicionantes*. Comunicação apresentada no Seminário Recursos Hídricos e o Ambiente na Região Autónoma dos Açores. Câmara Municipal de Angra do Heroísmo. 1–56.
- MENESES, J.G.A. RODRIGUES, F.C. (1993). *Recursos Hídricos numa Região Vulcânica Insular, o caso da ilha Terceira*. Anais do 2ª Congresso da Água, III: 161–174.
- MONTEITH, J.L. 1965. *Evaporation and Environment*. 19th Symposia of the Society for Experimental Biology. University Press, Cambridge, (19): 205–234.
- MOPT, (1992). *Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y metodología*. Serie Monografías de la Secretaría de Estado para las Políticas del Agua y del Medio Ambiente. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. Madrid. 809 pp.
- MOORE, J.G., (1987). *Subsidence of the Hawaiian Ridge*, U.S. Geol. Sun., Prof Pap. 1350, 85–100.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION US, (2014). *Age of oceanic crust*. Recuperado de <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/image/crustageposter.gif>

- NASA, (2014). Image Gallery. Recuperado de <http://www.nasa.gov/multimedia/image-gallery/#.VEzWmxaQick>
- NAVARRO, J.M., FARRUJIA, I. (1989). *Zonificación hidrogeológica de Tenerife: Aspectos geológicos e hidrogeológicos*. Plan Hidrológico Insular, Cabildo de Tenerife, Vol. I, p.145.
- NELSON, S.T.; TINGEY, D.G.; SELCK B. (2013). *The denudation of ocean islands by ground and surface waters: The effects of climate, soil thickness, and water contact times on Oahu, Hawaii*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 103:276.
- NANZYU, M., SHOJI, S., & DAHLGREN, R., (1993). *Physical characteristics of volcanic ash soils*. In S. Shoji, M. Nanzyo & R. Dahlgren (Eds.), *Volcanic ash soils: genesis, properties and utilization* (pp. 288). Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V.
- NERIS, J., (2011). *Capacidad de infiltración de los suelos de la isla de Tenerife: Evaluación de los factores implicados* (Vol. 29). La Laguna: Servicio de Publicaciones de la Universidad de La Laguna.
- NERIS, J., JIMÉNEZ, C., FUENTES, J., MORILLAS, G., & TEJEDOR, M., (2012). *Vegetation and land-use effects on soil properties and water infiltration of Andisols in Tenerife* (Canary Islands, Spain). *Catena*, 98(0), 55-62. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2012.06.006>
- NERIS, J., TEJEDOR, M., FUENTES, J., & JIMÉNEZ, C., (2013^a). *Infiltration, runoff and soil loss in Andisols affected by forest fire (Canary Islands, Spain)*. *Hydrological Processes*, 27(19), 2814-2824. doi: 10.1002/hyp.9403
- NERIS, J., TEJEDOR, M., & JIMENEZ, C., (2013^b). *La infiltración en suelos volcánicos*. In J. C. Santamarta (Ed.), *Hidrología y recursos hídricos en islas y terrenos volcánicos* (pp. 552). Tenerife, Spain: Colegio de Ingenieros de Montes.
- NERIS, J., TEJEDOR, M., RODRÍGUEZ, M., FUENTES, J., & JIMÉNEZ, C., (2013^c). *Effect of forest floor characteristics on water repellency, infiltration, runoff and soil loss in Andisols of Tenerife (Canary Islands, Spain)*. *Catena*, 108(0), 50-57. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2012.04.011>
- PÉREZ N.M., WAKITA H., NAKAI S., SANO Y., WILLIAMS S.N. (1994). *³He/⁴He isotopic ratios in volcanic-hydrothermal discharges from the Canary Islands, Spain*. *Mineralogical Magazine*, 58, 709-710.
- PÉREZ N.M., HANOR J.S., CHAN L.-H., STURCHIO N.C., MEANS J. (1995). *Sr isotope systematics for identifying sources of groundwater salinization in oceanic volcanic islands*. *Geol. Soc. Amer. Abstr.*, 27, 98.
- PONCELA R., (2015). *Hidrogeología del sistema acuífero volcánico de La Palma (islas Canarias)*. Tesis doctoral inédita. Universidad de Alicante. España.
- PONCELA, R. Y SKUPIEN, E. (en VPA, 2014). *Estudio de la situación hidrogeológica actual de las galerías: "El Altito" (T.M. de Valle Gran Rey) e "Ipalán" (T.M. de San Sebastián)*. Memoria y anexos. Viceconsejería de Pesca y Aguas. Gobierno de Canarias. 116 pp.
- REGALADO, C.M.; RITTER, A. (2010). Comment on "Fog precipitation and rainfall interception in the natural forests of Madeira Island (Portugal)". *Agr. Forest Meteorol.* 150: 133-134.

- REGALADO, C.M.; GARCÍA-SANTOS, G.; HERNÁNDEZ MORENO, J.M.; PÉREZ BUENAFUENTE, A. Y SOCORRO, A.R., (2003). *Caracterización de la zona no saturada de un bosque maduro de laurisilva en el Parque nacional de Garajonay: hidrofobicidad e implicaciones hidrológicas*, en Estudios de la Zona No Saturada del Suelo, vol VI, pp. 193-200.
- REGALADO, C.M., RITTER, A., (2010). Comment on “Fog precipitation and rainfall interception in the natural forests of Madeira Island (Portugal)”. *Agr. Forest Meteorol.* 150: 133-134.
- RITCHER B.C., KREITLER C.W. (1993). *Geochemical Techniques for Identifying Sources of Ground-Water Salinization*. Edited by C.M. Smoley, CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, USA, 258 pp.
- RODRÍGUEZ WLADIMIRO, B. (1995). *Agricultura en Canarias*. Gran Canaria: Cabildo Insular. 129 p.
- RODRÍGUEZ PAZ, M., NERIS, J., TEJEDOR, M., & JIMENEZ, C., (2010). *Soil Temperature Regimes from Different Latitudes on a Subtropical Island (Tenerife, Spain)*. *Soil Science Society of America Journal*, 74(5), 1662-1669. doi: 10.2136/sssaj2009.0436
- RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, A., ARBELO, C. D., GUERRA, J. A., & MORA, J. L. (2002). *Erosión hídrica en Andosoles de las Islas Canarias*. *Edafología*, 9(1), 23-30.
- RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, A., GUERRA, A., ARBELO, C., MORA, J. L., GORRÍN, S. P., & ARMAS, C., 2004. *Forms of eroded soil organic carbon in Andosols of the Canary Islands (Spain)*. *Geoderma*, 121(3-4), 205-219. doi: 10.1016/j.geoderma.2003.11.009
- RODRIGUES, F.C., (1993). *Estudo Hidrogeológico da Ilha Terceira: contributo para o seu conhecimento*. Provas de Apt. Cap. Ped. Científica. Dep. Ciências Agrárias. Univ. dos Açores. p. 139.
- RODRIGUES, F.C. (2002). *Hidrogeologia da Ilha Terceira (Açores, Portugal)*. Tese de Doutoramento. Universidade dos Açores, Angra do Heroísmo. 500p.
- SANTANA PÉREZ, L.,(1987). *Precipitaciones de nieblas en Tenerife*. Simposio Internacional de Recursos hidráulicos Canarias Agua 2000. Puerto de La Cruz. Tenerife.
- SEIJAS, J. (1998): *Precipitación Horizontal en los Montes Canarios*. V Jornadas Forestales de Gran Canaria.
- SCHEMENAUER S. AND CERECEDA P. (1994). *The Role of Wind in Rainwater Catchment and Fog Collection*, In: *Water International*, 19.
- SANFORD, W.E., DOUGHTEN, M.W., COPLEN, T.B., HUNT, A.G., BULLEN, T.D. (2013). *Evidence for high salinity of Early Cretaceous sea water from the Chesapeake Bay crater*. *Nature*. 503(7475): p. 252-256. doi:10.1038/nature12714
- SANTAMARTA, J.C., RODRIGUES, F.C., QUADROS, S. (2015). *El flúor en las aguas de abastecimiento de la region de la Macaronesia: planteamiento del problema y vías de investigación abiertas*. En actas del II Workshop “Estudio, aprovechamiento y gestión del agua en terrenos e islas volcánicas”. (pp. 271-278). Las Palmas de Gran Canaria.
- SANTAMARTA, J.C., (2014). *Hidrología de las islas volcánicas*. *Montes: revista de ámbito forestal*, 116, 26-31.
- SANTAMARTA, J.C. et al. (2013a). *Hidrología y recursos hídricos en islas y terrenos volcánicos*. Colegio de Ingenieros de Montes.

- SANTAMARTA, J.C.; NARANJO BORGES J. et al. (2013b). *Ingeniería forestal y ambiental en medios insulares*. Colegio de Ingenieros de Montes.
- SANTAMARTA, J.C. et al. (2012a). *Avances en la investigación de los recursos hídricos en islas y terrenos volcánicos*. Colegio de Ingenieros de Montes.
- SANTAMARTA CEREZAL, J.C.; RODRÍGUEZ-MARTÍN, J. (2012c). *Obras hidráulicas en islas y terrenos volcánicos*. Ingeopress, 221, 26-33.
- SANTAMARTA CEREZAL, J.C. (2011). *Estudio y evaluación de las hidrotecnias e infraestructuras hidráulicas, para la prevención de la desertificación, en el Archipiélago Canario*. Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales, 32, 109-115.
- SANTAMARTA CEREZAL, J.C. (2009a). *Singularidades sobre la construcción, planificación y gestión de las obras y recursos hídricos subterráneos en medios volcánicos. Estudio del caso en las Islas Canarias occidentales*. Tesis (Doctoral), E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM). Universidad Politécnica de Madrid.
- SANTAMARTA CEREZAL, J.C.; SEIJAS, J. (2009b). *Fundamentos y tecnologías para la captación y uso del agua procedente de la lluvia horizontal en los Montes Canarios*. Revista Montes, Marzo. Madrid.
- SANTAMARTA J.C., PONCELA R., FONTES, J.C., (2014). *Surface Hydrology and Soil Conservation in Volcanic Islands; Strategies Against Climate Change*. Local and Regional Challenges of Climate Change Adaptation and Green Technologies, University of West Hungary Press, Hungary, pp. 75-79.
- SANTAMARTA J.C., LARIO-BASCONES R.J., RODRÍGUEZ-MARTÍN J., HERNÁNDEZ-GUTIÉRREZ L.E., (2014). *Introduction to Hydrology of Volcanic Islands*. IERI Procedia. ELSEVIER, 9, 135-140.
- SANTAMARTA J.C., RODRÍGUEZ-MARTÍN J., NERIS J. (2014). *Water Resources Management and Forest Engineering in Volcanic Islands*. IERI Procedia. ELSEVIER, 9, 129-134.
- SCHILLING, J.G., (1975). *Azores Mantle Blob: Rare-Earth evidence*. Earth and Planetary Science Letters, 25:103-115.
- SCHMINCKE, HANS-ULRICH E WIEBEL, M., (1972). *Chemical study of rocks from Madeira, Porto Santo and São Miguel and Terceira (Azores)*. N. Jarbuch F. Mineralogie Abhandlugen B.D., 117(3): 253-281.
- SCHILLING, J.G., (1975). *Azores Mantle Blob: Rare-Earth evidence*. Earth and Planetary Science Letters, 25:103-115.
- SCHMINCKE, HANS-ULRICH E WIEBEL, M., (1972). *Chemical study of rocks from Madeira, Porto Santo and São Miguel and Terceira (Azores)*. N. Jarbuch F. Mineralogie Abhandlugen B.D., 117(3): 253-281.
- SEARLE, R., (1980). *Tectonic pattern of the Azores spreading centre and triple junction*. Earth and Planet. Sc. Lett. 51 :415-434.
- SELF, S. E GUNN, B., (1976). *Petrology, Volume and Age Relations of alkaline and saturated Peralkaline volcanics from Terceira, Azores*. Contr. Min. Petrol., s.n., 54 (4): 293-313.
- SELF, S., (1976). *The recent volcanology of Terceira, Azores*. Jl. Geol. Soc. London. 132: 645-666.

- SELF, S., (1980). *Guide for field trip V2, Island of Terceira*. IAVCEI, International Symposium on the activity of Oceanic Volcanoes. Ponta Delgada.
- SELF, S., (1974). *Recent volcanism on Terceira, Azores*. PhD thesis. London University, Imperial College.
- SHOJI, S. et al. (1994). *Volcanic ash soils. Genesis, properties and utilization*. ELSEVIER. ISBN: 978-0-444-89799-2
- SOIL SURVEY STAFF., 1999. *Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. Washington, D.C.: N.R.C.S. USDA.
- SOLER LICERAS, C. (2004). *Obras y aprovechamientos hidráulicos*. Apuntes de la Asignatura. Universidad de La Laguna.
- SOLSONA, F., (1985). *Water defluoridation in the Rift Valley, Ethiopia*. UNICEF. Technical Report, Addis Ababa, 27 pp.
- STEINBERGER, B., (2000). *Plumes in a convecting mantle: Models and observations for individual hotspots*, Journal of Geophysical Research, Vol 105 (B5), pp. 11127-11152)
- SZEKELY, J. & REITAN, O. H. (1971). *Dike filling by magma intrusion and by explosive entrainment of fragments*. Journal of Geophysical Research, 76(11), 2602-2609.
- SUÁREZ, F. (2015). *Minas de Agua en Gran Canaria (1501-1950)*. Cabildo de Gran Canaria. Consejo Insular de Aguas.
- SRUOGA, P. RUBINSTEIN, N., HINTERWIMMER, G. (2004). *Porosity and permeability in volcanic rocks: a case study*. Journal of Volcanology and Geothermal Research. Vol 132, pp 31-43.
- TEJEDOR, M., NERIS, J., & JIMÉNEZ, C., (2013). *Soil Properties Controlling Infiltration in Volcanic Soils (Tenerife, Spain)*. Soil Sci. Soc. Am. J., 77(1), 202-212. doi: 10.2136/sssaj2012.0132
- THORNTHWAITTE, C.W., 1948. *An approach toward a rational classification of climate*. Geogr. Rev., (38):55-94.
- VEEGER, A.I. (1991). *Geochemical methods for evaluating the origin and evolution of ground water in volcanic rocks*. Tesis Doctoral, University of Arizona. 241 pp.
- WESLEY, L. D. (1998). *Geotechnical characterization and behavior allophone clays*. University of Auckland, Auckland .New Zeland.
- WHO (2011). *Guidelines for drinking-water quality*. 4th edition. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data.
- WILSON, J.T., (1963). *A possible origin of the Hawaiian Islands*. Canadian Journal of Physics V. 41, p. 863-870.
- WON, J. H., LEE, J. Y., KIM, J. W., & KOH, G. W. (2006). *Groundwater occurrence on Jeju Island, Korea*. Hydrogeology Journal, 14(4), 532-547.
- WORTS, G.F., (1950). *Memorandum report on the development of an adequate ground-water supply for Lagens Air Force Base, Terceira I., Azores*. United States Department of Interior, Geological Survey Ground Water Branch.
- WORTS, G.F., (1974). *Formaciones Geológicas del Medio Atlántico, en lo que se refiere a las aguas subterráneas de la isla Terceira, Açores*. Comunicação apresentada no Simposio Internacional sobre Hidrologia de Terrenos Vulcanicos, Lanzarote.

LISTA DE TABLAS

- **TABLA 1.1.-** Progresión de las edades de las diferentes islas del archipiélago Canario (Carracedo, 2011).
..... 22
- **TABLA 1.2.-** Origen de diferentes islas volcánicas oceánicas.
..... 23
- **TABLA 1.3.-** Ciclo de vida de las islas volcánicas (con subsidencia importante como Hawái o sin ella, como Canarias) Adaptado de (Carracedo & Tilling, 2003).
..... 30
- **TABLA 1.4.-** Algunas características de las rocas volcánicas.
..... 35
- **TABLA 1.5.-** Tipo de lava y estructura volcánica común asociada.
..... 38
- **TABLA 1.6.-** Procesos volcánicos y productos asociados.
..... 40
- **TABLA 1.7.-** Denominación de los piroclastos en función del tamaño y forma.
..... 44
- **TABLA 2.1.-** Precipitaciones medias en diferentes sistemas insulares volcánicos.
..... 51
- **TABLA 2.2.-** Efectos del uso del terreno en los componentes del ciclo hidrológico en las islas.
..... 54
- **TABLA 2.3.-** Clasificación de la infiltración de los suelos de Tenerife. Fuente: (Neris, 2011).
..... 56
- **TABLA 2.4.-** Efectos de las lluvias torrenciales de los últimos años en sistemas insulares en diferentes latitudes.
..... 65
- **TABLA 3.1.-** Rangos de valores de los parámetros hidráulicos de diversos tipos de litologías y formaciones volcánicas, basados en los datos obtenidos del Proyecto SPA-15 (SPA-15, 1975) de Gran Canaria en Cabrera y Custodio (2013); (Custodio, 1985) en las Islas Canarias.
..... 76
- **TABLA 5.1.-** Sistemas de sostenimiento de galerías en función del problema geotécnico.
..... 115
- **TABLA 5.2.-** Sistemas de sostenimiento de galerías en función de la clasificación del macizo rocoso.
..... 119
- **TABLA 5.3.-** Grupos de terreno según el CTE.
..... 120
- **TABLA 5.4.-** Relación de las unidades geotécnicas de los terrenos volcánicos con respecto al CTE (Hernández-Gutiérrez, 2015).
..... 122
- **TABLA A.1.-** Estado de alineaciones de una galería de agua.
..... 172
- **TABLA A.2.-** Características técnicas de la dinamita Riodin (MAXAM).
..... 177
- **TABLA A.3.-** Efectos de la reducción del aumento del CO₂.
..... 181
- **TABLA A.4.-** Efectos de la reducción de oxígeno.
..... 183
- **TABLA A.5.-** Cálculo de caudales de ventilación en las galerías de agua.
..... 184
- **TABLA A.6.-** Impactos principales del proyecto de una galería.
..... 190

LISTA DE FIGURAS

- **FIGURA 1.1.-** La isla de Madeira, en la región de la Macaronesia. 20
- **FIGURA 1.2.-** Placas y dorsales oceánicas (USGS, U.S Geological Survey). 21
- **FIGURA 1.3.-** Archipiélago de Hawái, vista desde satélite (Wikipedia). 23
- **FIGURA 1.4.-** Islas y zonas volcánicas formadas a partir de la teoría del Punto Caliente (Steinberger, 2000). 24
- **FIGURA 1.5.-** Cono de escoria, en la isla de La Palma, erupción del Teneguía. 26
- **FIGURA 1.6.-** Estratovolcán del Teide, en Tenerife. 27
- **FIGURA 1.7.-** Lagos endorreicos en la isla de San Miguel, en Azores. 28
- **FIGURA 1.8.-** Cráter del volcán de San Antonio, en La Palma. 28
- **FIGURA 1.9.-** Caldera en la isla de El Hierro. 29
- **FIGURA 1.10.-** Restingolitas, productos volcánicos expulsados en la primera fase de la última erupción en la isla de El Hierro. 32
- **FIGURA 1.11.-** Barrancos en V, en la isla de Tenerife. (Foto cortesía Francisco Puerta). 32
- **FIGURA 1.12.-** Barrancos en la caldera de Taburiente, los procesos erosivos y la carga sólida presente es evidente. 32
- **FIGURA 1.13.-** Lava volcánica. 34
- **FIGURA 1.14.-** Diaclasado en el enfriamiento del basalto. 34
- **FIGURA 1.15.-** Rocas volcánicas, diagrama TAS (Departamento de Petrología y Geoquímica de la Facultad de Ciencias Geológicas de la UCM, 2013). 36
- **FIGURA 1.16.-** Rocas volcánicas, diagrama QAPF (Departamento de Petrología y Geoquímica de la Facultad de Ciencias Geológicas de la UCM, 2013). 36
- **FIGURA 1.17.-** Lavas cordadas. 37
- **FIGURA 1.18.-** Lavas "aa". 39
- **FIGURA 1.19.-** "Pillow lavas". 39
- **FIGURA 1.20.-** Piroclastos en las Cañadas del Teide. 41
- **FIGURA 1.21.-** Depósitos piroclásticos en Tenerife. 42
- **FIGURA 1.22.-** Bombas volcánicas en las Cañadas del Teide en Tenerife. 42
- **FIGURA 1.23.-** Relación entre la altura del ascenso del magma (h) y la anchura del dique (w), así como el tiempo de cristalización con respecto a w y el calor latente de cristalización (L) (Szekely & Reitan, 1971). 42
- **FIGURA 1.24.-** Dique geológico. 43

- **FIGURA 1.25.-** Dique geológico y depósitos piroclásticos. 43
- **FIGURA 2.1.-** Mar de nubes en la isla de Gomera. 46
- **FIGURA 2.2.-** Campos de cultivo de piña tropical en la isla de Oahu, Hawái. 46
- **FIGURA 2.3.-** Deslizamiento de ladera en la isla de Fuerteventura. 47
- **FIGURA 2.4.-** Deslizamiento debido a lluvias torrenciales en la isla de El Hierro. 47
- **FIGURA 2.5.-** Suelo volcánico formado sobre colada basáltica. 48
- **FIGURA 2.6.-** Lago y masa forestal en la isla de Terceira, Azores. 48
- **FIGURA 2.7.-** Captación de la precipitación de niebla u horizontal por hojas aciculares. 50
- **FIGURA 2.8.-** Arrastre de sólidos en un curso de agua de un barranco. 53
- **FIGURA 2.9.-** Tomadero de aguas de esorrentía en la isla de Terceira, Azores. 53
- **FIGURA 2.10.-** Mar de nubes en el Hierro. 61
- **FIGURA 2.11.-** Árbol Garoé, en la isla de El Hierro, por condensación de la precipitación horizontal, suministraba el agua a los antiguos aborígenes (Bimbaches). 63
- **FIGURA 2.12.-** Erosión de ladera en la isla de Lanzarote. 68
- **FIGURA 2.13.-** Bancales en ladera, en la isla de La Gomera. 68
- **FIGURA 2.14.-** Sistema de aprovechamiento de agua y conservación de suelos tipo gavia en Lanzarote. 69
- **FIGURA 2.15.-** Erosión en costa, en la isla de Fuerteventura. 71
- **FIGURA 3.1.-** Zona de contacto entre formaciones y presencia de agua en la fisura. 77
- **FIGURA 3.2.-** Diferentes afloramientos de agua en coladas volcánicas fracturadas. 78
- **FIGURA 3.3.-** Alteración hidrotermal, coloquialmente conocida como los "azulejos", en la Caldera de Las Cañadas del Teide (Tenerife). 79
- **FIGURA 3.4.-** Naciente en la isla de Tenerife. 80
- **FIGURA 3.5.-** Buzamiento de coladas. 80
- **FIGURA 3.6.-** Afloramiento de aguas termales en la galería de la Fuente Santa en la isla de La Palma (Tenerife). 81
- **FIGURA 3.7.-** Familia de diques geológicos en el golfo de Frontera en el Hierro. 81
- **FIGURA 3.8.-** Diques en terrenos costeros erosionados en la isla de La Gomera. 82

- **FIGURA 3.9.-** Dique geológico dentro de galería y nomenclatura de números romanos utilizada por el Ingeniero Carlos Soler (2004) en sus perforaciones. 82
- **FIGURA 3.10.-** Paleosuelo o almagre en el Hierro. 84
- **FIGURA 3.11.-** Paleosuelo o almagre en el interior de una galería. 84
- **FIGURA 3.12.-** Cortes hidrogeológicos ideales de tres ambientes volcano-estructurales presentes en Tenerife (modificado de Navarro y Farrujia, 1989; de Marrero, 2010). En B y C se puede advertir la sobreelevación del nivel freático en el núcleo de la dorsal debido a que es la zona de mayor intrusión de diques. 85
- **FIGURA 3.13.-** Deslizamiento de El Golfo en la isla de El Hierro. 87
- **FIGURA 3.14.-** Galería de agua que ha alcanzado el "mortalón" o depósitos de avalancha. (foto cortesía de Rafael Fenoll). 87
- **FIGURA 3.15.-** Naciente en Tenerife. (Foto cortesía Francisco Puerta). 88
- **FIGURA 3.16.-** Limpieza de canal debido a la precipitación de carbonatos. 93
- **FIGURA 4.1.-** Sección del pozo-galería Los Padrones, en El Hierro. 101
- **FIGURA 4.2.-** Galería de naciente, en el monte de Las Mercedes en La Laguna, Tenerife. 101
- **FIGURA 4.3.-** Acceso a un pozo-galería. 104
- **FIGURA 4.4.-** Pozo tradicional canario. (Foto cortesía de Rafael Lario). 104
- **FIGURA 4.5.-** Caña del pozo revestida. 105
- **FIGURA 4.6.-** Entubado de un sondeo. 106
- **FIGURA 4.7.-** Diferentes coronas para la ejecución del sondeo. 107
- **FIGURA 5.1.-** Martillo percutor con empujador hidráulico. (Foto cortesía de Rafael Lario). 110
- **FIGURA 5.2.-** Tramo de galería en construcción por parte de la Administración. 110
- **FIGURA 5.3.-** Dique geológico en la traza de la galería. 111
- **FIGURA 5.4.-** Agua de repisa. 111
- **FIGURA 5.5.-** Evacuación de caudales durante la ejecución de la galería. 112
- **FIGURA 5.6.-** Máquina para la ejecución de sondeos. 116
- **FIGURA 5.7.-** Sección de la Galería de la Fuente Santa. 116
- **FIGURA 5.8.-** Inyectado en la traza de la galería. 117
- **FIGURA 5.9.-** Gunitado en la sección de la mina. 117

- **FIGURA 5.10.-** Refuerzo de la sección de la galería mediante bloques.
..... 117
- **FIGURA 5.11.-** Traza de una galería en la zona de depósitos de avalancha (Cortesía de Rafael Fenoll).
..... 118
- **FIGURA 5.12.-** Sección colapsada en la traza de la galería.
..... 118
- **FIGURA 5.13.-** Depósitos coluviales en la traza de la galería.
..... 121
- **FIGURA 5.14.-** Problema de caída de prismas basálticos en la sección de la galería.
..... 123
- **FIGURA 5.15.-** Sondeos verticales en la traza de la galería de Ipalán en La Gomera.
..... 124
- **FIGURA 5.16.-** Piezómetro en la traza de la galería.
..... 126
- **FIGURA 5.17.-** Cierre de hormigón en la galería de Ipalán, en La Gomera.
..... 127
- **FIGURA 5.18.-** Cierre en la galería de Los Padrones en El Hierro.
..... 127
- **FIGURA 6.1.-** Detonadores para uso en galerías de agua.
..... 130
- **FIGURA 6.2.-** Frente tras la pega de explosivos.
..... 131
- **FIGURA 6.3.-** Caja fuerte para el almacenaje de los explosivos.
..... 131
- **FIGURA 7.1.-** Tubería flexible de ventilación.
..... 134
- **FIGURA 7.2.-** Archetado de la sección de una galería.
..... 138
- **FIGURA 7.3.-** Convoy de vagonetas y espacio disponible de paso en la sección de la galería.
..... 139
- **FIGURA 7.4.-** Comprobación del funcionamiento de la ventilación.
..... 139
- **FIGURA 7.5.-** Detector personal de gases dentro de la galería.
..... 141
- **FIGURA 7.6.-** Instalaciones de ventilación y de aire comprimido en una galería.
..... 141
- **FIGURA 7.7.-** Motor generador de energía para la instalación.
..... 142
- **FIGURA 7.8.-** Lámparas de carburo.
..... 143
- **FIGURA 7.9.-** Vista desde el fondo de un pozo canario y sus instalaciones de bombeo de aguas.
..... 145
- **FIGURA 7.10.-** Galería de agua abandonada.
..... 147
- **FIGURA 7.11.-** Cartel obligatorio de información sobre la galería y peligros.
..... 147
- **FIGURA 7.12.-** Sistema de cierre de acceso a la galería con panel informativo.
..... 149
- **FIGURA 7.13.-** Extintor en la sección de la mina de agua.
..... 149

- **FIGURA A.1.-** Mapa de situación y longitud de galerías en la isla de Tenerife (Consejo Insular de Aguas de Tenerife).
..... 154
- **FIGURA A.2.-** Tanquilla para aforo y control de caudales alumbrados.
..... 156
- **FIGURA A.3.-** Ubicación de galería y construcción de acceso a la explotación.
..... 160
- **FIGURA A.4.-** Zona escoriácea en la traza de la mina con problemas de sostenimiento.
..... 168
- **FIGURA A.5.-** Anchurón para cambio de maquinaria y vagonetas.
..... 168
- **FIGURA A.6.-** Equipo electrógeno para suministro energético de la obra.
..... 171
- **FIGURA A.7.-** Secciones de las galerías ejecutadas por la Administración con dimensiones “sensiblemente” mayores que las ejecutadas por la iniciativa privada.
..... 171
- **FIGURA A.8.-** Lámparas de carburo de acetileno, ampliamente utilizadas en la actualidad en la minería del agua.
..... 171
- **FIGURA A.9.-** Trazado en planta y rumbos de una galería en Tenerife.
..... 172
- **FIGURA A.10.-** Vagoneta tipo “cuna”.
..... 173
- **FIGURA A.11.-** Railes en proceso de oxidación al estar “embebidos” en el agua de repisa de la mina.
..... 173
- **FIGURA A.12.-** Perforación de barrenas para la introducción de explosivos. (Foto cortesía de Rafael Lario).
..... 175
- **FIGURA A.13.-** Revestimiento con bloques de hormigón macizo.
..... 179
- **FIGURA A.14.-** Ventilación flexible para adecuar la atmósfera de la mina en el proceso constructivo de la misma.
..... 182
- **FIGURA A.15.-** Medidor personal de gases en la mina.
..... 182
- **FIGURA A.16.-** Grifo de aire comprimido a lo largo de la traza de la mina.
..... 185
- **FIGURA A.17.-** Grupo motor.
..... 185
- **FIGURA A.18.-** Edificio de dependencias exteriores de la explotación.
..... 186

