



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

TRABAJO FIN DE MASTER



ESCUELA DE INGENIEROS DE MINAS, ENERGÍA Y MATERIALES

Almacenamiento de residuos en estructuras subterráneas artificiales

Autor: D. Jorge Alonso Menéndez

Director: D. Pablo Cienfuegos Suárez

Junio, 2016



Expreso mis más sinceros agradecimientos a:

- ❖ D. Pablo Cienfuegos Suárez, Profesor titular del Área de Prospección e Investigación Minera de la Universidad de Oviedo por su disposición a ayudarme como director de este trabajo.
- ❖ Minersa, por la documentación facilitada para la realización del presente trabajo.



TABLA DE CONTENIDO

1	Objetivos	8
1.1	Objetivo del proyecto	8
1.2	Estructura del proyecto	8
2	El residuo.....	9
2.1	Introducción.....	9
2.2	Clasificación de los residuos	9
2.3	Contexto legislativo	10
2.4	El neumático	11
2.4.1	Definición de NFU	14
2.4.2	Generación de NFU	14
2.4.3	Gestión de los NFU.....	15
2.5	Problemática actual en España.....	20
2.5.1	Incendio del vertedero de Seseña.....	20
2.5.2	Puntos de vertido de NFU en España.....	20
2.5.3	Datos económicos.....	24
2.6	Impacto medioambiental.....	24
2.6.1	Ecotoxicidad	24
2.6.2	Lixiviados.....	25
2.6.3	Impacto del vertedero superficial	26
2.7	Condiciones del almacenamiento subterráneo	28
3	La estructura subterránea	30
3.1	Introducción.....	30
3.2	Emplazamiento geográfico	31
3.3	Características geológicas	32
3.3.1	Marco geológico.....	32
3.3.2	Estratigrafía.....	35
3.3.3	Tectónica.....	37
3.4	Características hidrogeológicas	44
3.4.1	Introducción.....	44



3.4.2	Climatología	44
3.4.3	Inventario de puntos de agua	46
3.4.4	Hidrogeología local	49
3.4.5	Hidrogeología en el yacimiento	50
3.5	Características hidroquímicas	54
3.5.1	Introducción	54
3.5.2	Objetivos	54
3.5.3	Muestreo y métodos analíticos.....	55
3.5.4	Interpretación de los resultados analíticos	55
3.6	Características estructurales.....	59
3.7	Cubicación del espacio subterráneo	61
4	Cálculos	64
4.1	Almacenamiento de neumáticos enteros	64
4.2	Almacenamiento de neumáticos triturados	68
5	Conclusiones.....	70
6	Bibliografía	71



TABLA DE FIGURAS

Ilustración 1. Componentes de un neumático. (Fuente: tyrehouse.net).....	11
Ilustración 2. Estadísticas de tratamiento para los NFU en la Unión Europea (1996-2012) (Fuente: (ETRMA, 2013)).....	16
Ilustración 3. Esquema de tratamiento de los NFU (Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).....	18
Ilustración 4. Reutilización, reciclaje y destinos alternativos de los NFU (Phale, 2005).	19
Ilustración 5. Incendio de vertedero de neumáticos en Seseña (Fuente: El Español, 2016).	20
Ilustración 6. Vista del vertedero de Argamasilla de Alba (Google Earth)	21
Ilustración 7. Vista de los vertederos de: a) A Laracha (coordenadas UTM (532.006,11; 4.789.991,37)) y b) As Somozas (coordenadas UTM (587.168,60; 4.821.096,08)) (Fuente: Iberpix)	21
Ilustración 8. Vista del Complejo ambiental de Zurita (coordenadas (Lat. 28°28'47,64" N Long.13°53'22,96 O) (Google Earth)).....	22
Ilustración 9. Vista del vertedero de Mengíbar (coordenadas UTM (429.249,63; 4.204.495,72)) (Iberpix)	23
Ilustración 10. Ubicaciones de vertederos de NFU en España. (El Mundo, 2016)	23
Ilustración 11. Incendio del vertedero de la ciudad de Iowa (Fuente: College of Public Health. University of Iowa. 2012).....	27
Ilustración 12. Tipos de estructuras geológicas empleadas en almacenamiento subterráneo de gas natural en Europa (GIE, 2015).....	30
Ilustración 13. Almacenamiento de residuos peligrosos en la mina de Cheshire (Reino Unido) (Fuente: Veolia. 2006).....	30
Ilustración 14. Situación geográfica de la mina de Villabona (Fuente: Google Earth)	32
Ilustración 15. Encuadre geológico de la mina Villabona. (MAGNA nº29, Oviedo).....	33
Ilustración 16. Columna estratigráfica correspondiente al marco geológico de la mina Villabona. (MAGNA nº29, Oviedo).....	34
Ilustración 17. Contacto Carbonífero-Triásico en el entorno de la mina. (IGME. 95).....	35
Ilustración 18. Esquema geológico del Distrito Minero de Villabona-Arlós (tomado de Contribución de la geología minera al conocimiento de la cuenca permotriásica asturiana (Luque Cabal, 2010)).....	38
Ilustración 19. Corte geológico con las capas mineralizadas. (Gutiérrez Claverol, 2009)	40
Ilustración 20. Mapa pluviométrico de Asturias. (Fuente: Estudio hidrogeológico (IGME, 1995).	45
Ilustración 21. Estaciones pluviométricas cercanas a Villabona (Google Earth)	45
Ilustración 22. Precipitación del período 1952-1960 en la estación de Lugo de Llanera. (Fuente: (IGME, 1995))	46
Ilustración 23. Temperaturas del período 1952-1960 en la estación de Lugo de Llanera (IGME, 1995)....	46
Ilustración 24. Relación entre los puntos de infiltración de agua y las intersecciones de fracturas. (IGME, 1995).....	52



<i>Ilustración 25. Representación de trazas de fracturas en la mina Villabona (IGME, 1995).....</i>	<i>61</i>
<i>Ilustración 26. Detalle de vista de labores en la mina Villabona (Fuente: (Gutiérrez Claverol, 2009)).....</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 27. Contorno de huecos del sector norte de la mina Villabona.</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 28. Porcentaje de aportación de NFU en peso por categoría de vehículo. (TNU, 2014).....</i>	<i>64</i>
<i>Ilustración 29. Disposición de apilamiento de neumáticos.....</i>	<i>65</i>
<i>Ilustración 30. Esquema de dimensiones de un neumático. (Bridgestone, 2014)</i>	<i>66</i>
<i>Ilustración 31. Código del neumático. (ITV, 2013).....</i>	<i>66</i>



TABLA DE TABLAS

Tabla 1. Compuestos empleados en los neumáticos (Observatorio de Medio Ambiente, 2006).	12
Tabla 2. Composición media de los neumáticos usados en la UE (Fuente: "Pirelli neumáticos S.A.").	12
Tabla 3. Elementos químicos constitutivos de un neumático (Fuente: (Observatorio de Medio Ambiente, 2006).....	13
Tabla 4. Elementos y compuestos clasificados como residuos peligrosos en los neumáticos y sus contenidos, por la Basel Convention (UNEP, 1999).	14
Tabla 5. Evolución de la generación de NFU en España y Europa. Fuente: European Tyre Recycling Association (ETRA, 2005).....	15
Tabla 6. Mercados de destino del granulado de caucho (SIGNUS, 2014).	16
Tabla 7. Destinos de los materiales procedentes de NFU es España. (Ministerio de Medio Ambiente, 2008).....	17
Tabla 8. Inventario de puntos de agua. (IGME, 1995).....	48
Tabla 9. Clasificación de muestras de agua según facies hidroquímica (IGME, 1995).	56
Tabla 10. Determinaciones expresadas en ppm. (IGME. 1995).....	58
Tabla 11. Correlación entre muestras (IGME, 1995).	59
Tabla 12. Dimensiones calculadas del sector norte y resto de la mina Villabona	63
Tabla 13. Proporciones en volumen asignados por categoría de vehículo.....	65
Tabla 14. Medidas de neumático representativas de cada categoría de vehículo.....	65
Tabla 15. Cálculo de volumen de apilamiento de los neumáticos representativos por categoría.....	67
Tabla 16. Capacidad de almacenaje en volumen, nº de neumáticos y peso del sector norte de Villabona	68
Tabla 17. Capacidad de almacenaje en volumen, nº de neumáticos y peso del resto de la mina de Villabona.....	68
Tabla 18. Densidad aparente de neumático triturado. (Edeskär, 2004)	69
Tabla 19. Cifras de capacidad de almacenaje de neumático triturado.	69



1 OBJETIVOS

1.1 *Objetivo del proyecto*

El objetivo de este trabajo es el estudio de la posibilidad de almacenamiento de residuos en la estructura subterránea de la mina Villabona, dando así utilidad a una infraestructura minera más allá de su periodo de explotación. Se centrará más concretamente en el campo de los neumáticos fuera de uso (NFU), tratando de cuantificar qué cantidad se podría albergar en el citado espacio subterráneo.

1.2 *Estructura del proyecto*

La primera sección del estudio está dedicada al residuo en cuestión: el neumático. Se arroja luz sobre sus características, clase de residuo, legislación existente y el impacto ambiental que pueden causar enfocado a su comportamiento bajo confinamiento subterráneo. Así mismo, se relata la reciente problemática actual acaecida en España con referencia a los vertederos ilegales de neumáticos.

La segunda sección se centra en la caracterización del recinto subterráneo de la mina de Villabona como hipotético almacén de residuos. Se trata su contexto geológico e hidrogeológico, así como las características estructurales un sector concreto de la mina y la hidroquímica de las aguas de la misma.

Finalmente se presentan los cálculos; el cubicaje del volumen de hueco disponible en las labores de la mina y la cantidad de residuo que puede almacenar según modos diferentes de disposición de los mismos.



2 *EL RESIDUO*

2.1 *Introducción*

El normal desarrollo del modo de vida y más aún según el actual modelo económico lleva aparejado inevitablemente la generación de grandes volúmenes de productos de desecho que, como es sabido, requieren de algún tipo de tratamiento, bien sea reutilización, reciclaje o directamente el almacenamiento.

La acumulación de residuos en lugares inapropiados agrava el problema de los mismos tanto desde un punto de vista medioambiental, como estético y de seguridad.

Por sus características, el neumático fuera de uso (NFU), merecen una atención diferenciada del resto de residuos.

2.2 *Clasificación de los residuos*

Según la Ley 22/2011 se clasifica a los residuos en:

- Residuos domésticos: residuos generados en los hogares como consecuencia de las actividades domésticas. Se consideran también residuos domésticos los similares a los anteriores generados en servicios e industrias.
- Residuos comerciales: residuos generados por la actividad propia del comercio, al por mayor y al por menor, de los servicios de restauración y bares, de las oficinas y de los mercados, así como del resto del sector servicios.
- Residuos industriales: residuos resultantes de los procesos de fabricación, de transformación, de utilización, de consumo, de limpieza o de mantenimiento generados por la actividad industrial, excluidas las emisiones a la atmósfera reguladas en la Ley 34/2007, de 15 de noviembre.
- Residuo peligroso: residuo que presenta una o varias de las características peligrosas enumeradas en el anexo III, y aquél que pueda aprobar el Gobierno de conformidad con lo establecido en la normativa europea o en los convenios internacionales de los que España sea parte, así como los recipientes y envases que los hayan contenido.

De cara a su depósito en vertedero, además la ley también establece en el R.D. 1481/01 los siguientes tipos de residuo:



- Residuos no peligrosos: los residuos que no están incluidos en la definición del artículo 3, párrafo c), de la Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos; es decir aquellos que no se catalogan como peligrosos.
- Residuos inertes: aquellos residuos no peligrosos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas. No deben presentar riesgos de lixiviado ni para las aguas superficiales ni subterráneas.
- Residuos biodegradables»: todos los residuos que, en condiciones de vertido, pueden descomponerse de forma aerobia o anaerobia, tales como residuos de alimentos y de jardín, el papel y el cartón.

Un Neumático Fuera de Uso se considera Residuo No Peligroso cuyo código europeo LER es 16.01.03.

2.3 Contexto legislativo

Los NFU son un tipo de residuo que por sus características y volumen se ha desarrollado para ellos legislación específica. Ha sido uno de los residuos con el que la Normativa Europea ha sido especialmente severa en términos de vertidos. De la legislación Europea surgió pues la Directiva de Vertidos (1991/31/EC) que estableció en 2006 la prohibición de vertido de neumáticos.

En España, la citada Directiva de Vertidos (1991/31/EC) se transpuso mediante el Real Decreto 1481/2001. Este Real Decreto estableció en su momento la prohibición del vertido de neumáticos usados desde julio de 2003 y de neumáticos triturados a partir de julio de 2006. Esto presumiblemente tiene como finalidad el buscar otras aplicaciones u aprovechamientos a estos residuos, sin embargo, como se verá más adelante, la realidad española no se ajusta todo lo que debiera a esta norma.

La gestión de los NFU está recogida en la Ley 10/1998 Básica de Residuos. También en el Plan Nacional de NFU y más específicamente en el Real Decreto 1619/2005 sobre la gestión de neumáticos fuera de uso, el cual se adjunta en el anexo de este trabajo.

El R.D. 1619/2005 tiene como fin prevenir la generación de NFU promoviendo la reducción de los mismos, su reutilización, reciclado y otras formas alternativas de valorización. Las medidas que se erigen en base a este documento para la consecución de estos fines son:

- Por parte de los productores:



- Se obliga a que estos desarrollen planes empresariales que adopten aquellos procesos de fabricación que logren una mayor vida útil en los neumáticos y que faciliten su reutilización y reciclado.
- Deberán también recibir los NFU en la cantidad equivalente a los que ponen en el mercado y asegurar su correcta gestión efectuándola ellos mismos o encargarla a un gestor autorizado.
- Los generadores y poseedores de NFU tienen obligación de entregarlos al productor, a un centro o gestor autorizado salvo que ellos mismos sean el gestor autorizado.
- Establece las características mínimas que deben de cumplir las instalaciones de almacenamiento de NFU autorizados, así como las condiciones de almacenamiento.
- Se prohíbe el vertido, abandono o eliminación incontrolada de NFU ya sean enteros o triturados.

2.4 El neumático

Actualmente tanto los neumáticos de los turismos como de los camiones son radiales. Estos disponen de una serie de capas de hilo de acero dispuestos transversales a la cubierta. En la se muestra un diagrama de los mismos.

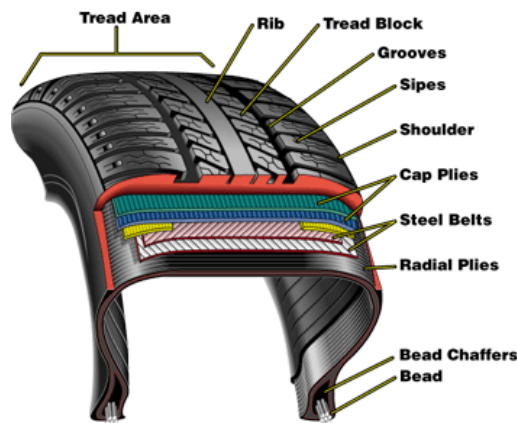


Ilustración 1. Componentes de un neumático. (Fuente: tyrehouse.net)

Un neumático está integrado por caucho natural o sintético, negro de carbono, agentes químicos, aceites minerales y fibras reforzantes.



Prácticamente la mitad del neumático es caucho. Este caucho puede ser de diferentes tipos: caucho natural, estireno butadieno, polibutadieno, polisoprenos sintéticos...etc. Sin embargo, todos ellos una vez vulcanizados llegan a ser muy duraderos y se requerirá mucho tiempo para su degradación (Observatorio de Medio Ambiente, 2006).

Tabla 1. Compuestos empleados en los neumáticos (Observatorio de Medio Ambiente, 2006).

<i>Compuesto</i>	<i>Descripción</i>
Rellenos reforzantes	El negro de carbono, formado por partículas muy pequeñas de carbono que aumenta la tenacidad y la resistencia a tracción
Fibras reforzantes	Textiles y de acero, normalmente en forma de hilos, que aportan resistencia. Los textiles son de algodón, nylon y poliéster. La cantidad de fibras reforzantes varía según el fabricante
Plastificantes	Facilitan la preparación y elaboración de las mezclas controlando la viscosidad. Reducen la fricción interna durante el procesado y mejoran la flexibilidad a bajas temperaturas. Son aceites minerales (aromáticos, nafténicos y parafínicos) y de tipo éster.
Acelerantes	Compuestos organosulfurados, benzotiadol y derivados. Óxido de zinc y ácido esteárico.
Retardantes	N-nitroso difenil amina
Otros	Antioxidante, antiozonizantes y adhesivos

A continuación, en la Tabla 2 se muestra el porcentaje de cada componente.

Tabla 2. Composición media de los neumáticos usados en la UE (Fuente: "Pirelli neumáticos S.A.)."

	Turismos	Vehículos pesados
Peso (kg)	7	55 - 80
Caucho y elastómeros (%)	48	43
Negro de carbono (%)	22	21
Acero (%)	15	27
Textil (%)	5	0
Aditivos y otros (%)	10	9



La composición de los neumáticos ha ido variando a lo largo del tiempo, y la tendencia ha sido a reducir el contenido del neumático en los compuestos más potencialmente peligrosos, como los HAP (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos) o el caucho butílico. También varía la composición según el tipo de neumático, por ejemplo en los neumáticos de invierno aptos para la nieve, que poseen menos contenido en aceites aromáticos que los de verano (Edeskär, 2004).

La siguiente tabla muestra la composición elemental del neumático:

Tabla 3. Elementos químicos constitutivos de un neumático (Fuente: (Observatorio de Medio Ambiente, 2006)

Elemento	Porcentaje (%)
Carbono	70-83
Hidrógeno	5 - 7.5
Azufre	1.2 – 1.9
Color	0.1 – 0.8
Nitrógeno	1.5
Oxígeno	5
Zinc	1.2 – 2.7
Hierro	5 – 18
Otros...	5

La siguiente tabla muestra una lista de los compuestos clasificados como peligrosos según la Convención de Basel (UNEP, 1999) así como sus concentraciones. Estos compuestos se encuentran encapsulados en la matriz de caucho o presentes como elementos de aleación. Como se observa, cobre, zinc, ácido esteárico y caucho butílico se emplean en la fabricación del neumático. El Cd y Pb aparece en forma de impurezas con el ZnO y el uso del caucho butílico disminuye.



Tabla 4. Elementos y compuestos clasificados como residuos peligrosos en los neumáticos y sus contenidos, por la Basel Convention (UNEP, 1999).

Compuesto	Observaciones	Contenido
Compuestos de cobre	Aleante del material metálico de refuerzo (cable de acero)	≈0,002
Compuestos de zinc	Óxido de zinc, retenido en la matriz de caucho	≈1
Cadmio	En contenidos traza de compuestos de Cd como sustancia auxiliar del ZnO	<0,001
Plomo y compuestos	En contenidos traza como sustancia auxiliar del ZnO	<0,005
Soluciones ácidas o ácidos en forma sólida	Ácido esteárico en forma sólida	≈0,3
Compuestos organohalogenados	Caucho butílico halogenado	Contenido en halógeno <0,1

2.4.1 Definición de NFU

Según el Decreto 40/2006, Reglamento de NFU de Aragón, se considera Neumático Fuera de Uso (NFU) ***“aquel que por su estado, con relación a las normas de seguridad vigentes, no son aptos para su uso sin aplicarles técnicas que alarguen su vida útil. Asimismo, se considerarán como tales las cámaras y neumáticos de rechazo de fabricación y aquellos neumáticos de los que se desprenda su poseedor, aun cuando en ellos no concurren los requisitos arriba descritos”***.

2.4.2 Generación de NFU

Los neumáticos tienen por norma general unos 50.000 km de vida útil, sin embargo, esto es muy relativo dependiendo del uso que se haga del vehículo, del mantenimiento del mismo y del estado de la calzada.

Según el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, los NFU generados en el territorio español en los talleres donde se realiza el cambio de neumáticos y en los Centros Autorizados de Tratamiento (CAT) de vehículos fuera de uso se cuantifican anualmente en 200.000 toneladas, las cuales seguirían el proceso de gestión que se muestra seguidamente.



Tabla 5. Evolución de la generación de NFU en España y Europa. Fuente: European Tyre Recycling Association (ETRA, 2005)

NFU generados (t)	1998	2005
España	241.081	302.000
Europa	2.522.140	2.796.000

El lapso de tiempo entre los años 1998 y 2005 no proporciona estadísticas en la citada fuente, sin embargo en el año 2007 se conoce que las dos entidades encargadas de la gestión de NFU en España, SIGNUS y TNU presentan unas 213.542 t y 55.331 t de NFU recogidas al año respectivamente.

No obstante, hay que tener presente que estas cifras de NFU generados son las aportadas por los gestores oficiales, es decir, habrá una parte del conjunto que no se declara procedente de aquellos particulares que hacen un uso independiente. En la publicación de la memoria anual de los gestores oficiales se refleja como la cantidad de toneladas declaradas es siempre inferior a la cantidad de toneladas recogidas efectivamente. Esto es debido al fraude cometido por productores e importadores de neumáticos que no los declaran a ningún SIG, lo que constituye un delito fiscal (TNU, 2011). Por lo tanto, previsiblemente el volumen real de NFU generados en el territorio nacional será siempre superior a las cifras ofrecidas por las estadísticas oficiales.

2.4.3 Gestión de los NFU

En el territorio español la gestión de los neumáticos fuera de uso corre a cargo de dos entidades: TNU (*Tratamiento de Neumáticos Usados*) y SIGNUS. Ambas sociedades sin ánimo de lucro se crearon a raíz de la entrada en vigor del Real Decreto 1619/2005 y siguen su propio sistema integrado de gestión (SIG) con el objetivo de prevenir la generación de NFU fomentando su reutilización y reciclado (Cano Serrano, 2008).

Los destinos alternativos al depósito en vertedero de los neumáticos desechados son: el recauchutado, el reciclaje y el aprovechamiento energético.

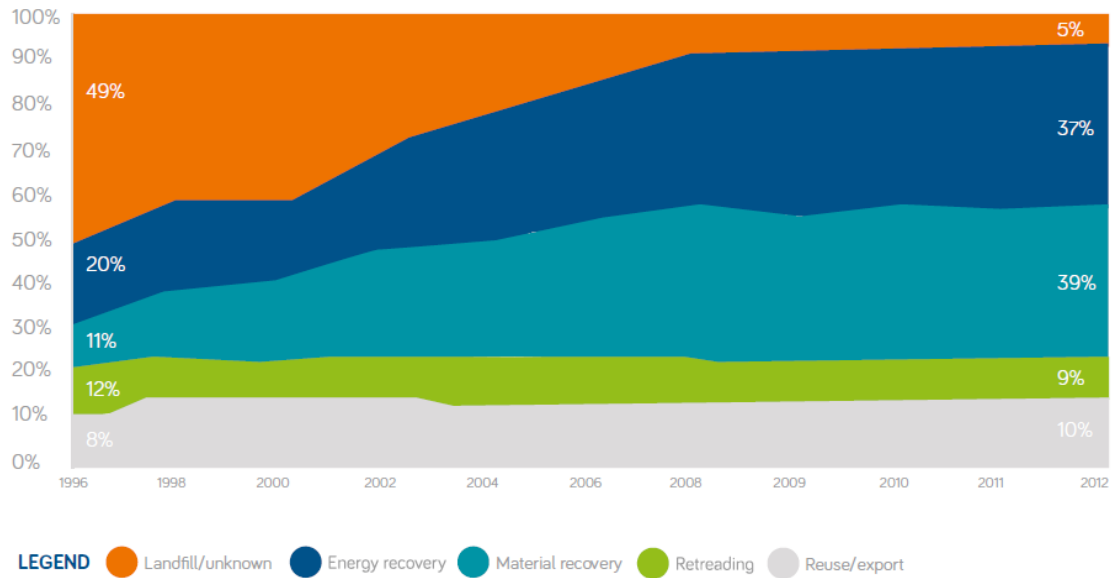
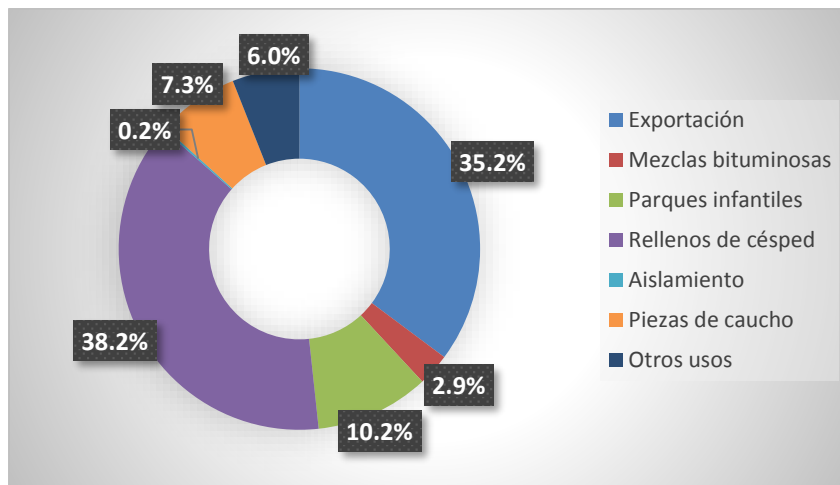


Ilustración 2. Estadísticas de tratamiento para los NFU en la Unión Europea (1996-2012) (Fuente: (ETRMA, 2013)).

Tabla 6. Mercados de destino del granulado de caucho (SIGNUS, 2014).



2.4.3.1 Recauchutado

El recauchutado consiste en regenerar la banda de rodadura del neumático del que todavía se puede hacer uso. Básicamente el proceso es el siguiente: primero se verifica que la carcasa del neumático no ha sufrido daños (mediante rayos X o láser si la estructura es metálica). A continuación se elimina la goma sobrante de la banda de rodadura mediante raspado y se reparan los desperfectos. Finalmente se añade la nueva banda de rodadura, por cualquiera de las dos técnicas existentes, bien recauchutado en frío (en el cual se pega una banda premoldeada) o en caliente (en el cual se añade goma cruda y se vulcaniza de forma similar al proceso de fabricación del neumático nuevo) (Viso, 2013).



En 2012 se reutilizaron en Europa entre neumáticos de segunda mano y carcasas recauchutadas 653.000 toneladas (ETRMA, 2013).

2.4.3.2 Reciclaje

En 2012 a nivel europeo, se destinaron 1,34 millones de toneladas a la recuperación de material de las cuales un 83% se destinó al reciclaje de granulados y polvo de caucho, seguido de un 12% empleado en aplicaciones de ingeniería civil y trabajos públicos. También se usaron como protectores en muelles y como esteras de voladura (>2%), en pirolisis (2,5%) y como sustituto del carbono en molinos de acero y fundiciones (<1%). (ETRMA, 2013)

2.4.3.3 Aprovechamiento energético

Según estadísticas de la del informe anual de 2014 de la ETRMA, en Europa de los 1,26 millones de toneladas de NFU la industria cementera fue el principal reciclador de fragmentos NFU con un 91% en volumen mientras que la calefacción de distrito y las centrales eléctricas absorbían el resto. Además, datos del 2013 mostraban que año a año la cifra absorbida (Phale, 2005) por la industria cementera aumentaba en un 12% mientras que la cantidad empleada en generación de electricidad se reducía en un 5%.

Tabla 7. Destinos de los materiales procedentes de NFU es España. (Ministerio de Medio Ambiente, 2008)

Destino	1998		1999		2005	
	Toneladas	%	Toneladas	%	Toneladas	%
Exportación como neumático de segunda	3631	1,5			15.000	5
Recauchutado	35364	14,6	26500	11,1	45.000	14,9
Reciclaje	1000	0,4	3500	1,5	41.000	13,6
Valorización energética	8000	3,3	11000	4,6	50.000	16,5
Vertido	195000	80,2	198000	82,8	151.000	50
Total	195000	100	239000	100	302.000	100

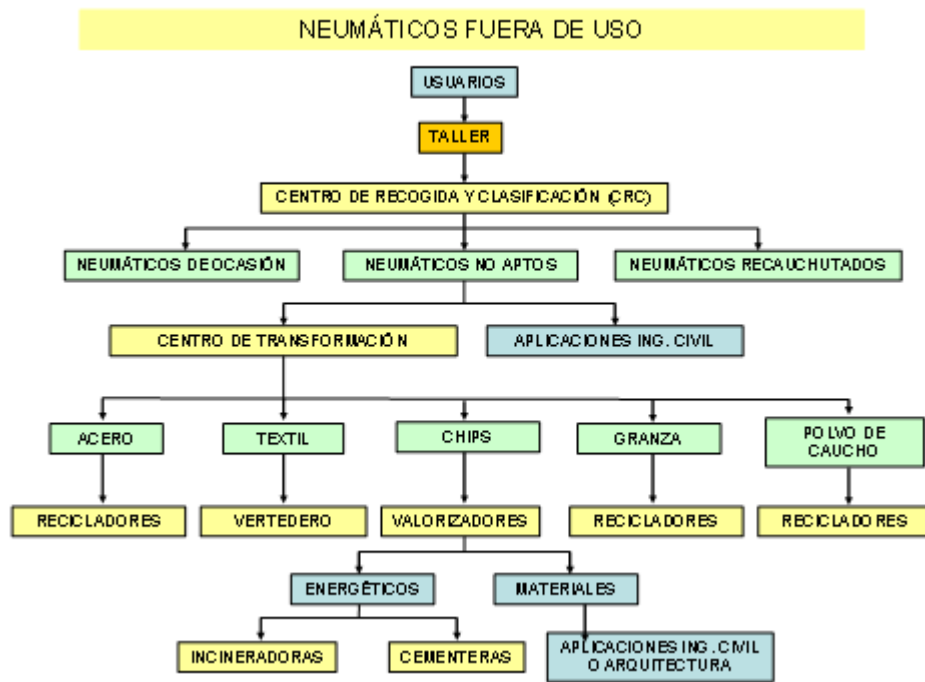


Ilustración 3. Esquema de tratamiento de los NFU (Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).

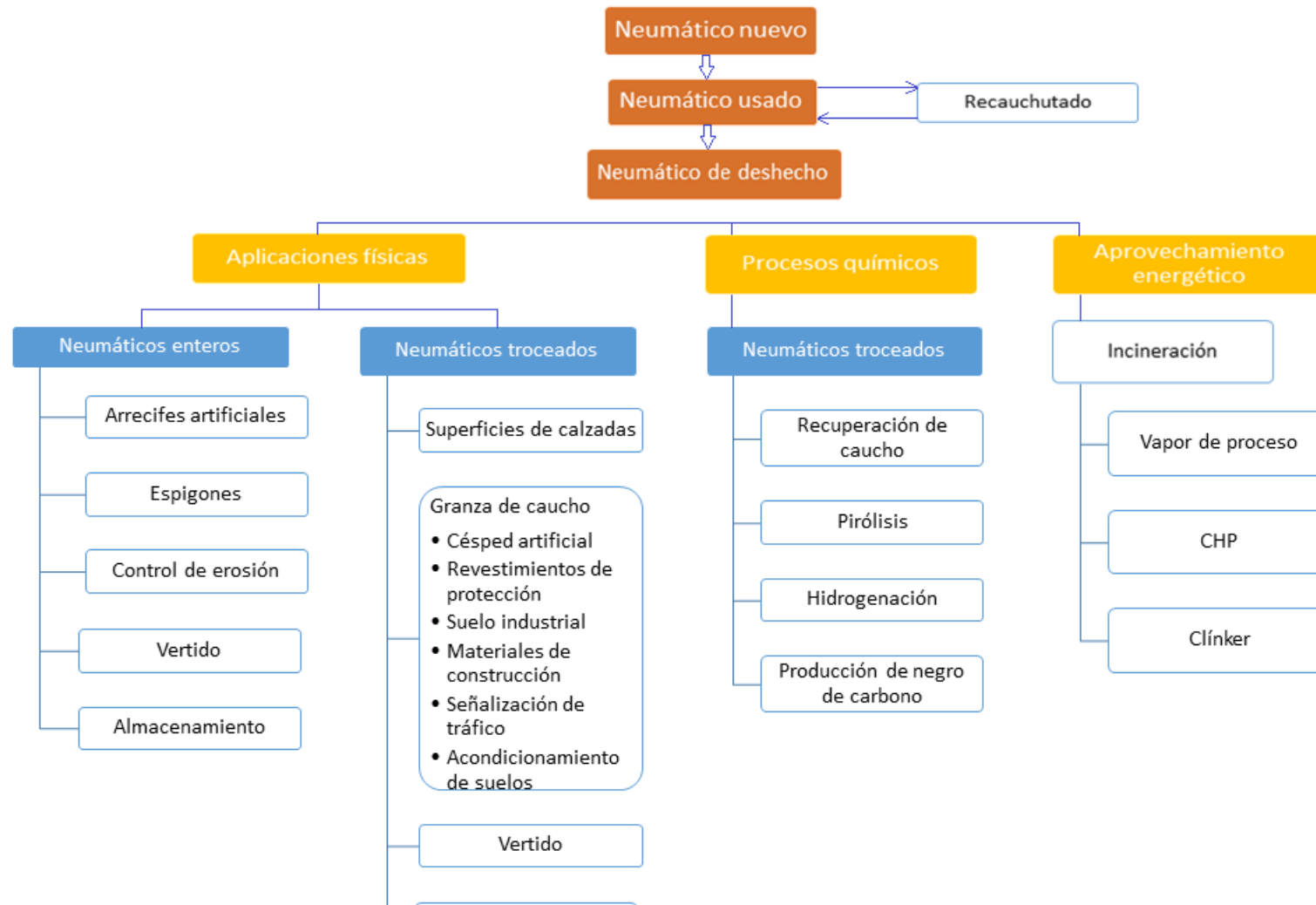


Ilustración 4. Reutilización, reciclaje y destinos alternativos de los NFU (Phale, 2005).



2.5 Problemática actual en España

2.5.1 Incendio del vertedero de Seseña

Lo que en 2002, en Seseña (Toledo), se había destinado inicialmente a centro de reciclaje de neumático derivó finalmente en un almacén que llegó a albergar recientemente entre 70.000 y 90.000 toneladas de caucho, lo que supone unos cinco millones de ruedas y 117.000 metros cuadrados (Barroso, 2016).

En mayo del presente año se declaraba el incendio de vertedero, con graves consecuencias tanto para la próxima localidad de Seseña (a tres kilómetros del vertedero), con personas desplazadas de sus casas debido a la densa humareda negra como para el medio ambiente.

Es difícil que el neumático arda debido a que para esto es necesaria una gran aportación de calor. Sin embargo una vez alcanzada la temperatura suficiente, el material comienza a descomponerse, y hace muy complicado el detener la combustión. (Lemieux et al., 2004).

Entre las sustancias que se emiten a la atmósfera en grandes cantidades están las partículas PM10, sustancias como los hidrocarburos aromáticos policíclicos, benceno y benzopireno, dioxinas, furanos e importantes cantidades de metales pesados.



Ilustración 5. Incendio de vertedero de neumáticos en Seseña (Fuente: El Español, 2016).

2.5.2 Puntos de vertido de NFU en España

Además del reciente caso de la localidad de Seseña, hay otros lugares de la geografía española que presentan parecidas circunstancias en cuanto al vertido de NFU.



- Argamasilla de Alba (Ciudad Real)

El vertedero ilegal de neumáticos de Argamasilla de Alba, cercano a la autovía A-43 y a 6 km de la localidad, acoge alrededor de 20.000 toneladas de residuos según un informe elaborado por la empresa pública EMGRISA (Corral, 2016).



Ilustración 6. Vista del vertedero de Argamasilla de Alba (Google Earth)

- A Laracha, Fene y As Somozas (Galicia)

36.000 toneladas de neumáticos usados se almacenan en los municipios coruñeses de A Laracha, Fene y As Somozas. “Las quejas de los ayuntamientos afectados por estos cementerios de ruedas usadas, que fueron elevadas de nuevo a la Xunta a raíz el incendio en el mayor vertedero de neumáticos de España, en Seseña, llevaron a la Consellería de Medio Ambiente a tomar medidas. Ante la inquietud generada en estas tres localidades, el Ejecutivo autonómico sacó a concurso la semana pasada por 2,7 millones al tratamiento de las ruedas” (R.P., 2016).



Ilustración 7. Vista de los vertederos de: a) A Laracha (coordenadas UTM (532.006,11; 4.789.991,37)) y b) As Somozas (coordenadas UTM (587.168,60; 4.821.096,08)) (Fuente: Iberpix)



El más grande de estos tres cementerios es el de A Laracha que roza las 35.000 toneladas, una tercera parte que el de Seseña. El segundo, el de Fene, que acumula casi 1.000 toneladas desde hace ya 15 años, ocupa algo más de 1.000 metros cuadrados y está a menos de medio kilómetro del centro del municipio. El tercer vertedero es el de As Somozas, que almacena unas 100 toneladas.

- Vertedero de Zurita (Fuerteventura)

Uno de los cementerios de neumáticos más grandes está en Fuerteventura, en el complejo ambiental de Zurita a las afueras de Puerto del Rosario, donde se acumulan 2.400 toneladas.



Ilustración 8. Vista del Complejo ambiental de Zurita (coordenadas (Lat. 28°28'47,64" N Long.13°53'22,96 O) (Google Earth).

- Cervera del Llano (Cuenca)

El Ayuntamiento de Cervera del Llano una localidad conquense alberga en su término municipal un vertedero de neumáticos de unas 80 toneladas. El punto de vertido se encuentra próximo a Cervera y el pueblo cercano de Villares de Saz (RTVE, 2016).

- Castellanos de Villiquera (Salamanca)

Otro de estos vertederos de ruedas está en Salamanca, en el municipio de Castellanos de Villiquera. Se trata de un almacén que ocupa más de 10.000 m². Según medios de comunicación han informado en noticias recientes, no tiene vigilancia y que se encuentra próximo a varias viviendas y municipios (RTVE, 2016).



- Mengíbar (Jaén)

Un vertedero de 100.000 neumáticos que ocupan 5 hectáreas de terreno en las proximidades del río Guadalquivir, a menos de 2 km del casco urbano de Mengíbar (López, 2016).



Ilustración 9. Vista del vertedero de Mengíbar (coordenadas UTM (429.249,63; 4.204.495,72)) (Iberpix)



Ilustración 10. Ubicaciones de vertederos de NFU en España. (El Mundo, 2016)



2.5.3 Datos económicos

El caso de actual relevancia que tuvo lugar en el vertedero de Seseña contaba con un proyecto de limpieza elaborado por la empresa pública EMGRISA que consistía en la limpieza de la parcela y posterior reciclaje de los neumáticos en combustible. Este coste de este proyecto se cifraba en 5,6 millones de euros.

Tras el incendio del vertedero, el número de neumáticos disminuye, por lo que en palabras del consejero del gobierno regional se cifraba el nuevo coste de limpieza en unos 3 o 4 millones de euros (Pozo, 2016).

Según la Xunta de Galicia, la limpieza de las 36.000 toneladas de neumáticos que se reparten en los tres vertederos de la comunidad autónoma va a tener un coste de 2,7 millones de euros y un año y medio de trabajo. La Consellería de Medio Ambiente, que ha sacado a concurso el tratamiento de los mismos, cifra en 77 euros el coste de la tonelada de neumático.

2.6 Impacto medioambiental

Dada la compleja composición química del neumático y su producción en grandes cantidades, el riesgo asociado a su exposición al medio ambiente ha sido ya estudiado en varias ocasiones. Se exponen a continuación estudios que arrojan luz sobre las características intrínsecas a los neumáticos que son importantes para valorar la interacción de estos con el medio ambiente en condiciones de almacenamiento en vertederos.

2.6.1 Ecotoxicidad

En el Instituto Pasteur de Lille (Francia, 1995) se expuso a especies animales (*Daphnia magna* y *Brachydanio rerio*; ambos tipos de peces) y vegetales (*Algae S. Cpricornutum*) a la influencia del polvo de caucho generado de la trituración de neumáticos. No se encontraron signos de toxicidad en las especies.

Un estudio realizado por el Bureau de Liaison des Industries du Caoutchouc (BLIC) (Bélgica, 1996) usando normas estandarizadas comprobó la influencia del polvo de caucho en una población de lombrices de tierra en un sustrato. La conclusión fue que los especímenes no mostraron signos de toxicidad.



2.6.2 Lixiviados

La presencia de un compuesto peligroso en el neumático no es suficiente de por sí para causar afección al medio ambiente. Es necesario que además el compuesto tenga la ocasión de acceder al medio. Por esto es necesario considerar la posibilidad de lixiviados. Los estudios realizados sobre lixiviados en neumáticos triturados o granulados revelan que la superficie específica es un factor determinante en la cantidad de lixiviados; los neumáticos enteros serán menos susceptibles a lixiviados que aquellos triturados y estos a su vez menos que los granulados. (Edeskär, 2004)

Un estudio realizado en Universidad de Clemson (USA) realizó ensayos de lixiviación sobre neumáticos para componentes orgánicos como inorgánicos; los componentes analizados fueron el carbono orgánico disuelto (COD), el nitrógeno disuelto (ND) y compuestos inorgánicos. Se expusieron diferentes tamaños de fragmentos de neumáticos a soluciones de diferente rango de acidez (pH de 3.0 a 10.0) durante 28 días. Se concluyó que los lixiviados del carbono disuelto y el nitrógeno disuelto son dependientes del tamaño de los fragmentos, mientras que para los compuestos inorgánicos este factor es independiente. Las condiciones básicas son favorables a la lixiviación de carbono disuelto y nitrógeno disuelto y las condiciones ácidas incrementan las concentraciones de compuestos metálicos. Luego los lixiviados son mínimos bajo condiciones de pH neutro. Por lo tanto operar bajo condiciones de pH neutro, evitar los fragmentos pequeños de neumático o eliminar las partes metálicas serían medidas para reducir el impacto de reciclado u reutilización de NFU. (Selbes, 2015)

Malek y Stevensson (1986) estudiaron las condiciones físicas del caucho natural vulcanizado sumergido durante 42 años en una lámina, de agua marina de 24 m. El pH del medio sería de 7,8 y el contenido en oxígeno disuelto de 8,77 mg/l, luego las condiciones son ligeramente alcalinas y oxidantes. Las conclusiones del estudio fueron que no había tenido lugar un serio deterioro del caucho. Los parámetros a comparar entre el neumático de referencia y aquel que había sido sometido a condiciones de condiciones marinas fueron por ejemplo el módulo elástico, elongación de rotura o dureza (IRHD). El contenido en agua absorbido tras 42 años de inmersión fue del 4,7%. (Edeskär, 2004)

Reddy y Saichek (1998) llevaron a cabo un Test ASTM para Residuos Insolubles con agregados de carbonatos D 3042 para estudiar los cambios químicos que tendrían lugar bajo condiciones ácidas extremas para aplicaciones de vertidos. El estudio se realizó en diversas granulometrías de suelo para establecer comparación. El resultado hallado fue que los



neumáticos se mostraron insolubles en un 96,4%, basado este ensayo en comparación con suelos granulares de 40 a 70%. Por lo tanto, se concluyó que los fragmentos de neumático presentan alta resistencia química ante condiciones ácidas extremas.

En base a los citados estudios puede afirmarse que los lixiviados no presentarían serios problemas de peligrosidad, por lo que podrían ser dispuestos en almacenamiento subterráneo sin generar problemas de contaminación por lixiviación de productos tóxicos.

2.6.3 Impacto del vertedero superficial

El almacenamiento y la disposición final de neumáticos usados en el terreno o en vertederos representan los siguientes riesgos para la salud y el medio ambiente:

- La transmisión de enfermedades al hombre por los insectos, que encuentran en el agua de lluvia estancada en los neumáticos por largos períodos de tiempo, un hábitat apto para crecer y multiplicarse, como es el caso de la proliferación del mosquito del Dengue. El riesgo se ve acentuado en las zonas de clima sub-tropical y tropical.
- La quema incontrolada a cielo abierto, que produce emisiones gaseosas con altos niveles de monóxido de carbono e hidrocarburos poli-aromáticos, además de que los restos orgánicos que quedan depositados en el suelo pueden afectar la flora y fauna (Martínez, 2005).

2.6.3.1 Impacto atmosférico de la combustión de neumáticos

La Universidad de Iowa (EE.UU) realizó en 2014 un estudio sobre la combustión incontrolada de fragmentos de neumático en un vertedero (“Uncontrolled combustion of shredded tires in a landfill-part 2: Population exposure, public health response, and an air quality index for urban fires”) a consecuencia de un incendio que tuvo lugar en un vertedero de neumáticos próximo a la ciudad. En él se cuantifica el impacto del fuego en la calidad del aire local y se propone un índice de calidad del aire (AQI) para uso en futuros incendios urbanos de características similares.

Según este estudio, en la próxima ciudad de Iowa los datos de emisiones contaminantes de mayor impacto fueron el SO_2 , $PM_{2.5}$, negro de carbono y COVs tóxicos. En otros estudios sobre el humo de neumático, se valoraron como potencialmente más peligrosos las emisiones: negro de carbono, bifenilo, benceno, benzaldehído, PM y CO.



Ilustración 11. Incendio del vertedero de la ciudad de Iowa (Fuente: College of Public Health. University of Iowa. 2012)

Se conoce que los aldehídos son componentes del humo derivado de la combustión de aceites. Son fuertes irritantes y compuestos como el formaldehído, benzaldehído y acroleína tienen altos índices de peligrosidad, por lo que se pronostican como influentes en la salud pública.

A través del índice de peligrosidad se catalogan por orden de importancia los contaminantes derivados de la combustión del neumático:

1. SO_2
2. PM
3. Negro de carbono
4. Acroleína
5. Formaldehído
6. CO
7. Benceno, benzaldehído, bifenilo, 4-Vinil-1-ciclohexano y fenol.

También se clasifica estos contaminantes por orden de ratio de riesgo de cáncer (HRC), de más peligroso a menos como sigue:

1. Benzopireno
2. Benceno
3. 1,3-butadieno
4. Naftaleno
5. Formaldehído



6. Acetaldehído
7. Etilbenceno

De la monitorización del incendio de Iowa se extrajo que las concentraciones máximas de $PM_{2,5}$ en el penacho de humo para un 1 h AEGL-1 se dieron a distancias de 1,5 con $243,55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y a 10 km con $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Para unas concentraciones máximas de 24-h, en las mismas distancias fueron 60,9 y $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Se estableció que las concentraciones del penacho daban niveles de riesgo para la salud a distancias de 1,6 km para tiempo medio de 24-h y 11 km para un tiempo medio de 1-h.

2.7 Condiciones del almacenamiento subterráneo

En el Real Decreto 1619/2005 sobre la gestión de neumáticos figuran una serie de condiciones técnicas que debe cumplir un almacenamiento de NFU.

- Ubicación

Se exige que la ubicación del almacén se encuentre alejada de zonas forestales o herbáceas u otras instalaciones industriales como medida de precaución frente a propagación de incendios. En un hipotético almacén subterráneo en la estudiada mina de Villabona no existe tal óbice.

- Condiciones de almacenamiento
 - Se exige una instalación de acceso restringido al público (vallada o cerrada en todo su perímetro). En el reciente incendio de neumáticos acaecido en el vertedero de Seseña se ha especulado con la posibilidad más que probable de que el inicio del fuego hubiera sido provocado. Esta circunstancia sería harto difícil de darse en un almacén subterráneo en la mina Villabona, a la cual se accede por un único punto de entrada.
 - Se exige una instalación dotada de accesos adecuados para permitir la circulación de vehículos pesados. A la estructura subterránea dejada por la explotación de fluorita por cámaras y pilares se accede a través de una rampa. No todos los vehículos pesados serían capaces de acceder a través de esta galería, por lo que el sistema de transporte y disposición debería de adaptarse a estas condiciones; los camiones de bajo perfil empleados propiamente en minería son los más adecuados para este cometido.



- Los NFU deben estar protegidos de las acciones desfavorables exteriores de modo que ya sean enteros, triturados o en forma de polvo se impida su dispersión. El interior de una mina, como se puede imaginar es un entorno sobradamente aislado de las acciones exteriores.
- Con el fin de evitar daños a personas o equipos por desprendimiento, se fija una altura máxima de la pila de neumáticos de 3 m. Este factor no es un problema en la mina, ya que no se podrán colocar pilas superiores a precisamente los 3 m de media que suele tener la altura del hueco excavado.
- Se exige que la instalación disponga de medidas de prevención de riesgos de incendio, así como las medidas de seguridad autoprotección y plan de emergencia. Se han visto las consecuencias de un fuego de neumáticos originado en un vertedero en superficie; sus agravantes y la dificultad de su extinción. Esta sin duda es la ventaja principal del almacenamiento de NFU en interior de mina, puesto que, en primer lugar el acceso al interior de la mina de terceras personas con el propósito malintencionado de provocar un incendio sería muy difícil (en contraposición a las condiciones de un vertedero de superficie). Y en segundo lugar, si se diera un hipotético incendio del residuo en el interior de la mina, no sería el entorno más desafortunado para la extinción del mismo. Sería relativamente fácil disponer medidas destinadas al corte del aporte de oxígeno aislando sectores específicos de la mina, por ejemplo cerrando compuertas. El riesgo de incendio, principal problema que presenta el vertido en superficie tiene fácil solución en el entorno subterráneo.

3 LA ESTRUCTURA SUBTERRÁNEA

3.1 Introducción

Las estructuras subterráneas, entendiéndose por tales tanto los huecos abiertos en la roca por el hombre como las cavidades naturales, tienen potencial para un amplio y variado número de usos. Usos no convencionales como por ejemplo es el que se le da a una mina de sal en Cheshire (Reino Unido), dedicada al almacenamiento de documentos a la par que residuos.

Otra forma de empleo de estructuras subterráneas es el almacenamiento de gases, como el gas natural o el CO_2 . Los lugares indicados a tal efecto son las formaciones salinas y las explotaciones de gas natural agotadas. En el informe del GIE (Gas Infrastructure Europe) de mayo de 2015 se catalogan todos los almacenes subterráneos del territorio europeo. En el gráfico siguiente se muestran estadísticas sobre los tipos de confinamiento geológico. Del total de estas infraestructuras, que se cuentan por 268, 182 se encuentran operativas, 56 en planificación y 30 bajo construcción.

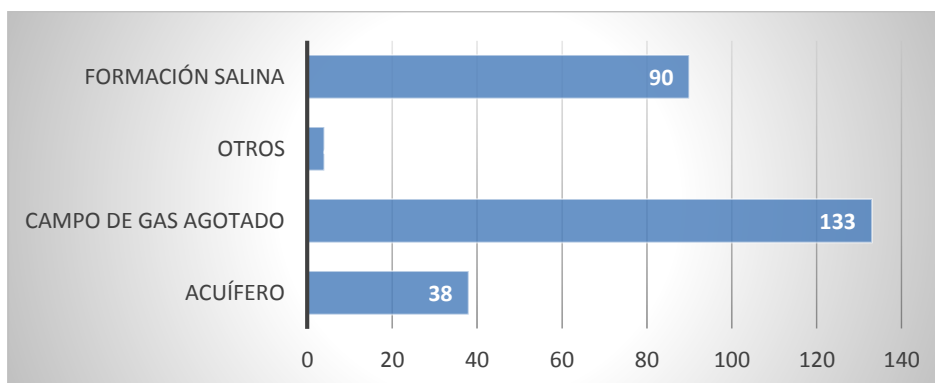


Ilustración 12. Tipos de estructuras geológicas empleadas en almacenamiento subterráneo de gas natural en Europa (GIE, 2015)

El almacenamiento de residuos es otra de las formas de aprovechamiento de los espacios subterráneos. En Europa hay ejemplos de esta práctica, cuatro minas de sal localizadas en Alemania, Francia y Reino Unido. Una de ellas, la mencionada mina de Cheshire (Reino Unido) también se ha habilitado para



Ilustración 13. Almacenamiento de residuos peligrosos en la mina de Cheshire (Reino Unido) (Fuente: Veolia, 2006)



alojar residuos peligrosos. La geología en la que se enmarca la hace capaz de garantizar el aislamiento de estos materiales.

En este caso se ha centrado su uso en el almacenamiento subterráneo de residuos. Existen dos tipos de almacenamiento según sea el destino fijado para el residuo en cuestión: por una parte el almacenamiento provisional en el que el residuo será utilizado posteriormente, y por otra parte el almacenamiento definitivo (“disposal” en la literatura inglesa) en el que una vez sellado el depósito tiene prevista ninguna otra modificación.

La presente sección de caracterización de la Mina Villabona se ha basado en datos reflejados en un estudio previo llevado a cabo por el Instituto Geológico y Minero de España en el año 1995. Dicha obra se compone de informes de tipo geológico, geotécnico, hidrogeológico, ambiental...etc. con el fin de determinar la posibilidad de destinar la infraestructura existente de la mina Villabona al almacenamiento de residuos.

3.2 Emplazamiento geográfico

La Mina de Villabona se encuentra en la localidad que le da el nombre, en el norte de España, Asturias; en la zona oriental del concejo de Llanera; prácticamente equidistante de los tres grandes núcleos de población de la provincia: Oviedo, Gijón y Avilés.

La principal vía de acceso a Villabona es la AS-325 del Alto de la Miranda a Serín, que posee una variante para evitar el paso por el centro de la localidad. Dicha carretera, local de primer orden, enlaza en el Alto de la Miranda con la AS-17 Avilés-Riaño (Langreo), de la red regional, y en Serín con la AS-326 Tabaza-Tremañes.

La topografía característica del concejo de Llanera es suave y poco accidentada a excepción de la zona septentrional del mismo, que es la zona de estudio, en la que se presentan ligeros desniveles. La máxima altitud de la zona es el pico Santofirme (427 m), en cuya ladera noreste se asienta la población de Villabona.

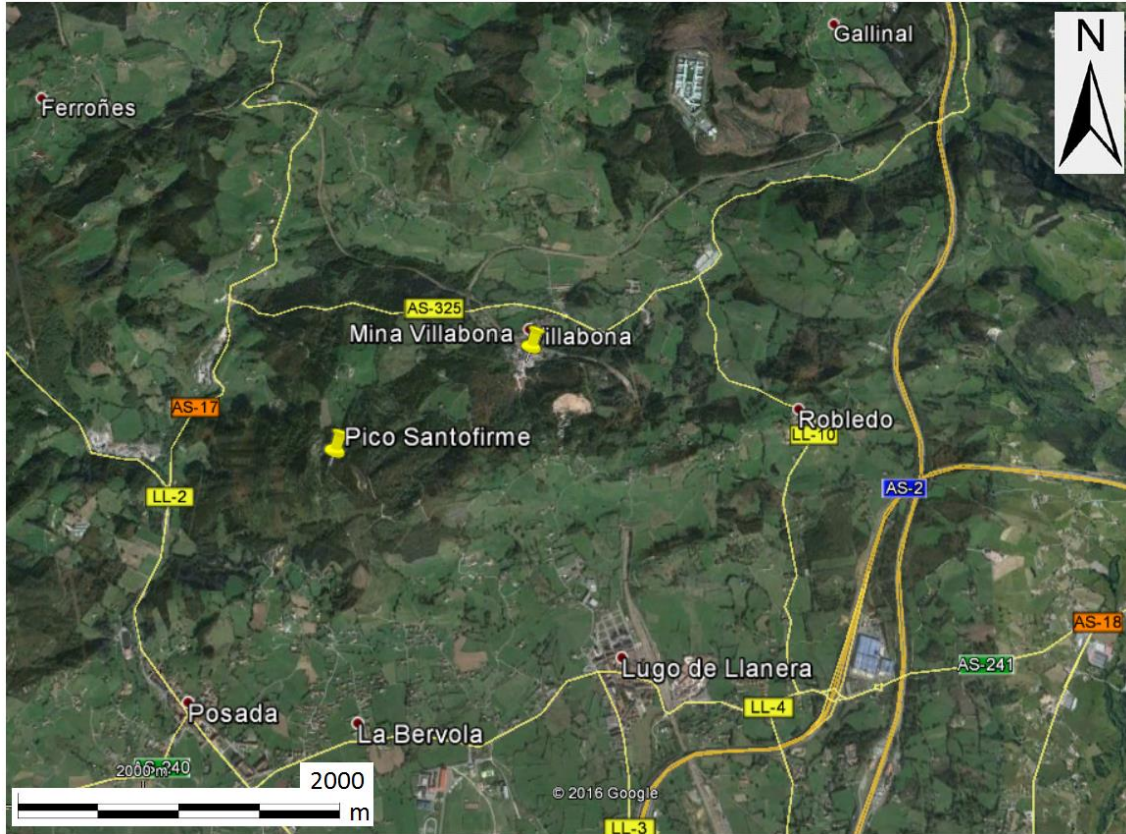


Ilustración 14. Situación geográfica de la mina de Villabona (Fuente: Google Earth)

3.3 Características geológicas

3.3.1 Marco geológico

La zona de estudio se encuentra englobada en la Hoja nº 29 del MAGNA correspondiente a Oviedo.

En base a la división que se establece de la zona cantábrica en diferentes unidades (Julivert 1967), el contexto geológico de la mina Villabona se ubica en la zona nororiental de la Región de Pliegues y Mantos.

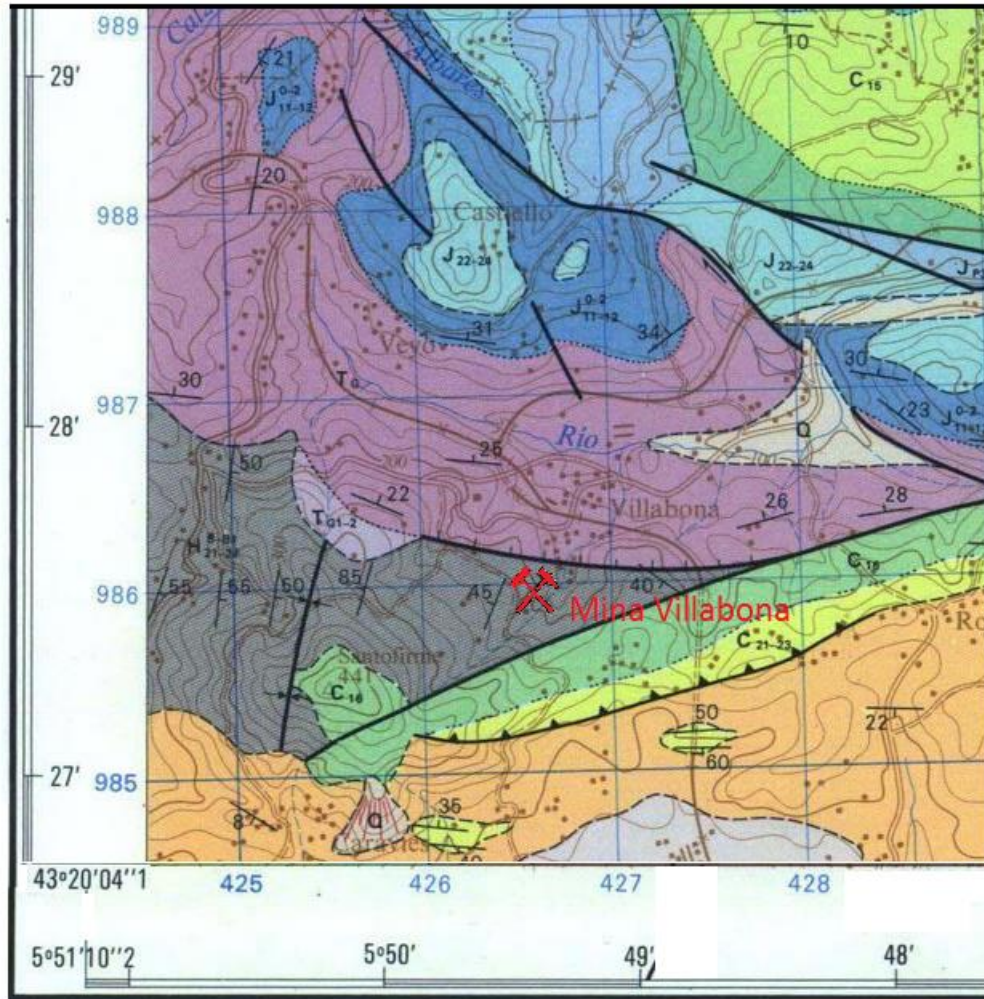


Ilustración 15. Encuadre geológico de la mina Villabona. (MAGNA nº29, Oviedo)

La geología del área se encuentra formada por dos conjuntos de materiales: por un lado el paleozoico, representado por sedimentos carboníferos productivos, los cuales fueron explotados y objeto de estudios de laboreo; por otra parte el mesoterciario, formado por triásico, jurásico, cretácico y terciario. Los estratos mesoterciarios, más actuales, se asientan de manera discordante sobre el paleozoico. En el triásico se encaja la mineralización de fluorita que aún en la actualidad se explota por el grupo *Minersa*.

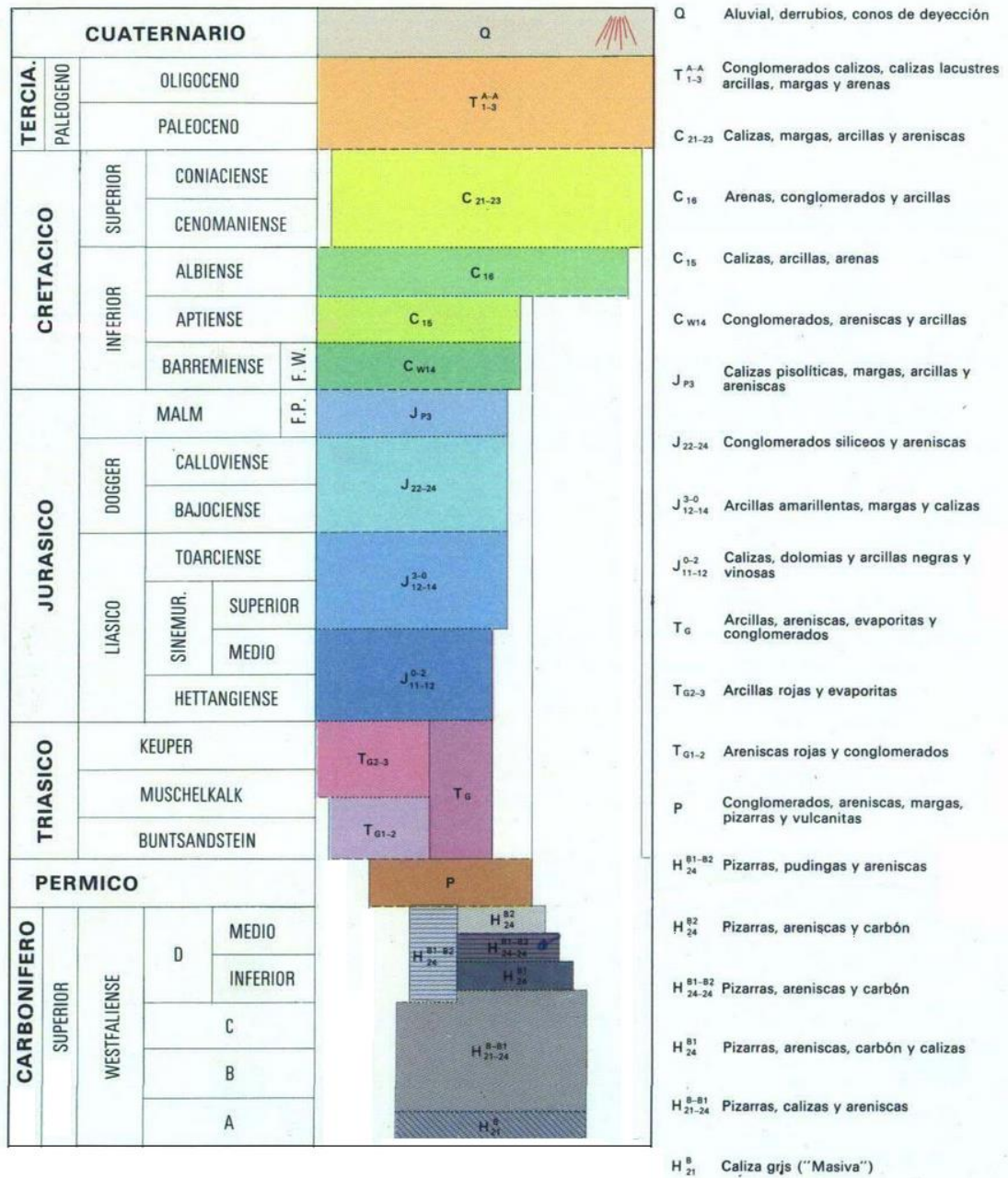


Ilustración 16. Columna estratigráfica correspondiente al marco geológico de la mina Villabona. (MAGNA nº29, Oviedo)



3.3.2 Estratigrafía

3.3.2.1 Carbonífero

Integrado por una sucesión de materiales detríticos que alcanzan una potencia de al menos 1500 m, se encuentra con una falla al norte de dirección E-W que provoca el hundimiento del bloque septentrional poniendo en contacto el carbonífero con los materiales del triásico.



Ilustración 17. Contacto Carbonífero-Triásico en el entorno de la mina. (IGME. 95)

De muro a techo se disponen los siguientes paquetes: H_1 , primer paquete formado por lutitas negruzcas con frecuentes intercalaciones de areniscas, algún nivel carbonatado y pequeños pasos de carbón; paquete Esperanza (H_2), Voluntad (H_3), Gavitos (H_4), Reguerón (H_5), Vena del Medio (H_6), Águilas (H_7), Tejeras (H_8) y Martas (H_9).

La serie de paquetes que abarca desde el H_2 hasta el techo del Carbonífero desarrolla una potencia de 1200 m se caracteriza por una serie de sedimentos detríticos que muestran ciclos similares comenzando por un nivel de caliza, siguiendo por lutitas con abundante fauna marina, areniscas y una capa de carbón. Este ciclo se presenta sobre todo en los tres primeros paquetes inferiores.



3.3.2.2 Triásico

En los materiales del triásico se encaja la mineralización de fluorita objeto de explotación. El contacto discordante de carbonífero y triásico tiene lugar a través de un sistema de fallas paralelas la falla de Ventaniella (dirección NW-SE) y aparece muy tectonizado.

De muro a techo se tienen los siguientes horizontes:

- Conglomerado de La Riera. Conglomerados calcáreos de 25 m de potencia que presentan espato-flúor rellanando las diaclasas. Este material aparece puntualmente en el área estudiada. Se clasifica como Permotriásico.
- Horizonte de sedimentos detríticos de edad Bundsandstein (T_{G1}) formado por una alternancia de conglomerados heterométricos silíceos, areniscas groseras, que desarrolla una potencia variable de en torno a 100 m.
- A continuación se dispone un nivel de edad Muschelkalk (T_{G2}) de 40 m de potencia media. Comienza por un horizonte calcáreo-detrítico de espesor entre 5-10 m, en cuya base se encaja el nivel mineralizado de unos 3 m de potencia. Este horizonte lo forma una caliza arenosa con distintos tipos de facies y concentraciones irregulares de material arcilloso que engloba granos de cuarzo y cristales de fluorita. En la descripción minera se la conoce de hecho como margocaliza debido al relleno de fracturas con dicho material.

El resto del horizonte hacia el techo es igualmente calcáreo-detrítico, formado por calizas con cantos de sílice dispersos y areniscas de grano fino margosas y pasadas de conglomerados.

El resto del nivel T_{G2} (Muschelkalk) está formado por areniscas con niveles de conglomerados silíceos groseros mal clasificados con matriz areniscosa y pasadas de margas rojizas y verdosas.

- Para finalizar el Triásico, se tiene el T_{G3} de edad Keuper, que puede alcanzar una potencia de 200 m. Está formado por margas rojas, con finas intercalaciones de areniscas margosas, arcillas y pasadas de yesos.

3.3.2.3 Jurásico

Los materiales Jurásicos afloran al norte de Villabona y se diferencian en su estructura dos conjuntos: el más inferior de edad Hettangiense-Sinemuriense aflora de manera concordante sobre el techo triásico del Keuper, y sobre este aflora mediante contacto discordante el conjunto de edad Dogger.



El mencionado conjunto Hettangiense-Sinemuriense se conoce localmente como Conjunto Gijón, que desarrolla una potencia de entre 100 y 120 m y está formado en su tramo inferior por dolomías en bancos gruesos que hacia techo pasan a calizas dolomíticas grises, mayoritariamente micríticas y bien estratificadas en capas delgadas, que presentan a veces tramos oolíticos y oncolíticos, los cuales incluyen a menudo granos de cuarzo detrítico de tamaño arena y también intraclastos, pellets, fragmentos de gasterópodos y equinodermos.

El siguiente tramo de edad Dogger se conoce como Miembro Estaño del conjunto La Ñora y se compone de alternancias de conglomerados silíceos en su mayoría, con areniscas y lutitas rojizas. Los conglomerados están formados por cantos de cuarcita, arenisca cuarzosa y algo de lidita, muy bien cementados con matriz areniscosa.

3.3.2.4 Cretácico

El Cretácico aflora al sureste de Villabona. Se encuentra en contacto con el Carbonífero y el Triásico gracias a la falla de Llanera. Está formado por dos conjuntos, el inferior de edad Albiense-Cenomaniense compuesto de materiales silíceos, como conglomerados, areniscas y arcillas y el superior, de edad Turoninense-Santoniense, que es predominantemente carbonatado.

3.3.2.5 Terciario

Los sedimentos terciarios afloran al sur del área de estudio asentándose de manera discordante sobre el Cretácico inferior. Se distingue en esta formación la conocida como “Pudinga de Posada”, formada por conglomerados calcáreos.

3.3.3 Tectónica

La zona de estudio se localiza en el borde nororiental de la región de Pliegues y Mantos de la zona Cantábrica. Los accidentes a destacar aquí en el paleozoico son los originados durante la Orogenia Hercínica: una serie de mantos de corrimiento y dos sistemas de pliegues; uno longitudinal y otro transversal a los mantos. El pliegue sinclinal de Santo Firme (Carbonífero), es uno de dichas estructuras hercínicas.

Los accidentes a destacar por otro lado en cuanto a mesozoico y terciario son los derivados de la Orogenia Alpina. Estas deformaciones, más modernas tienen un carácter frágil, es decir estas constituidas por fallas. Estas se pueden agrupar en dos familias:

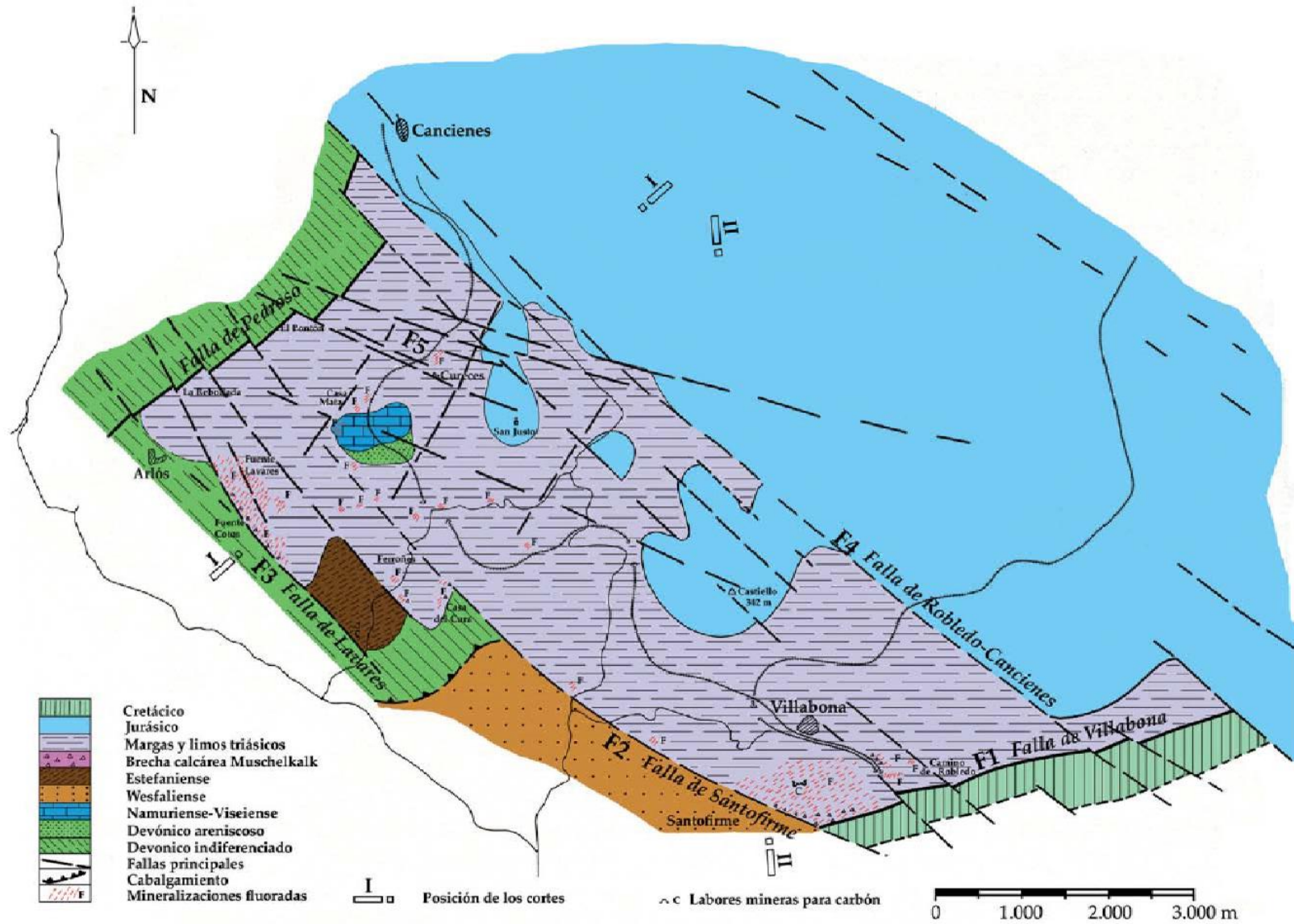


Ilustración 18. Esquema geológico del Distrito Minero de Villabona-Arlós (tomado de *Contribución de la geología minera al conocimiento de la cuenca permotriásica asturiana* (Luque Cabal, 2010))



1. El sistema de fallas transversales de dirección NO-SE y paralelas a la falla de Ventaniella (fallas de Castiello y Las Cabañas). Son de desgarre o distensivas con hundimiento de los bloques orientales. A través de estas fracturas se alimentan los fluidos mineralizados que dieron lugar al yacimiento de fluorita.
2. Falla de Llanera. De orientación OSO-ENE, limita por el sur los materiales carboníferos, provocando el hundimiento del bloque meridional y poniendo en contacto el Carbonífero y el Triásico con el Cretácico y Terciario.

Se estudiarán a continuación con más detenimiento los sistemas de fallas así como las fracturas más locales asociadas a las mismas desde el punto de vista estructural de la mina Villabona.

3.3.3.1 Yacimiento

Para la caracterización del yacimiento de la mina Villabona, así como su historial de laboreo se ha tomado como fuente la obra “La fluorita. Un siglo de minería en Asturias” (Gutiérrez Claverol, 2009).

En el distrito de Villabona-Arlós coinciden en el mismo lugar dos yacimientos, que a su vez han dado origen a dos estructuras subterráneas diferentes. Por un lado se tiene la cuenca carbonífera de Santofirme, en la cual se han beneficiado 24 capas de carbón de 8 paquetes mineros. Por otra parte, las explotaciones de espato flúor encajadas en las formaciones triásicas cuyo método de laboreo ha sido por cámaras y pilares.

La fluorita se presenta de forma estratiforme en horizontes intercalados en la serie triásica. Se diferencian tres capas explotables:

- El filón (nº1), localizado en la zona de brechificación entre fracturas subparalelas de contacto con el Westfaliense que limita con la cuenca permotriásica, de dirección E-O a SE-NO y buzamiento al 35-65°N. Esta mineralización tiene una potencia de 5-10m y se organiza de forma irregular con geometrías variables. La parte superior es la más masiva y esta explotada por minería a cielo abierto. Su zona inferior, por el contrario, mediante labores de interior.
- La capa nº2, explotada en la zona de Mundín sobre el paleorrelieve carbonífero. Las capas están afectadas por fracturas subparalelas a la falla de contacto Carbonífero-



Permotrías de manera que hundan en escalones hacia el N. Las leyes en CaF_2 se empobrecen a medida que se toma distancia de esa zona fracturada.

El principal nivel explotado corresponde a la edad Muschelkalk, en el tramo medio del Triásico, un horizonte calcáreo mineralizado en toda su potencia con fracción detrítica cuarzosa, dispersa y escasa.

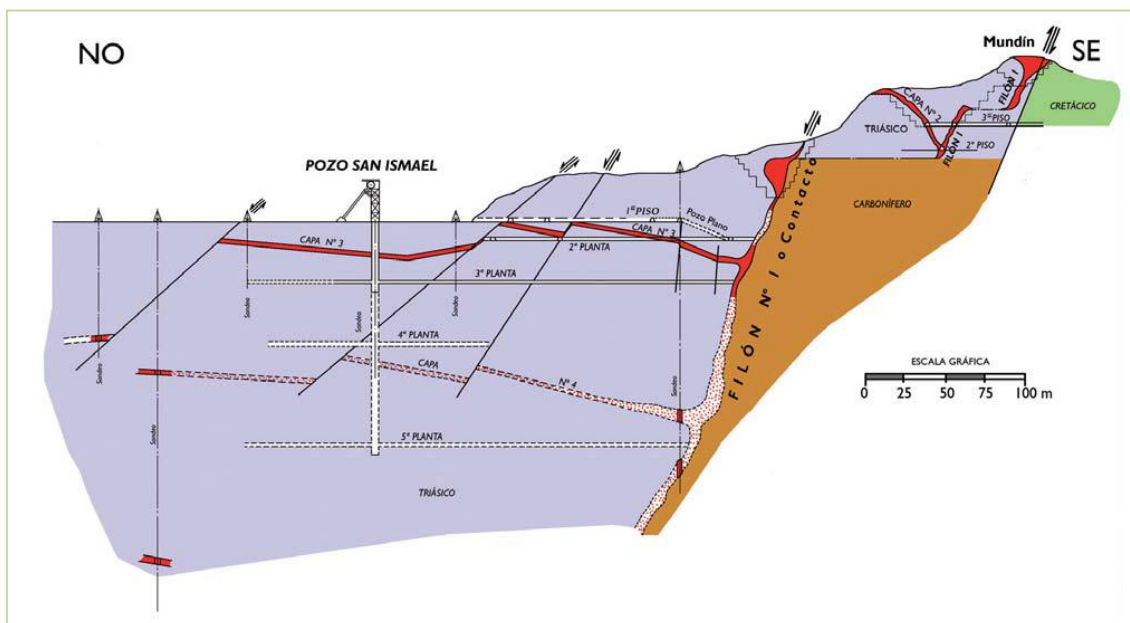


Ilustración 19. Corte geológico con las capas mineralizadas. (Gutiérrez Claverol, 2009)

3.3.3.2 Laboreo

El grupo *Santo Firme y Cárcava*, como se conoce al yacimiento de Villabona comienza a explotar carbón en el siglo XIX. Estos comienzos aún eran ajenos al beneficio del espato flúor. De hecho, la peculiaridad de este yacimiento es la coexistencia de capas de carbón y de espato flúor.

En 1957 *Minas de Villabona, S.A.* toma interés por el espato flúor por lo que solicita el cambio de sustancia de explotación en su concesión minera del carbón a este mineral. El comienzo del beneficio del espato flúor se centra en el área Mundín y solamente se focalizaba la atención en el filón principal que rellena las fallas subparalelas del contacto Carbonífero-Triásico y en la capa nº2. Esta actividad data de 1942, y sus reducidas extracciones se realizaban en unas condiciones precarias.



A principios de los sesenta, *Minas de Villabona* intensificó la producción en el entorno del área Mundín. Se beneficiaba la capa nº2 en todo su volumen casi hasta superficie, y se requería un sostenimiento constante en los hastiales dadas las condiciones de reducida resistencia mecánica de la roca encajante. El sistema de laboreo consistía en “palea en cadena” desplazando por lo tanto el material de forma manual hasta las vagonetas.

En Mina Vieja, se abrió el segundo piso, 15 m por debajo del primero (cota 215,90), gracias a lo cual la producción de fluorita pronto supero las 200.000 t con unas leyes de 40-55%.

En 1966 se inicia el beneficio de la capa nº3 en Mina Vieja a partir del transversal Este (piso 1º a cota 161,9; siendo el laboreo por medio de galerías en capa y a muro, y a su vez pocillos por donde se evacuaba el mineral a los vagones. En esta zona se explotó el filón nº1.

A partir de entonces, el laboreo posterior llevado a cabo se ejecutó con sistemas de perforación y voladura diseñados específicamente para el yacimiento. El arranque se realizaba por voladura; los explosivos empleados fueron dinamita y amonita iniciados por pega eléctrica con detonadores de retardo.

Las potencias eran de entre 1,5-4; en capas generalmente subhorizontales y con 30° de inclinación en las proximidades de las fracturas.

Por aquel entonces, en el mercado internacional se dio un periodo de escasez de espato flúor debido a las características de granulometría y de contenido en sílice, y no tanto por la ley de la mena. En cuanto a la mena local, se caracterizaba por una ley en SiO_2 del 50% y una CaF_2 liberados del resto de minerales accesorios.

Ciertas zonas de la mina también presentaban mena con una ley en fluorita inferior al 35%, demasiado pobre, por lo que dichas zonas no se explotaban debido a los requerimientos del sistema de flotación. Es por esto que en 1969 tuvo lugar la instalación de una plata de lavado de líquidos densos.

El potencial del yacimiento era muy bueno; contaba con 3,5 millones de toneladas de mineral brutas aseguradas y 5 millones probables del filón nº1 y niveles silicificados.

En sus comienzos, la explotación de fluorita se hizo a través de las labores ya existentes para la minería del carbón. Más tarde se abrió un plano inclinado de 4 x 25 m específico a este fin.



En 1972 tuvo lugar la construcción del pozo San Ismael, ubicado al noreste de la bocamina de la mina, que permitió la explotación de las capas nº3 y nº1 así como canalizar la extracción de la mena de espato flúor y de hulla.

La empresa a cargo de la explotación estaba obligada a mantener estrictos controles del gas grisú así como medidas de seguridad ya que las labores estaban catalogadas como explotación de recurso energético (beneficio de carbón). Sin embargo, en 1974 se dió la posibilidad de cambiar esta categoría ya que después de tres días de cese de la ventilación no se detectaron concentraciones de gas metano, con el ahorro de medidas de seguridad que ello supuso.

A la par con las mayores cifras de extracción de mena (más de 300.000 t en el año 1976, cifra récord), lo que se atribuye al eficiente equipamiento minero, también se ponen en marcha campañas de exploración de las áreas adyacentes dentro de la misma concesión para ampliar nuevos horizontes de beneficio. Dichas campañas dieron resultados positivos en su mayoría, de hecho que se fijó la concesión Amparo (este de concesión Ricarda) como punto de interés para inicio de una explotación a cielo abierto, puesto que englobaba cuatro capas mineralizadas.

Estas perspectivas favorables se vieron empañadas por el aumento de los costes de extracción en la década de los 70. En un plazo de 6 años se triplicaría el coste de extracción por tonelada bruta de material.

En 1977, se arrendó el yacimiento a *Hullas del Coto Cortes, S.A.* A pesar de la valoración de los recursos, juzgada como positiva, las condiciones del mercado internacional no favorecieron.

Hullas del Coto Cortes, S.A. estableció el método de cámaras y pilares a través de niveles descendentes para la práctica totalidad del laboreo, “con trazaje en cámara abierta descendente a plena sección de la capa, la cual tiene un ley del 33-37 por ciento en CaF_2 , una potencia media de 3,5 m y un buzamiento de 10-15 por ciento hacia el NE” (Vázquez Guzmán, 1980). Así se benefició el 70-75% del total de la masa mineralizada.

El dimensionado y la posición de los pilares y las cámaras no siguen un orden regular. Esto se debe a la presencia de fracturas en el macizo que no hizo posible establecer una pauta definida.



Así mismo, también cambio el sistema de “scraper” empleado hasta el momento por el método L.H.D, el cual se basa en cargar el mineral en palas articuladas sobre neumáticos. Y el método de transporte mediante vagones de 700 l de capacidad propulsados por locomotoras eléctricas se sustituyó por camiones de gran tonelaje.

Esta innovación en el sistema de laboreo se implementó con la apertura de un nuevo plano situado 35 m al NO de la bocamina y al mismo nivel que esta (cota 160,37). Este plano cuenta con una sección de 24 m², una longitud de 430 m y una pendiente del 9,5%. Además en 1979 también se optimizó el sistema de arranque, consiguiendo avances de 2,5-3 m en función de las características de la roca. El arranque se llevaba a cabo por parejas de operarios.

La perforación se llevaba a cabo mediante martillos neumáticos con empujador barrenando 1,6 m en función del macizo en cuestión. En los transversales y galerías suficientemente amplias se perforaba mediante jumbos de dos brazos. Los explosivos empleados eran goma 2E y amonita, cargándose la pega mediante palas neumáticas. Mientras no estuvo ejecutado el mencionado plano de 24 m² de sección la salida era a través del pozo San Ismael.

Entre 1969 y 1971 se inició la explotación a cielo abierto de los pisos 2º y 3º en el área de Mundín así como el filón nº1. Inicialmente, la atención se enfocó en la mineralización de la zona de contacto por falla con el carbonífero en terreno de la concesión Amparo.

Se inicia así una corta localizada al oeste del pozo San Ismael debido a las previsiones positivas ofrecidas por campañas de exploración geológica, que databan unas reservas de más de 250.000 t. Esta explotación beneficiaba la mineralización que constaba desde el interior, y se diseñó desde un principio contando con el plano de contacto Carbonífero-Permotrías como cara libre del talud de la corta.

El método de arranque de esta corta se llevaba a cabo, según IGME, se lleva a cabo mediante bancos de altura variable, en general de 5 m, del que el primero desmonta el recubrimiento hasta descubrir el techo de la capa mediante bulldozer de orugas y voladuras cuando es necesario. Una vez descubierta la capa se barrena mediante vole-drill, efectuándose taladros verticales y banqueándose. El transporte de mineral y estéril se subcontrataba a terceros.



El mineral extraído era inmediatamente transportado al lavadero. Así el coste de extracción por tonelada en esta labor de cielo abierto era sensiblemente inferior al de las labores de interior.

A principios de los años 80, dificultades de venta desembocaron en acumulaciones de stock y los consiguientes problemas financieros, que acabaron por paralizar las labores.

3.4 Características hidrogeológicas

3.4.1 Introducción

Según la distribución que en su momento se llevó a cabo en el Plan Hidrológico de la Cuenca Norte II, la ubicación hidrogeológica de la Mina Villabona se encuentra entre las unidades hidrogeológicas “Llantones”, “Pinzales-Noreña” y “Oviedo-Cangas de Onís”.

Como anteriormente se ha expuesto, el encuadre geológico comprende las formaciones del triásico y carbonífero. Al norte también aflora el jurásico, y al sur ya en menor medida el cretácico.

Los materiales que en esta zona constituyen acuífero figuran de edad jurásica y cretácica. El cretácico conforma un acuífero multicapa integrado por un primer tipo de carácter detrítico o niveles arenosos en el cual se intercala otro de carácter carbonatado de areniscas y calizas. La permeabilidad de estos es variable debido a la variabilidad de potencia y facies. El jurásico presenta a su vez dos tipos de acuíferos: uno de tipo detrítico que corresponde al Dogger (areniscas y conglomerados) y otro de tipo calcáreo. Este último es el de más presencia a nivel regional.

3.4.2 Climatología

El área de estudio presenta según los valores de precipitación y temperatura un clima templado y húmedo.

Según el estudio hidrogeológico de la Cuenca Norte de España llevado a cabo por el IGME, se puede observar como la ubicación de Villabona se encuentra, en términos medios anuales entre la isoyeta de 1000 mm y la de 1100 mm (Ilustración 20), una temperatura media mensual de 13°C, una evapotranspiración real media de entre 650 y 700 mm y una lluvia útil media entre 300 y 350 mm.

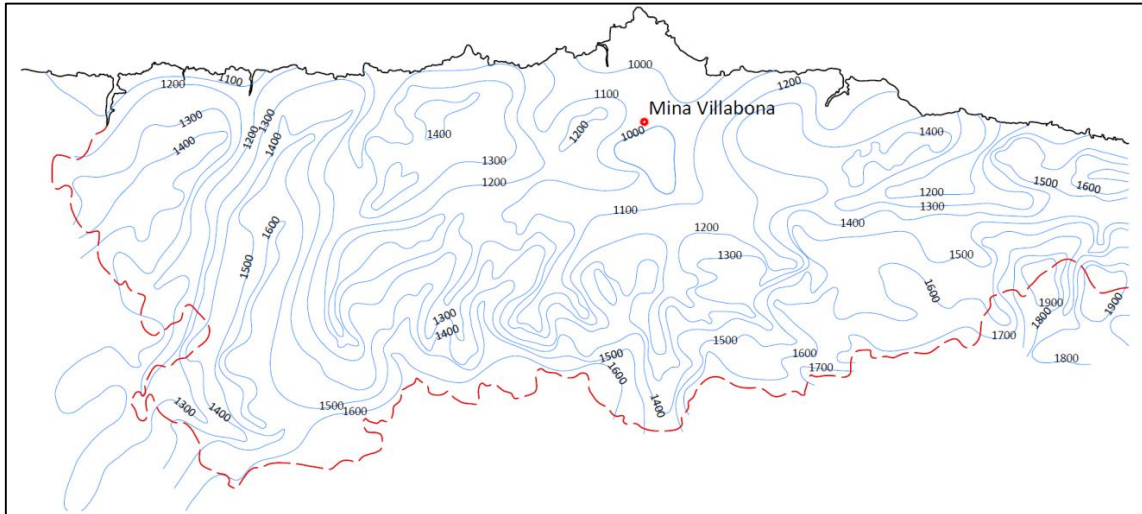


Ilustración 20. Mapa pluviométrico de Asturias. (Fuente: Estudio hidrogeológico (IGME, 1995).

Los datos de que se disponen para la estación meteorológica de Lugo de Llanera se datan en el periodo 1952-1960. Como se observa en el Ilustración 21, esta es la estación más cercana al entorno de la mina Villabona y por tanto la más representativa en cuanto a datos climáticos. Los valores medios de precipitación media anual y temperatura media mensual son respectivamente 954 mm y 11,9°C.



Ilustración 21. Estaciones pluviométricas cercanas a Villabona (Google Earth)

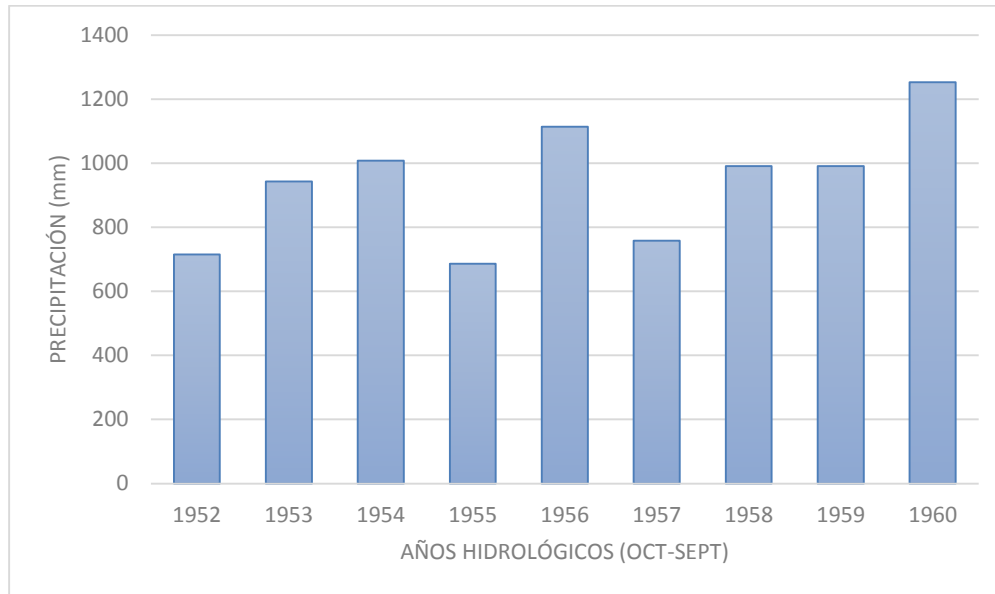


Ilustración 22. Precipitación del período 1952-1960 en la estación de Lugo de Llanera. (Fuente: (IGME, 1995))

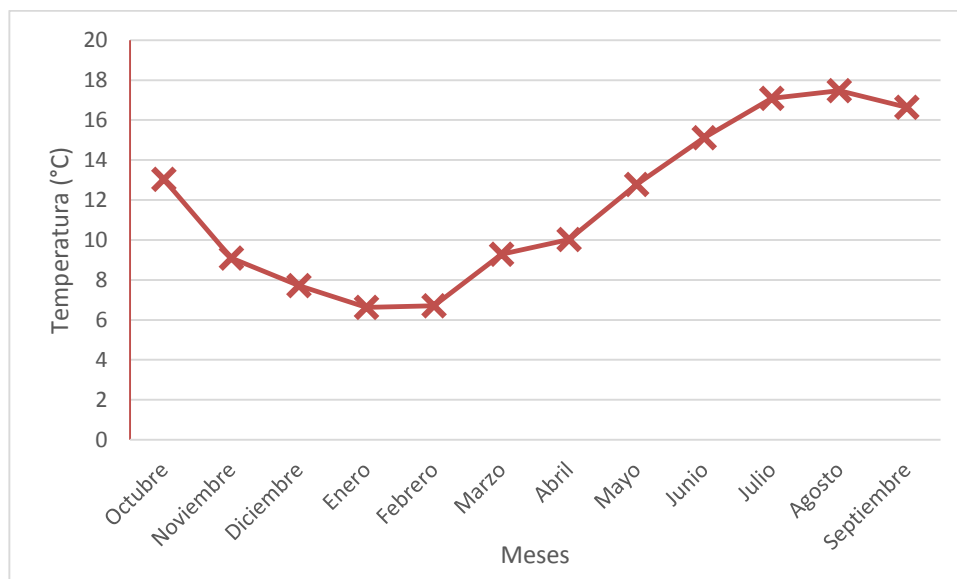


Ilustración 23. Temperaturas del período 1952-1960 en la estación de Lugo de Llanera (IGME, 1995)

3.4.3 Inventario de puntos de agua

Se expone en la Tabla 8 un inventario de los puntos de agua que afloran en la zona de estudio. Se incluye así mismo, coordenadas, altitud, usos, toponimia...etc.

Los puntos de surgencia del agua se asocian a los materiales que afloran en la región. Los puntos nº 3, 4, 5, 8, 9, 10, 16, 17, 18 y 20 se relacionan con sedimentos triásicos, asociados



a niveles arenosos y conglomeráticos, y son generalmente de un escaso caudal con fuertes variaciones estacionales.

Entre estos puntos de agua se destacan dos, que corresponden a sondeos surgentes; son el punto nº1 donde se corta un nivel acuífero situado en la base del Trías, y el punto nº12 que corta un horizonte de calizas y conglomerados pertenecientes al tramo TG1. Ambos acuíferos por tanto son conglomerados.

Los puntos nº18 y 20 por su parte corresponden a surgencias de antiguas labores donde las galerías recogen y canalizan el agua hasta el final de las mismas.

Los puntos 11, 13, 14 y 15 se corresponden con los materiales acuíferos jurásicos, que no muestran caudales elevados ni variaciones estacionales tan acusadas como los anteriores. Sin embargo son los más empleados para aprovechamiento.

El aprovechamiento que se le da los puntos de los que se hace uso suele ser el abastecimiento ganadero, regadío de parcelas, y cuando el caudal es significativo se destina a uso doméstico. Son ejemplo de esto los manantiales nº 14 y 15 que abastecen las poblaciones de La Cigoña y la Vega, pertenecientes al Ayto. de Villabona.



Tabla 8. Inventario de puntos de agua. (IGME, 1995)

Nº	Naturaleza	Toponimia	Coordenadas (UTM)	Cota (m)	Caudal (l/s)	Litología	Uso	Observaciones
1	Sondeo	Sondeo C-3	271005, 4816625	131	0,3	conglomerado		Sondeo surgente
2	Manantial	Finca del Gasparo	270275, 4815755	323	escaso	caliza	Abto. Vivienda	Boca mina
3	Manantial	M. del Palacio	270475, 4815365	367		conglomerado	Abto. Palio de Villabona	
4	Manantial	M. de las Burbujas	270630, 4815065	343		TG1		
5	Manantial	M. del Túnel	272205, 4815690	168	0,06	conglomerado (TG1)		Se usó para abto.
6	Galería		272205, 4815710	166	0,7			Salida túnel
7	Galería		272185, 4815710	170	0,8			Salida túnel
8	Manantial	Fuente de la Rotella	271670, 4816760	134	0,2	TG3	Lavadero	
9	Manantial	Fuente de Veyo	270480, 4817210	200	1	TG3	Fuente pública	
10	Manantial	M. 3 piso Mondín	271745, 4815745	211		TG1		
11	Manantial		271550, 4716035	161	0,3	caliza (Lías)		
12	Sondeo	Sondeo V-12	270090, 4816930	189	escaso	conglomerado (TG1)	Ganadería	Sondeo surgente
13	Manantial	M. de la Coria	272165, 4817350	135	1,3	caliza (Lías)	Riego, abto. Vivienda	
14	Manantial	Fuente del Oro	272155, 4817380	140	0,5	caliza (Lías)	Abto. La Vega, etc	
15	Manantial	Fuente de la Castañal	272950, 4817800	202	0,3	caliza (Lías)	Abto. La Vega, etc	
16	Manantial		271960, 4815875	170	0,17	TG2		
17	Manantial	M. de la depuradora	271690, 4815644	217		TG2		
18	Galería		270095, 4815810	250	escaso	Trías		
19	Galería		269305, 4815750	205		Carbonífero		
20	Galería		270739, 4815970	227		Trías		



3.4.4 Hidrogeología local

Las formaciones geológicas del presente área de estudio son en su mayoría desde el punto de vista hidrogeológico de escasa importancia; no poseen elevada transmisividad catalogándose así como acuicludos o acuífugos. Las excepciones a esta afirmación son paquetes específicos del Jurásico y Cretácico, las cuales sí pueden catalogarse como acuíferos. A continuación se especifican.

- Carbonífero. Como se exponía en las características geológicas anteriormente, el Carbonífero está formado por una serie detrítica; alternancia entre lutitas, limolitas, areniscas, calizas y capas de carbón. De estos materiales, tanto areniscas como calizas presentarían porosidad secundaria por fisuración, y la caliza además por karstificación. Sin embargo todo ello es de escasa importancia en cuanto a almacenamiento y transmisividad de aguas debido a la reducida potencia y alternancia con niveles impermeables.
- Triásico. Pese a la escasa presencia de tramos de areniscas y calizas, el Triásico puede catalogarse globalmente como impermeable, debido al elevado contenido en arcillas y margas. Los conjuntos de materiales que integran al Trías en la zona de estudio son:
 - ❖ Conglomerado de La Riera. Debido a la permeabilidad secundaria por fisuración y karstificación puede constituir un acuífero de escasa importancia.
 - ❖ TG_1 (Bundsandstein). Este conjunto presenta una potencia que puede llegar a los 100 m. Los tramos areniscosos y conglomeráticos que la componen desarrollan una permeabilidad secundaria anisótropa por fisuración que se define como muy baja. Así mismo, a techo presenta niveles carbonatados que se catalogan como impermeables debido a que los poros y oquedades se presentan rellenos de arcillas.
 - ❖ TG_2 (Muschelkalk). La base del Muschelkalk presenta un tramo calcáreo que desarrolla una potencia de entre 5 y 10 m con poros y oquedades rellenos y por tanto una permeabilidad secundaria por fisuración y karstificación baja. Sobre esta base se sucede una serie detrítica de tres paquetes, a saber: un primer paquete calcáreo-detrítico que desarrolla una permeabilidad secundaria similar a la caliza basal, un segundo paquete de conglomerados y uno tercero areniscoso con niveles de conglomerados y margas. Ambos segundo y tercero presentan una



permeabilidad secundaria que se torna más significativa en las proximidades de las fracturas grandes.

Esta unidad Muschelkalk tiene una potencia media de en torno a 40 m.

- ❖ TG_3 (Keuper). Para finalizar el Triásico se tiene un Keuper de 200 m de potencia con margas que se definen como impermeables por su contenido en materiales arcillosos y margosos.
- Jurásico. Se diferencian en este dos unidades; por una parte un Jurásico inferior (Hettangiense-Sinemuriense) calcáreo dolomítico que se constituye como acuífero debido a una permeabilidad secundaria por fisuración y karstificación media-alta. Este acuífero es por su utilidad para la región, objeto de protección. Por otra parte se tiene el Jurásico superior (Dogger) formado por conglomerados y de una escasa permeabilidad secundaria por fisuración.
- Terciario. En el área de estudio se tiene la “pudinga de Posada”, una unidad de escasa importancia hidrogeológica debido a una escasa permeabilidad secundaria por fisuración y karstificación por alto contenido en material arcilloso.
- Cuaternario. El cuaternario, aunque no muy abundante, tiene presencia en la zona de estudio con contacto discordante sobre Triásico, Jurásico y Terciario. Es un material aluvial, de conos de deyección y depósitos antrópicos luego característico de cierta porosidad intergranular. Por lo tanto presenta permeabilidad y puede ser dado a la recarga de otras formaciones sobre las que se dispone.

La recarga de las formaciones acuífero tiene lugar de dos formas, bien por recarga de forma directa a través de la lluvia o de forma indirecta por otros medios. Entre la recarga indirecta figura la transferencia entre unidades geológicas (por ejemplo entre Jurásico y Triásico). El Cuaternario, como se nombraba anteriormente actúa a modo de conexión hidráulica recargando aquellas formaciones permeables inferiores al mismo dado su carácter granular.

El drenaje de las formaciones permeables tiene lugar a través de manantiales, sondeos (aquellos que se nombran en Tabla 8) y labores mineras. Tanto escorrentía superficial como escorrentía subterránea drenan sus aguas a los arroyos locales.

3.4.5 Hidrogeología en el yacimiento

La capa explotada en el yacimiento Villabona corresponde al Triásico Muschelkalk, la cual buza 10-20° al norte y desarrolla una potencia mineralizada de entre 2 y 5 m. El método de explotación como se ha mencionado es por cámaras y pilares por niveles descendientes y no



siguiendo estos pilares ninguna pauta regular. El terreno se encuentra fracturado por fallas de dirección NO-SE de manera que la capa mineralizada se divide en escalones que buzan en dirección norte.

Durante el transcurso de las labores, en el avance del frente surgen afluencias de agua al interior de la cámara que no cesan su aporte si no es con la explotación de niveles inferiores. En el frente de capa del plano nº2 no se reconocen puntos de surgencia de agua significativos. Los aportes reconocidos corresponden a goteos en el techo y planos de fractura en la roca, luego no constituyen accesos de caudal cuantificable.

Durante la realización de las labores el caudal bombeado al exterior se cifraba en torno a 200 m³/día.

El caudal de agua de infiltración observado en las galerías de la antigua explotación de carbón se aprecia influenciado por aportes de lluvia exterior. No así el caso de la explotación de cámaras y pilares de fluorita, que se observa independiente. Ambas labores no se encuentran aisladas completamente, por lo que se tiene constancia de conexiones hidráulicas entre ellas.

Las filtraciones de agua al interior de la misma, en forma de goteos se relacionan directamente con los puntos de intersección de las fracturas o zonas cercanas a las fallas principales. Estas filtraciones al interior de la explotación de fluorita se pueden clasificar en cuatro grupos por orden de importancia:

1. Primer grupo asociado a la convergencia de fracturas de dirección NO-SE con ONO-ESE localizado en el centro de la mina.
2. Segundo grupo de convergencia de las fracturas de dirección NO-SE y NE-SO localizado en la zona norte. Se asocia, como el primer grupo anterior a un máximo de intersecciones de fracturas.
3. Tercer grupo asociado a la falla de dirección ONO-ESE que pone en contacto el Triásico con el Carbonífero

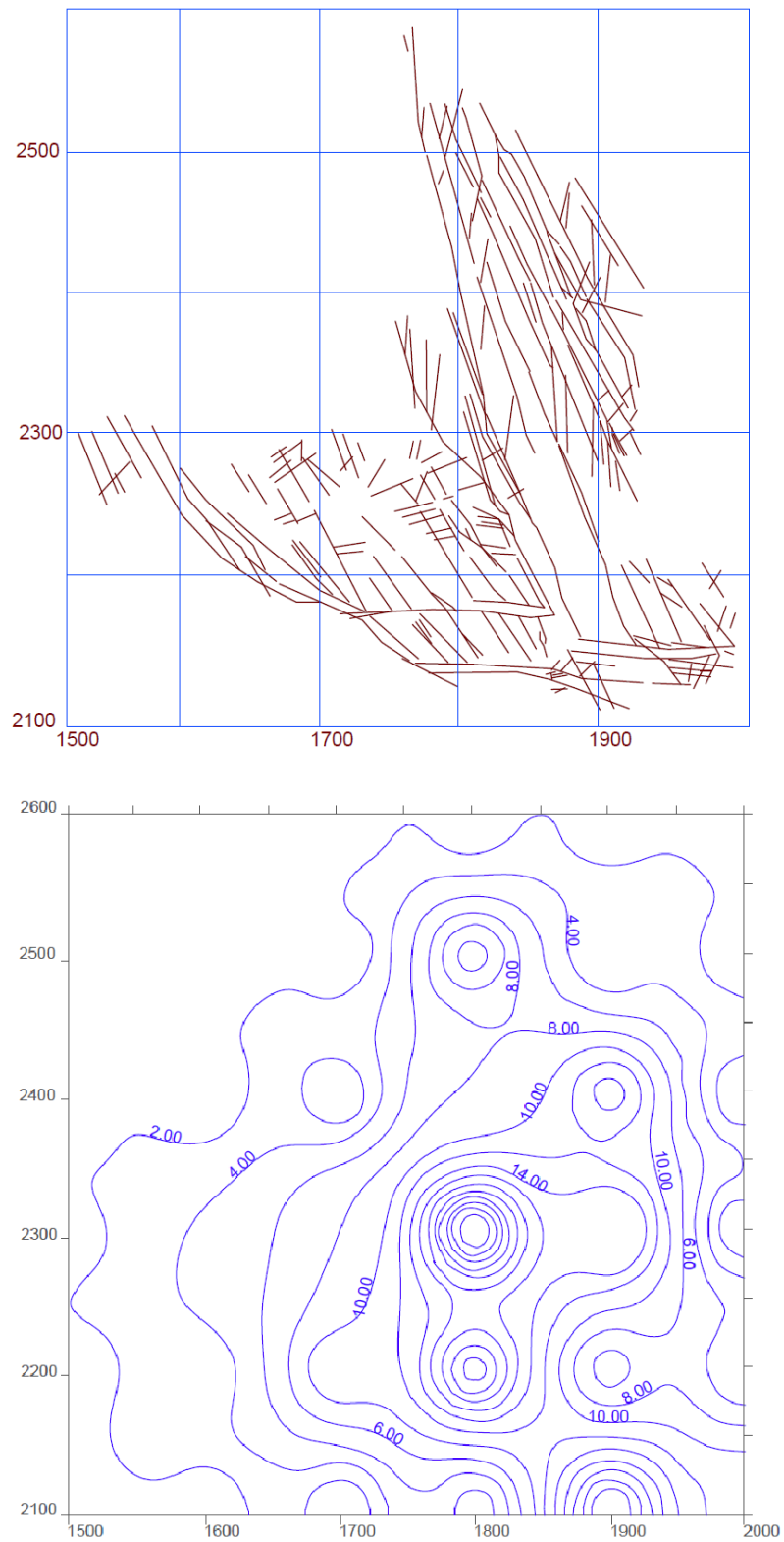


Ilustración 24. Relación entre los puntos de infiltración de agua y las intersecciones de fracturas. (IGME, 1995)



4. Cuarto grupo asociado a la convergencia de las fracturas de dirección NO-SE con las E-O, localizado al O-SO del primer grupo.

El hueco abierto por las labores de cámaras y pilares se sitúa litológicamente en los tres metros inferiores del paquete Muschelkalk triásico (TG_2), dentro de su primer paquete calcáreo-detritico de entre 5 y 10 m de potencia. El techo de las labores lo forma por tanto estos 40 m de TG_2 y sobre este se disponen 120 m del TG_3 (Keuper), los cuales pueden clasificarse hidrogeológicamente como impermeables debido a los contenidos en arcillas y margas que poseen. Excepcionalmente se tienen los niveles areniscosos y conglomeráticos del TG_2 , que al aflorar al sur de Villabona como zona de recarga, son la única litología que permitiría las filtraciones de agua al interior de la mina. No obstante, las únicas manifestaciones de flujos de agua a los huecos son goteos en techo y pilares, más asociados a las mencionadas intersecciones de fracturas que a litologías permeables.

A muro de las labores se tienen el tramo carbonatado del triásico Bundsandstein, que se había catalogado como impermeable debido al relleno de sus poros por material arcilloso, e inmediatamente debajo se encuentra la formación "Conglomerado de La Riera" también impermeable a efectos. Esto se evidencia ya que no se localizan flujos de agua en el muro de las labores. Además durante la explotación de la mina se han habilitado balsas para el almacenamiento de agua sobre el muro que no han mostrado variación de volumen a lo largo del tiempo por filtración.

Los sedimentos en los que encaja el hueco de las labores se pueden considerar, por tanto, impermeables y se descarta la conexión hídrica con los horizontes permeables próximos. La capa mineralizada presenta permeabilidad por fisuración y karstificación muy variable, en la que se tuvo constancia de aportes de agua en un primer contacto de la explotación pero que posteriormente se ha confirmado no existir puntos de aporte natural de agua. Esto es, no tiene lugar un flujo de recarga y descarga del sistema kárstico.

En base a lo expuesto, se ha valorado en el informe hidrogeológico (IGME, 1995) que el sector norte estudiado de la mina Villabona ofrece condiciones hidrogeológicas aceptables para su empleo como almacén de residuos.



3.5 Características hidroquímicas

3.5.1 Introducción

Se expone a continuación el estudio hidroquímico de las aguas de la Minas Villabona, tanto superficiales como subterráneas realizado por el IGME en el año 1995.

La litología de las formaciones geológicas con las que entra en contacto el agua es determinante en su caracterización química. Las aguas subterráneas poseen características físico-químicas más o menos constantes, dependiendo de la litología que atraviesan y del tiempo de residencia, así como de los posibles procesos que haya sufrido (disolución, hidrólisis, reacciones redox o bioquímicas,...)

El estudio hidroquímico permite averiguar es estado de equilibrio de las fases, las posibles vías de flujo del agua, y la existencia de fenómenos de mezcla y dilución.

3.5.2 Objetivos

El estudio hidroquímico permite mediante el análisis y caracterización de las muestras, determinar la existencia de aguas de diferentes tipos y por lo tanto de diferente procedencia. También interesa determinar si las aguas se encuentran en equilibrio con la formación.

Cabe señalar las limitaciones con que cuenta el mencionado estudio, a saber: el número de muestras es reducido y el muestreo se hace puntualmente en el tiempo, por lo que nada se puede deducir de la evolución temporal de la química del agua.

Los objetivos perseguidos son los siguientes:

- Clasificación de las muestras en grupos homogéneos por su composición y características de equilibrio.
- Determinación de la química de las aguas, relacionando composición con los materiales atravesados
- Cálculo del estado de equilibrio de las fases en solución para determinar el estado de saturación de los minerales más abundantes, estableciendo en base a ello la tendencia a disolución o precipitación de las aguas.
- Detección de la presencia de fenómenos de mezcla o disolución.



3.5.3 Muestreo y métodos analíticos

Las muestras tomadas son 10, de las cuales todas fueron tomadas en noviembre del año 1995 (H-1, H-3, H-4, H-5, H-6, H-7, H-8, H-9, H-10) a excepción de una (H-11) tomada en diciembre.

Así mismo, 8 de las muestras se tomaron en el interior de la mina, en puntos de surgencia y rezumes de considerable caudal que brotan en los planos e intersecciones de fallas. De estas todas han sido tomadas en litología triásica a excepción de la H-10, que fue recogida en la zona suroeste en contacto con el carbonífero productivo. Las dos restantes tomadas en exteriores son la H-3, correspondiente a un sondeo de explotación minera y la H-11, recogida en el contacto con el carbonífero.

Para el análisis químico se han tomado dos muestras en botella de plástico de un litro de capacidad, completamente llenas para prevenir la reacción con el aire.

3.5.4 Interpretación de los resultados analíticos

Las muestras pueden clasificarse en tres grupos diferenciados según la conductividad:

- H-1 y H-3: 600-700 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- H-6, H-9, H-10 y H-11: 1000-2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- H-4 y H-5: 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$

Las facies hidroquímicas de las muestras se pueden clasificar en dos tipos:

- Aguas bicarbonatadas
- Aguas sulfatadas

En cuanto a los cationes, predomina el magnesio en las muestras H-1 y H-3 y el calcio en el resto.

En la Tabla 9 se observa la clasificación de facies hidroquímica:



Tabla 9. Clasificación de muestras de agua según facies hidroquímica (IGME, 1995).

Muestra	Facies química
H-1	Bicarbonatada-sulfatada magnésico-sódica
H-3	Sulfatada magnésico-cálcica
H-4	Sulfatada magnésico-cálcica
H-5	Sulfatada magnésico-cálcica
H-6	Sulfatada cálcica
H-7	Sulfatada cálcica
H-8	Sulfatada cálcica
H-9	Sulfatada cálcica
H-10	Sulfatada cálcica
H-11	Sulfatada cálcica

Atendiendo a la composición química de las muestras, estas se pueden clasificar en dos grupos; un primer grupo integrado por la muestra H-1, y el resto de ellas.

La muestra H-1 se relaciona con una litología de terrenos calcáreos, sedimentos arcillosos enriquecidos en sodio con posible presencia de dolomías. El segundo grupo se relaciona con terrenos evaporíticos enriquecidos en sulfatos. Se remarca la muestra H-3, que a pesar de clasificarse en este segundo grupo cuenta con un menor carácter sulfatado y mayor naturaleza magnésica. Esto se debe probablemente al factor tiempo de permanencia, que altera los estados de equilibrio de las especies disueltas.

El contenido en minerales disueltos en el agua es función del tiempo de residencia de la misma en la litología de contacto. Las muestras H-4 y H-5 presentan una mayor salinidad que el resto. La muestra H-1 se asocia con unos fenómenos de equilibrio con materiales dolomíticos y también evaporíticos. Así mismo, el resto de muestras se asocian con terrenos evaporíticos.

El tiempo de residencia o de contacto de las aguas con el terreno vendrá a su vez determinado por la velocidad de infiltración a su través, es decir, depende de la permeabilidad del terreno. La litología de la zona está compuesta por materiales arcillo-detriticos y margosos triásicos. Los primeros presentan una permeabilidad baja, por lo que el agua en contacto con



ellos circulará a una baja velocidad cargándose de sales. Esto explica el carácter predominantemente sulfatado del agua.

El primer grupo de aguas (H-1) por el contrario muestra una baja salinidad y carácter bicarbonatado, propias de un corto periodo de contacto. Como se ha extraído del Informe Estructural (IGME, 1995), el presente dominio geológico se encuentra abundantemente fracturado. Estas fracturas crean vías de flujo preferencial que filtran a las galerías de la mina y que explican el menor tiempo de contacto de este grupo de aguas. En función del grado de apertura de las grietas, será la velocidad de flujo del agua y en consecuencia la concentración de sales presente en la misma.

El contenido en flúor es elevado en todas las muestras alcanzando un máximo de 10 mg/l en la H-11. Esta elevada concentración puede explicarse debido al pH. La única que presenta un bajo contenido es la H-3, la cual procede de un sondeo surgente y se presume no ha entrado en contacto con la mineralización de espato flúor.

En cuanto al contenido en metales, la muestra H-11 muestra la mayor concentración de hierro, lo que se asocia al contacto con el Carbonífero dada su riqueza en metales sobre todo en este elemento. Las muestras H-6 y H-5 también muestran contenido en hierro aunque menor. Todas las muestras presentan en mayor o menor medida concentración de manganeso a excepción de la H-3. Otros metales detectados son: zinc, níquel, arsénico, cadmio y cobre.

Del análisis de correlación estadístico entre muestras se extrae que todas tienen un origen común dado el elevado índice de correlación que presentan. La muestra que presenta una menor correlación es la H-1, aunque de todas maneras es elevada.

En cuanto a estabilidad mineral, todas las muestras saturan en fluorita, especialmente la H-6. Una vez más la a excepción a esto es la muestra H-1. Todas ellas presentan una composición relativamente homogénea a excepción de la H-1 y la H-3.



Tabla 10. Determinaciones expresadas en ppm. (IGME. 1995)

	H-1	H-3	H-4	H-5	H-6	H-7	H-8	H-9	H-10	H-11
Na	58	16	86	71	19	47	21	19	15	12
K	16	3	22	25	12	17	11	12	12	9
Mg	34	49	136	140	41	76	90	44	41	50
Ca	36	62	520	564	436	416	484	360	230	260
Fe	0	0	0	1,45	3,01	0,56	0,12	0	0,09	28,8
Mn	0,033	0	0,1	0,12	1,17	0,06	0,17	0,11	0,58	1,03
Cl	33	25	41	39	19	27	24	20	24	20
SO4	99	252	1650	1700	920	1140	1370	850	524	780
HCO3	259	119	238	364	317	233	161	200	235	19
NO3	0	7	4	0	0	0	0	0,02	0	2
P2O5	0	0,05	0	0,02	0	0	0,05	0	0	0,05
SiO2	12,5	21,6	13,5	13	10,7	13	12,2	13,9	11,7	32,7
Cond.	632	682	3732	3662	1595	2832	2892	1684	1250	1281
Fe	2	0	2,3	1,2	5	1,7	2,5	2,3	2,1	10
R.S.	457	488	2657	2618	1143	2015	2061	1252	895	907
pH	7,7	7,8	7,6	7,4	7,6	7,8	7,6	7,7	8	6,8
DQO	0,6	0,7	0,9	1	0,4	0,6	0,5	0,8	0,8	2
NH4	0	0,01	0	0,5	0,04	0	0,08	0,02	0,01	0,14
NO2	0,03	0,06	0,3	0	0	0,02	0,05	0,01	0,01	0
Hg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cu	0	0	0	0	0	0	0,06	0	0,15	0
Zn	0		0	0	1,72	0	0,29	0	3,8	5,3
As	0	0,011	0	0,011	0,014	0	0	0	0	0,017
Cd	0	0	0	0	0,033	0	0	0	0	0,16
Cr	0	0	0	0,063	0	0	0	0	0	0
Pb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Al	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ni	0	0	0	0,11	0	0	0,13	0	0,23	0,074
Alfa	0,095	0,081	0,414	0,76	0,479	0,158	0,514	0,193	0,301	0,129
Error A	0,05	0,039		0,34	0,146		0,22	0,096	0,126	0,066
Beta	0,567	0,193	1,009	0,987	0,694	0,812	0,548	0,308	0,48	0,479
Error B	0,043	0,03	0,141	0,138	0,079	0,133	0,119	0,072	0,075	0,064



Tabla 11. Correlación entre muestras (IGME, 1995).

	H-1	H-3	H-4	H-5	H-6	H-7	H-8	H-9	H-10	H-11
H-1	1,000									
H-3	0,963	1,000								
H-4	0,928	0,993	1,000							
H-5	0,930	0,993	0,999	1,000						
H-6	0,913	0,977	0,986	0,990	1,000					
H-7	0,938	0,995	0,999	0,999	0,985	1,000				
H-8	0,917	0,989	0,999	0,999	0,989	0,998	1,000			
H-9	0,922	0,988	0,997	0,998	0,996	0,996	0,998	1,000		
H-10	0,952	0,995	0,994	0,996	0,991	0,996	0,993	0,996	1,000	
H-11	0,875	0,970	0,990	0,991	0,988	0,986	0,994	0,993	0,980	1,000

3.6 Características estructurales

Del estudio de fracturación llevado a cabo en la mina en base a datos de interior, se puede discriminar entre cuatro grupos de fracturas con orientaciones definidas que prácticamente no difieren.

Las fracturas son en su mayoría conjuntos sintéticos y antitéticos de las fallas principales. Entre las principales familias de fracturas que atraviesan el macizo puede observarse una relación de oblicuidad, de manera que las orientaciones de los segmentos cambian de 280° - 320° a 320° - 350° , luego se tiene un ángulo de entre esas orientaciones principales de 30° - 40° .

El estudio de la fracturación del macizo local y la determinación de posibles zonas de conectividad entre juntas permite establecer puntos preferentes por lo que se pueden producir filtraciones de agua al interior de la mina.

Se distinguen tres tipos de fracturas en base al tipo de material de relleno:

1. Fracturas rellenas por óxidos de hierro. Mayoritarias y distribuidas homogéneamente por la mina
2. Fracturas rellenas por sulfuros de hierro y cobre (pirita y calcopirita). Son fallas sintéticas con las principales que compartimentan la mina.
3. Fracturas rellenas por carbonatos de calcio/magnesio (calcita/dolomita) y fluorita. Muy abundantes, se presentan en la capa de fluorita.



Según el Informe estructural. Tomo I (IGME, 1995), se ha tomado un total de 552 fracturas repartidas en 13 estaciones de medida, número suficientemente representativo, y del análisis estadístico de los datos se concluyó que el grado de dispersión de las orientaciones es medio, y la mayor concentración del número de polos se da según el azimut 71,7°.

Así mismo, los grupos diferenciados de fracturas son:

- Grupo dominante, de dirección general NW-SE y 12% de frecuencia
 - a. Este grupo muestra máximos de frecuencia bien definidos (>1%) en los sectores Norte y Central de la mina, siendo la densidad (longitud de las trazas de las fracturas) mayor en el sector Norte, con un solo máximo representativo (>40 m)
- 2º grupo, de dirección general WNW-ESE y frecuencia- 4-6%.

Muestra cuatro máximos bien definidos con una frecuencia >0,45% en el sector Sur de la mina. La densidad es máxima en la parte occidental de dicho sector Sur, con un solo máximo y trazas superiores a los 40 m.
- 3º grupo, de dirección general NE-SW y frecuencia 4%.

Presenta mayor dispersión pero muestra una frecuencia máxima (>1%) en la zona de confluencia de que los grupos anteriores de fracturas. La longitud (densidad) de las fracturas también es máxima en la parte occidental de la mina, con trazas superiores a los 20 m.
- 4º grupo, de dirección general E-W y frecuencia 2%

La mayor frecuencia, o número de fracturas se localiza en la zona de confluencia de los grupos de fracturas principales, de direcciones NW-SE y WNW-ESE, es decir en el sector Central de la Mina. Esto lo convierte en el sector con mayor grado de fracturación. En cuanto a densidad de fractura, el dominio con mayores longitudes de traza (40-50 m) se localiza, asociado al grupo de fracturas paralelas al sistema Ventaniella, en el sector Norte de la mina.

Se puede comprobar que existe correlación entre los puntos de intersección de las fracturas y los puntos de infiltración de agua en el interior de la Mina, comparando el mapa de intersecciones, el mapa general de frecuencia direccional de fracturas y el de situación de puntos de infiltración. De hecho, se ha fijado el sector Central de la mina como el lugar de confluencia de los dos grupos de fracturas predominantes así como el máximo de frecuencia direccional, y es donde se presenta el mayor número de puntos de filtración. También se dan otras dos ubicaciones reseñables donde coinciden intersecciones de fracturas, frecuencia direccional de



las mismas y puntos de filtración; la segunda en importancia (>20% de número de intersecciones) se localiza al sur de la anterior e intersecta fracturas NW-SE con las E-W, y la última se encuentra en la zona Norte de la mina (>10% en número de intersecciones).

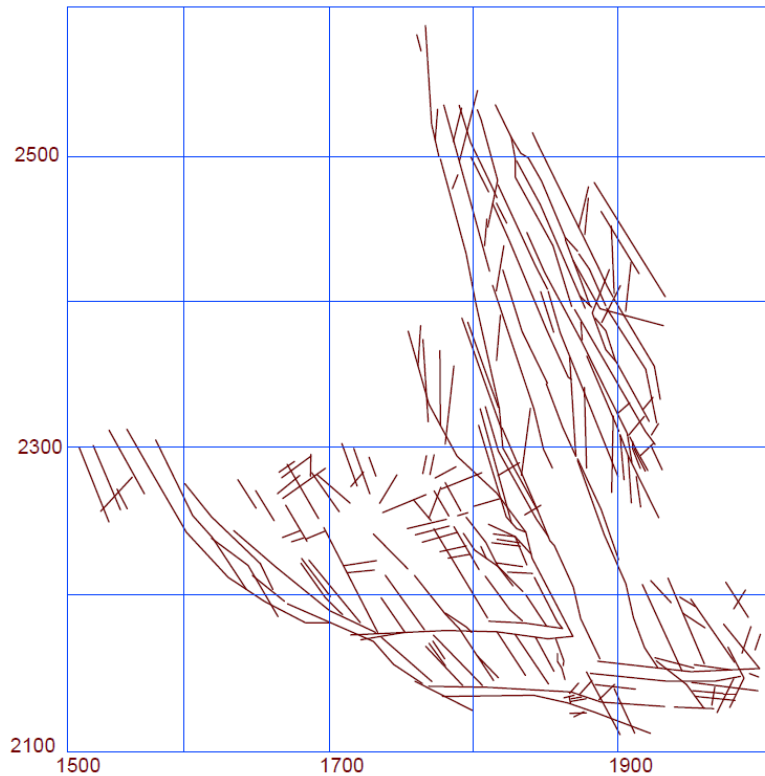


Ilustración 25. Representación de trazas de fracturas en la mina Villabona (IGME, 1995).

Las fracturas se encuentran más próximas entre sí en las cercanías de las fallas principales paralelas al Sistema Ventaniella (al este del macizo). Si a esto se añade un alto grado de densidad de fracturación se tendrá un mayor grado de conectividad y la circulación preferente de agua a través de estas fracturas. Luego las fallas principales favorecen la filtración de agua en gran medida.

3.7 Cubicación del espacio subterráneo

Para cubicar el volumen del espacio subterráneo de la mina se va a utilizar el software AutoCAD. Mediante este se medirá la superficie de la mina desde del plano y para hallar el volumen se supondrá una altura de cámara de 3m. En primer lugar se muestran los cálculos referidos al sector norte de la mina Villabona, cuyo contorno se muestra en la siguiente ilustración. Para cálculos referentes al resto de la mina se tiene en cuenta el porcentaje de superficie que ocupan los pilares en la zona norte.

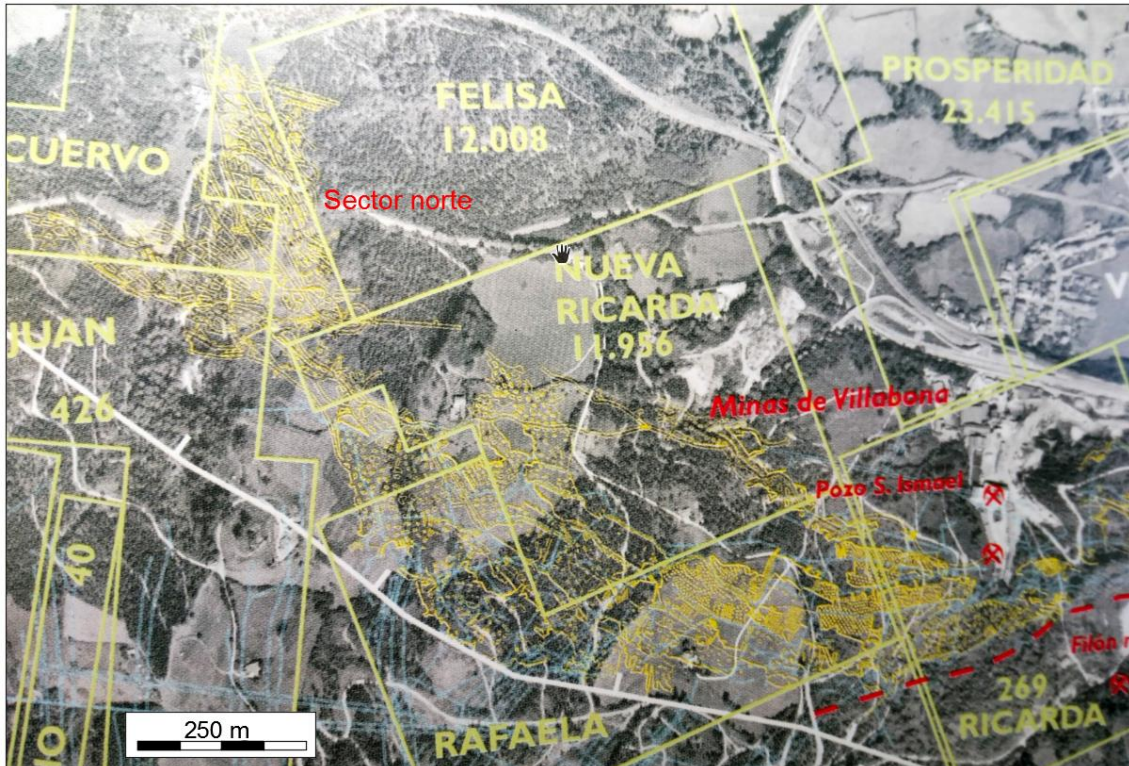


Ilustración 26. Detalle de vista de labores en la mina Villabona (Fuente: (Gutiérrez Claverol, 2009)).



Ilustración 27. Contorno de huecos del sector norte de la mina Villabona.



Tabla 12. Dimensiones calculadas del sector norte y resto de la mina Villabona

	Sector norte		Resto de la mina	
Área total (mm ²)	300,09	Escala 1: 2672	12237,54	Escala 1: 4111
Área pilares (mm ²)	107,47		4382,63	
Área hueco (mm ²)	192,62		7854,91	
Área total (m ²)	68893,45	Escala real	206861,62	Escala real
Área pilares (m ²)	24672,79		74083,30	
Área hueco (m ²)	44220,66		132778,32	
Altura cámara (m)	3,00		3,00	
Volumen cámara (m ³)	132661,97		398334,97	



4 CÁLCULOS

4.1 Almacenamiento de neumáticos enteros

Una vez hallado el volumen de la cámara existente en la mina, se tratará de calcular la cantidad de neumáticos que esta puede almacenar. Para hacerlo se han hecho las siguientes suposiciones:

1. No todos los neumáticos son del mismo tipo y medidas. Habrá diferentes tipos de neumáticos según el vehículo que los halla empleado, y sabido es que no todos los tipos de vehículo generan el mismo volumen de NFU; la cantidad de neumáticos de desecho generada por los turismos es muy superior a la de las motocicletas por ejemplo. Para esto se ha tomado como aproximación, las estadísticas sobre proporciones en peso que trata la gestora de NFU, *TNU*, y que se muestra a continuación.

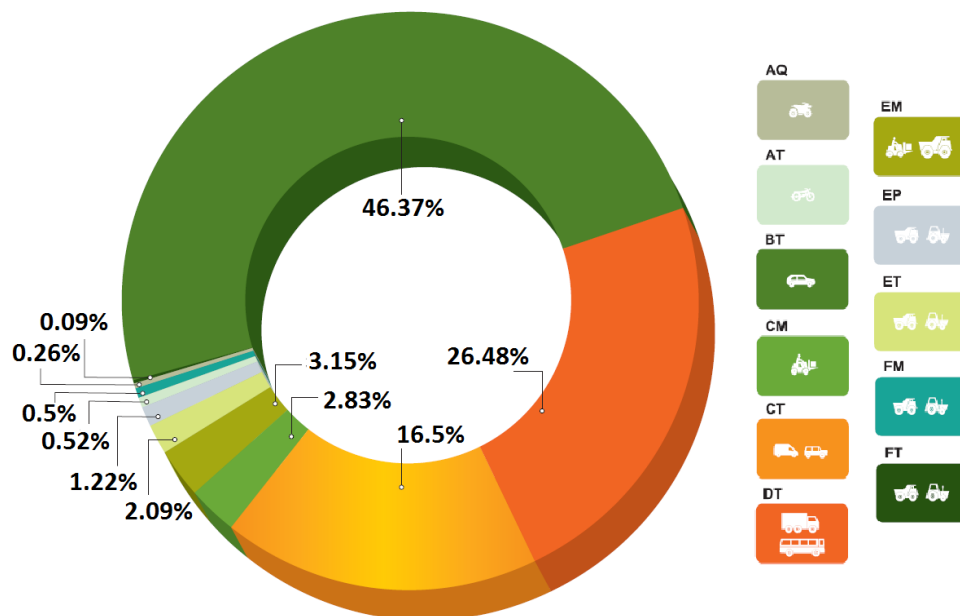


Ilustración 28. Porcentaje de aportación de NFU en peso por categoría de vehículo. (TNU, 2014)

2. Estas proporciones en peso de NFU por categoría de vehículo se han admitido por como porcentajes en volumen.



3. La disposición de los neumáticos para el almacenamiento se ha supuesto de la forma que se muestra en la imagen.

De tal forma que el volumen asignado a la “celda unidad” de neumático sería el siguiente:

$$V_{UD} = (\text{Diámetro total})^2 * \text{Ancho total}$$



Ilustración 29. Disposición de apilamiento de neumáticos

4. De las categorías de vehículo mostradas en la Ilustración 28 se han tomado en consideración las cuatro de mayor volumen. Son las siguientes:

Tabla 13. Proporciones en volumen asignados por categoría de vehículo

	Volumen ₁ (%)	Volumen ₂ (%)
Clase BT	46,37	50,13
Clase DT	26,48	28,63
Clase CT	16,50	17,84
Clase EM	3,15	3,41
	92,50	100,00

1- Porcentajes sobre 92,5%.

2- Porcentajes recalculados sobre 100%.

5. A su vez, dentro de cada categoría de vehículo de las expuestas en la Ilustración 28 no existe un único modelo de neumático. Por ello se ha seleccionado uno como representativo de su clase y se han tomado sus medidas. A continuación se muestran las medidas de cada uno de ellos.

Tabla 14. Medidas de neumático representativas de cada categoría de vehículo

Neumático de turismo (BT)	195/55R15 85 H
Neumático de camión normales (DT):	315/70/20.5
Neumático de camioneta (CT)	195/65R16 106/104 H LT
Neumático Em	365/80 R 20

A continuación se muestran los cálculos del volumen de apilamiento asignado a cada modelo de neumático. El código alfanumérico que designa cada modelo aparece grabado en los flancos del neumático. Estos códigos especifican sus dimensiones y algunas de sus limitaciones clave, tales como su capacidad de carga o velocidad máxima. En la Ilustración 31 e Ilustración 31 se explica la relación entre dicho código y las dimensiones del neumático.



- 195** Ancho nominal del neumático (mm)
- 55** Porcentaje proporcional del flanco al ancho nominal
- R** Tipo de construcción radial
- 16** Diámetro inferior del neumático y de la llanta (")
- 87** Índice de carga
- V** Índice de velocidad

Ilustración 31. Código del neumático. (ITV, 2013)

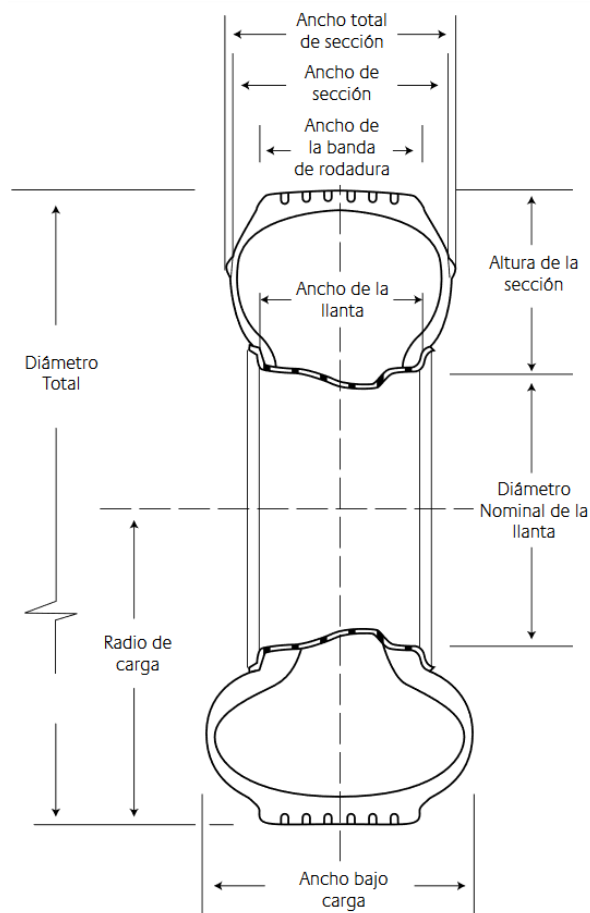


Ilustración 30. Esquema de dimensiones de un neumático. (Bridgestone, 2014)



Estos son los cálculos del volumen de apilamiento de cada neumático escogido.

Tabla 15. Cálculo de volumen de apilamiento de los neumáticos representativos por categoría

Neumático de turismo (BT) 195/55R15 85 H	
Anchura nominal del neumático (mm)	195,00
Relación altura/anchura nominal (%)	55,00
Código de estructura	R (Radial)
Diámetro nominal de la llanta (in)	15,00
Índice de carga	85,00
Índice de velocidad	H
Volumen de almacenaje asignado (m³)	0,0692
Peso (kg)	7,20
Neumático de camioneta (CT) 195/65R16 106/104 H LT	
Anchura nominal del neumático (mm)	195,00
Relación altura/anchura nominal (%)	65,00
Código de estructura	R (radial)
Diámetro nominal de la llanta (in)	16,00
Índice de carga (simple/doble)	106/104
Índice de velocidad	H
Función del neumático	LT
Volumen de almacenaje asignado (m³)	0,0849
Peso (kg)	12,40
Neumático de camión normal (DT) 315/70/20.5	
Anchura nominal del neumático (mm)	315,00
Relación altura/anchura nominal (%)	70,00
Diámetro nominal de la llanta (in)	20,50
Volumen de almacenaje asignado (m³)	0,2913
Peso (kg)	60,00
Neumático (EM) 365/80 R 20	
Anchura nominal del neumático (mm)	365
Relación altura/anchura nominal (%)	80
Diámetro nominal de la llanta (in)	20
Volumen de almacenaje asignado (m³)	0,4352
Peso (kg)	64

Se dispone entonces del volumen total de la mina, tanto del sector norte como del resto de la misma, y cada uno de ellos dividido en las partes que proporcionalmente ocupa cada clase de neumático. Con esto y el volumen que ocupa la unidad de cada tipo de neumático se calcularán en número de neumáticos que se pueden alojar y el peso de los mismos.



Tabla 16. Capacidad de almacenaje en volumen, nº de neumáticos y peso del sector norte de Villabona

Sector Norte de Villabona				
	% Vol.	Volumen por clase(m ³)	Nº neumáticos	Peso (t)
Neumáticos BT	50,13	66503,09	961708,94	6924,30
Neumáticos DT	28,63	37977,18	130356,56	7821,39
Neumáticos CT	17,84	23664,03	278674,85	3455,57
Neumáticos EM	3,41	4517,68	10379,52	664,29
TOTAL	100,00	132661,97	1381119,87	18865,56

Se hace lo mismo para el resto de la mina.

Tabla 17. Capacidad de almacenaje en volumen, nº de neumáticos y peso del resto de la mina de Villabona

Resto de la mina				
	% Vol.	Volumen por clase(m ³)	Nº neumáticos	Peso (t)
Neumáticos BT	50,13	199684,24	2887657,29	20791,13
Neumáticos DT	28,63	114031,46	391412,68	23484,76
Neumáticos CT	17,84	71054,35	836757,81	10375,80
Neumáticos EM	3,41	13564,92	31165,86	1994,62
TOTAL	100,00	398334,97	4146993,64	56646,31

Del cálculo hecho se concluye que el sector norte de la mina Villabona sería capaz de albergar **18.865,56 toneladas** de neumáticos, el resto de la mina unas **56.646,31 toneladas**, lo que hace un total de **75.511,86 toneladas**.

4.2 Almacenamiento de neumáticos triturados

Otro modo de almacenamiento de este residuo sería una vez triturados. El proceso de triturado sería un coste añadido, aunque evidentemente la cantidad de material almacenado será mucho mayor puesto que el volumen ocupado por un neumático entero es en su gran mayoría hueco.

En este caso la propiedad que interesa es la densidad aparente ("bulk density"), relación entre el volumen y el peso seco, incluyendo huecos y poros que contenga. La densidad aparente del material va a depender de varios factores, entre ellos, el tamaño de los fragmentos de neumático y la carga aplicada. Una mayor carga aplicada compactará el material dando lugar a densidades aparentes mayores. (Edeskär, 2004)



En la siguiente tabla, se recogen cifras de diferentes autores sobre la densidad aparente en función de la carga de compresión aplicada.

Tabla 18. Densidad aparente de neumático triturado. (Edeskär, 2004)

Presión vertical (kPa)	Densidad aparente (kg/m ³)	Tamaño	Referencia
0	440-450	50x50 mm ²	Westerberg and Mácsik (2001)
30-50	500-700	50x50 mm ²	-
400	810-990	50x50 mm ²	-
0	505-600	<38 mm	Wei et al. (1997)

En este caso se considerará que las condiciones de almacenamiento se dan en ausencia de carga de compactación, y en cualquier caso el peso propio de los fragmentos de neumático no ofrece carga apreciable para ser tenido en cuenta. Luego, como ya se dispone del volumen y no sería necesario hacer distinción entre tipo de neumático el cálculo es inmediato.

Tabla 19. Cifras de capacidad de almacenaje de neumático triturado.

Cálculo con N. triturados	
Densidad aparente (kg/m ³)	445
V. norte Villabona (m ³)	132661,967
V. resto mina	398334,965
Peso norte Villabona (t)	59034,576
Peso resto mina (t)	177259,059
TOTAL (t)	236293,635

Por lo tanto se tiene que disponiendo los residuos triturados, el sector norte de la mina Villabona almacenaría unas **59.034 toneladas** y el resto de la mina unas **177.259 toneladas**, lo que hace un total de **236.293 toneladas** de NFU. Esto es más de tres veces la capacidad ofrecida por una disposición de los neumáticos enteros.



5 CONCLUSIONES

- La principal ventaja de un almacenamiento subterráneo de neumáticos fuera de uso sería el evitar el riesgo de incendio que comporta su presencia en un vertedero convencional, puesto que en mina este suceso presenta una solución más fácil.
- Informes técnicos presentados por el IGME en el año 1995 dan una valoración positiva al empleo de la mina Villabona como almacén de residuos en el sector norte en base a las características geológicas que esta presenta.
- El principal detractor de un almacenamiento subterráneo de NFU serían los lixiviados, los cuales no constituyen un serio problema como se deduce de la bibliografía analizada.
- En el sector norte de la mina Villabona se podrían almacenar 18.865,56 toneladas de neumáticos y en el resto de la mina unas 56.646,31 toneladas suponiendo que estos se apilan enteros. Esto haría un total de 75.511,86 toneladas.
- Almacenando los neumáticos una vez triturados, el sector norte de la mina Villabona daría cabida a unas 59.034 toneladas y el resto de la mina unas 177.259 toneladas, lo que hace un total de 236.293 toneladas de NFU. Esto es más de tres veces la capacidad ofrecida por una disposición de los neumáticos enteros.
- Si bien lo ideal no sería que la disposición de los NFU en almacenamiento subterráneo fuera un el destino final de los mismo, sí sería interesante que este almacenamiento en mina fuera una alternativa temporal como reubicación de los varios vertederos repartidos por la península o de aquel volumen de producción de NFU que los SIG no fueran capaces de absorber.
- Además de la mina Villabona, este método podría ser aplicado a cualquier otra estructura subterránea que por su proximidad y condiciones adecuadas fuese más indicada para dar solución a los problemas de vertidos de NFU de cualquier región.



6 BIBLIOGRAFÍA

- Barroso, F. L., Barroso, F.J., León, P. (2016). Un gran incendio en Seseña arrasa el mayor cementerio de neumáticos de España. *El País*.
- Bridgestone. (2014). *Databook de neumáticos y regrabado. Camión y autobús*.
- Cano Serrano, E. C., Cerezo García, L., Urbida Fraile, M. (2008). *Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso*.
- Corral, M. G. (2016). Los otros Seseñas. *El Mundo*.
- Downard, J. S., Singh, A., Bullard, R., Jayarathne, T., Rathnayake, C. M., Simmons, D. L., Wels, B. R., Spak, S. N., Peters, T., Beardsley, Stanier, C. O. (2014). Uncontrolled combustion of shredded tires in a landfill-Part 1. Characterization of gaseous and particulate emissions. *Atmospheric Environment*, 195-204.
- Edeskär, T. (2004). *Technical and environmental properties of tyre shreds focusing on ground engineering application*.
- ETRA. (2005). (European Tyre Recycling Association) Recuperado el 2016, de <http://www.etra.eu.com>
- ETRMA. (2013). *Annual report 2013/2014*. Brussels.
- GIE. (2015). *GIE storage map dataset*.
- Gutiérrez Claverol, M. L., M., Luque Cabal, C., García Álvarez, J.R., Rodríguez Terente, L.M. (2009). *La fluorita. Un siglo de minería en Asturias*. Lugarmaso, S.L.
- IGME. (1995). *Caracterización de estructuras subterráneas artificiales. Aplicación a un caso concreto. Estudios geomorfológico, neotectónico y sismotectónico*.
- IGME. (1995). *Caracterización de estructuras subterráneas artificiales. Aplicación a un caso concreto. Informe estructural*.
- IGME. (1995). *Caracterización de estructuras subterráneas artificiales. Aplicación a un caso concreto. Informe geológico*.



- IGME. (1995). *Caracterización de estructuras subterráneas artificiales. Aplicación a un caso concreto. Informe geotécnico y de subsidencia.*
- IGME. (1995). *Caracterización de estructuras subterráneas artificiales. Aplicación a un caso concreto. Informe hidrogeológico.*
- IGME. (1995). *Caracterización de estructuras subterráneas artificiales. Aplicación a un caso concreto. Informe hidroquímico.*
- IGME. (1995). *Caracterización de estructuras subterráneas artificiales. Aplicación a un caso concreto. Informe de procesos activos.*
- IGME. (1995). *Informe de convergencia y expansión.*
- IGME. (2012). *Mapa de rocas y minerales.*
- IHOBE. (2003). *Monografía sobre vehículos al final de su vida útil.*
- ITV. (2013). *ITV homologación.* Recuperado el 24 de 6 de 2016, de <http://www.itvhomologacion.com/homologacion-de-neumaticos>
- López F.A., López Delgado A., Alguacil F.J. y Manso J. (s.f.). *Situación actual del tratamiento de neumáticos fuera de uso y posibilidades de obtención de negro de humo de alta pureza.*
- López, J. (24 de 5 de 2016). Mengíbar y Jabalquinto temen convertirse en Seseña. *ABC.*
- Luque Cabal, C. G., C., Gutiérrez Claverol, M., y Pando, L. (2010). *Contribución de la geología minera al conocimiento de la cuenca permotriásica asturiana.* Universidad de Oviedo.
- Martínez, J. (2005). *Guía para la gestión integral de residuos peligrosos.*
- Ministerio de Medio Ambiente. (2007). *Plan nacional integrado de residuos, 2008-2015 (PNIR). Informe de Ambiental (ISA).*
- Ministerio de Medio Ambiente. (2008). *II Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso.*
- Observatorio de Medio Ambiente. (2006). *El Plan Gira: El programa de neumáticos fuera de uso.*
- Phale, A. (2005). *Environmental impact and waste management of used tyres in the RSA.*
- Pozo, A. A. (2016). La limpieza del vertedero quemado de Seseña costará unos 4 millones de euros. *El diario.es.*



R.P. (2016). La retirada de neumáticos usados en Galicia comenzará a partir de septiembre. *Faro de Vigo*.

RTVE. (2016). Los otros vertederos de neumáticos en el punto de mira tras el incendio de Seseña. *RTVE*.

Selbes, M. Y., Yilmaz, O., Khan, A.A., and Karafil, T. (2015). Leaching of DOC, DN, and inorganic constituents from scrap tyres. *Chemosphere*, 139, 617-623

SIGNUS. (2014). *Memoria 2014*.

Singh, A., Spak, S. N., Stone, E. A., Downard, J., Bullard, R. L., Pooley, M., Kostle, P. A., Mainprize, M. W., Whichman, M. D., Peters, T. Beardsley, D., Stanier, C. O. (2014). Uncontrolled combustion of shredded tires in a landfill - part 2: population exposure, public health response, and air quality index for urban fires. *Atmospheric Environment*, 104, 273-283.

TNU. (2011). *Memoria 2011*.

TNU. (2014). *Memoria 2014*.

UNEP. (1999). *Basel convention technical guidelines on the identification and management of used tyres*. Suiza

Viso, E. (Mayo de 2013). *Circula seguro*. (Fundación Mapfre. Michelín) Obtenido de Circula seguro: <http://www.circulaseguro.com/>

Gervilla, M., Beroiz, C., Pinatelli, R., Barón, A., Coma, J. E., Felgueroso, C., Ramírez del Pozo, J., Giannini, G. (1973). *Mapa MAGNA número 29 (Oviedo)*. I.G.M.E. Madrid.