

ANEXO VI

DISPOSICIONES DE SEGURIDAD EN VOLADURAS

TABLA DE CONTENIDO

1.2.6 ANEXO VI DISPOSICIONES DE SEGURIDAD EN VOLADURAS.	148
1.2.6.1 TRABAJOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURAS, USO Y MANEJO DE EXPLOSIVOS.	148
1.2.6.1.1.- Transporte, suministro y distribución del explosivo.	148
1.2.6.2 Normas y medidas.....	151
1.2.6.3 Carga.	151
1.2.6.4 Cordón detonante.....	152
1.2.6.5 Manipulación de detonadores y accesorios de la pega eléctrica.....	152
1.2.6.6 Conexionado de detonadores.....	154
1.2.6.6.1 Encendido eléctrico.	154
1.2.6.6.2 Sistema de encendido no eléctrico.	155
1.2.6.6.3 Tiempo de retardo.	156
1.2.6.7 Disparo de voladura.....	156
1.2.6.8 Después del disparo.	158
1.2.6.9 Incidentes de tiro. Otras normas de seguridad.....	158
1.2.6.10 Personal de Perforación y Voladuras.....	159
1.2.6.10. 1 Maquinistas perforador.	159
1.2.6.10.2 Artilleros.	159
1.2.6.11 Sistema destrucción del explosivo.	161
1.2.5.11.1. Combustión.	161
1.2.5.11.2. Detonación	162

1.2.6 ANEXO VI DISPOSICIONES DE SEGURIDAD EN VOLADURAS.

1.2.6.1 TRABAJOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURAS, USO Y MANEJO DE EXPLOSIVOS.

Las medidas de seguridad a adoptar durante el transporte, carga y disparo de los explosivos serán las dispuestas por el Reglamento General de Explosivos/1.998 y que a continuación se reflejan:

En todo momento se cumplirá el Reglamento General de Explosivos y las II.TT.CC. que lo complementa, así como todas las medidas de seguridad que en cada momento estime la Dirección Facultativa.

1.2.6.1.1.- Transporte, suministro y distribución del explosivo.

1.1.- Todos los trabajos de perforación, carga de barrenos y manejo y distribución de explosivos, serán controlados y supervisados por un Técnico Titulado competente, nombrado por el Director Facultativo.

1.2.- Los trabajos de voladuras que han de efectuarse en la explotación, y en lo que a movimientos de explosivos se refiere, estarán sujetos a una organización prevista de forma tal, que el pedido se procura ajustar a las necesidades de cada voladura.

1.3.- La Dirección responsable deberá adoptar las normas o medidas que estime procedentes, a fin de garantizar que la recepción del material de pega se efectúe el día señalado para la voladura, y en el momento para iniciar la operación de carga de barrenos.

1.4.- La recepción del explosivo se realizará en presencia de una persona cualificada, expresamente nombrada por la Dirección responsable, en el lugar de utilización como queda dicho, y que actuará como encargado de la distribución, el cual controlará las entregas del explosivo a los artilleros.

1.5- El explosivo se situará en los puntos de carga en sus cajas o envases originales de fábrica, y no se abrirán más cajas que aquellas que vayan a ser utilizadas.

1.6.- Para la apertura de las cajas de explosivos no pueden emplearse herramientas construidas con materiales metálicos o capaces de producir chispas.

1.7.- Los detonadores no podrán ser transportados, bajo ningún pretexto, junto con ningún otro tipo de explosivo.

1.8.- El transporte de explosivo y detonadores se hará en vehículos accionados por gasoil.

1.9.- Sí en algún caso, por circunstancias ajenas al Técnico responsable, sobrara explosivo, se procedería a la devolución inmediata al polvorín, atendiéndose a todas las normas prescritas para el transporte de explosivos. Si esto no fuera posible, se procedería a la destrucción inmediata del explosivo sobrante(*apartado 1.2.5.11*), siguiendo las instrucciones del Técnico responsable.

1.10.- La manipulación del explosivo la realizará el personal del equipo de perforación y voladuras que se halle en posesión de la cartilla de artillero. Si fuera necesario que otras personas manejen o manipulen el explosivo, serán instruidos debidamente por la Dirección responsable (ITC 10.2.01, 1.3).

Transporte y suministro.

1.11.- La distribución de los explosivos y sus accesorios que se realice dentro del recinto de cada explotación se regulará de acuerdo con las Disposiciones Internas de Seguridad, sin perjuicio de lo regulado en la presente Instrucción Técnica Complementaria.

1.12.- Cuando este género de transporte exija la utilización de vías públicas se cumplirá lo dispuesto en el Reglamento de Explosivos y los Reglamentos Nacionales de Transporte de Mercancías Peligrosas.

1.13.- Los detonadores, relés de microrretardo, encendedores de seguridad para mechas o iniciadores de explosivos no podrán transportarse conjuntamente con los explosivos, y su transporte se realizará en las mismas condiciones que las de estos últimos.

El cordón detonante se considerará incluido dentro de los explosivos industriales.

No obstante, la Dirección General de Minas, podrá autorizar el transporte conjunto de explosivos y detonadores, en las condiciones y con las limitaciones que establezca.

1.14.- El transporte de los explosivos y sus accesorios, dentro de las obras y explotaciones, así como por pozos y galerías, no podrá coincidir con las entradas y salidas de los relevos principales.

Vehículos.

1.15.- Los vehículos o recipientes en los que se transporten explosivos o productos explosivos dentro de las obras y explotaciones, así como por pozos o galerías, deberán estar autorizados por la Dirección Provincial del Ministerio de Industria y Energía correspondiente.

1.16.- Los conductores y maquinistas encargados del transporte de explosivos o productos explosivos sea por vehículos, trenes o máquinas de extracción, serán debidamente advertidos de la naturaleza del producto transportado y vendrán obligados a observar las normas establecidas en las Disposiciones Internas de seguridad.

Distribución.

1.17.- El transporte desde los depósitos de distribución a los lugares de utilización se hará separadamente para los explosivos y para los detonadores, relés de microrretardo, encendedores de seguridad para mechas o iniciadores de explosivos. Los portadores deberán estar debidamente autorizados, y no podrán utilizar lámparas portátiles que no sean de seguridad. Circularán solos o acompañados por otras personas designadas por la Dirección Facultativa.

1.18.- Los explosivos se transportarán en sus envases y embalajes de origen o en sacos o mochilas con buen cierre y de capacidad máxima para 25 kilogramos.

1.19.- Los detonadores y demás accesorios explosivos serán transportados en sus envases de origen o cartucheras adecuadas con cierre eficaz, acondicionadas para que no pueda producirse choque entre los mismos ni queden fuera de ellas los hilos de los detonadores eléctricos.

Expedición.

1.20.- Existirá en todo momento una persona responsable del movimiento de explosivos y accesorios en los depósitos de distribución, especialmente instruida para este cometido, la cual no podrá entregar en ningún caso tales productos más que a personas autorizadas y facultadas para su transporte, o a los artilleros, en su caso, y siempre

contra recibo firmado, en el que se especificarán los datos de cada entrega que se realice.

1.2.6.2 NORMAS Y MEDIDAS.

2.1.- La zona de la voladura se delimitará con señales visibles.

2.2.- No podrá realizarse simultáneamente, en un mismo frente o tajo, la perforación y la carga de los barrenos. Si por causas de fuerza mayor, reperforación de un barreno, o por cualquier otro imprevisto, no pudiera respetarse esta norma, se guardaría una distancia mínima de 25 mts entre el último barreno cargado, o explosivo depositado en el suelo y la máquina perforadora.

2.3.- Dentro de la zona de voladura, se clavará una varilla de cobre, que el personal del equipo de voladuras deberá tocar, de vez en cuando, para descargue de electricidad estática.

2.4.- No deberán golpearse nunca los explosivos, detonadores y mecha detonante.

2.5.- Queda terminantemente prohibido fumar y encender fuego en las proximidades de la zona de voladura.

2.6.- La zona de voladura nunca deberá quedar sin vigilancia.

2.7.- Antes de introducir la carga, el barreno debe limpiarse esmeradamente y comprobar que la longitud del mismo es la correcta.

1.2.6.3 CARGA.

3.1.- La carga de los barrenos debe realizarse inmediatamente antes de la pega.

3.2.- No debe dispararse ningún explosivo sino está contenido en un barreno, convenientemente perforado y cuidadosamente retacado.

Se exceptúan el cordón detonante y los explosivos usados para troceo de escombros gruesos en aquellos lugares en la que la Jefatura del Distrito Minero lo autorice.

3.3.- El retacado de los barrenos se hará con detritus procedentes de perforación, o barro.

3.4.- No se utilizará, jamás, ningún tipo de retacador que no sea de madera.

1.2.6.4 CORDÓN DETONANTE.

4.1.- Es un envase de explosivo de baja concentración lineal y alta potencia, transmisor de la detonación desde el detonador hasta el explosivo confinado en el barreno. Debe, pues, manejarse cuidadosamente. Se evitará su contacto con agua o humedad. Se mantendrá, hasta su utilización, en su carrete original. Se evitará tensarlo, y en especial, bruscamente. Nunca se golpeará ni se cortará a golpes, ya que puede iniciarse con chispas. Se evitarán los dobleces y nudos. Se evitará en general, cualquier acción (roces, tracciones, etc) que pueda afectar a la continuidad de la carga explosiva del cordón, pues si dicha continuidad se interrumpe, el explosivo del barreno queda sin detonar.

4.2.- Los cordones de bajo gramaje (menor cantidad de explosivo por unidad de longitud), son especialmente delicados a estos efectos.

4.3.- El cordón detonante de 3 gr/ml. ha de ser usado sin empalmes, dado que no transmite la detonación a otro cordón de igual o mayor concentración. No debe ser usado para barrenos cargados sólo con Nagolita, pues sólo inicia explosivos que contengan Nitroglicerina, o multiplicadores.

4.4.- Si el barreno tuviera agua, deberá impermeabilizarse las puntas del cordón con cinta aislante.

4.5.- No se compactará con atacador ni ningún otro medio el retacado de los barrenos en que se utilice cordón detonante de bajo gramaje. Usar para este retacado detritus muy finos.

1.2.6.5 MANIPULACIÓN DE DETONADORES Y ACCESORIOS DE LA PEGA ELÉCTRICA.

5.1.- El cuerpo humano, cuando está aislado de la tierra (calzado con suela de goma) puede almacenar electricidad estática actuando como un condensador cuya descarga a

través del detonador puede provocar la explosión de éste. Toda persona que manipule detonadores, debe antes de tocarlos, hacer una descarga a tierra.

5.2.- El transporte de detonadores se hará exclusivamente en vehículos de gasoil con puesta a tierra. Durante el traslado, este vehículo no se detendrá en lugar alguno.

5.3.- Antes de penetrar en el recinto del polvorín, la persona encargada del transporte deberá desconectar la emisora, fija o portátil, de su vehículo.

5.4.- Se tomarán del polvorín únicamente los detonadores necesarios para la pega.

5.5.- Desde el momento de su retirada del polvorín hasta su utilización, los detonadores deberán estar confinados en el recipiente especial mencionado anteriormente.

5.6.- Nunca se transportarán los detonadores un sólo detonador, juntamente con explosivo de ningún tipo.

5.7.- No se manipularán detonadores en la cercanía de maquinaria.

5.8.- Se evitará golpear, siquiera levemente, y arrojar los detonadores.

5.9.- No se forzará la cápsula ni los hilos del detonador.

5.10.- Desde que los detonadores estén presentes en el tajo de voladura, se impedirá la cercanía a éste de vehículos con emisora conectada, emisoras portátiles y personal con teléfonos móviles conectados.

5.11.- Para desenrollar la madeja de un detonador, no se lanzarán nunca los hilos al aire, pues el roce puede provocar la creación de una descarga eléctrica capaz de hacerlo detonar.

5.12.- Cuidar de no dar tirones de los hilos.

5.13.- Procurar no formar nudos en los hilos.

5.14.- Está totalmente prohibido desmontar o manipular un detonador fallado.

5.15.- En cada barreno no puede colocarse más que un solo detonador.

5.16 En caso de tormenta, se suspenderán todas las labores de conexionado o colocación de detonadores, procediendo a la retirada de los mismos, alejándolos prudentemente del explosivo o de las personas.

5.17.- Todas las voladuras se ejecutarán mediante el empleo de la pega eléctrica, con detonadores de microretardo de secuencia 35 milisegundos.

5.18.- Como fuente de energía se utilizará exclusivamente explosores, los cuales serán de tipo aprobado en el catálogo oficial o con la aprobación de la Jefatura del Distrito Minero.

Estos aparatos se elegirán con la potencia precisa para las voladuras máximas previstas, y sus manillas o dispositivos de accionamiento estarán siempre en poder del Técnico Titulado competente o del artillero encargado del disparo.

1.2.6.6 CONEXIONADO DE DETONADORES

1.2.6.6.1 Encendido eléctrico.

6.1.- La distribución de los detonadores para cada barreno, la hará el encargado en todas y cada una de las voladuras. Inmediatamente se procederá a la tarea de su colocación en el cordón detonante, y conexión del circuito de pega, que se cerrará lo antes posible.

6.2.- Los detonadores eléctricos se conectarán siempre en serie.

6.3.- Las conexiones de los cables de los detonadores y las de la línea de tiro, deben quedar siempre aisladas del suelo. Si éste está seco, la conexión se dejará levantada sin contacto con el suelo. Si está húmedo o mojado, se usarán conectores anti humedad.

6.4.- La línea de tiro se extenderá sin estar conectada al circuito de la pega. Al conectarse, éste deberá tener el otro extremo cerrado (en cortocircuito).

6.5.- No se utilizarán trozos de línea ya usados para constituir o completar ésta.

6.6.- Se prohíbe dejar sin vigilancia uno o varios barrenos cargados, así como el circuito de la pega una vez establecido.

6.7.- Una vez completo el circuito de la pega (detonadores y la línea de tiro), el personal se retirará del tajo y se comprobará el circuito completo desde el lugar de seguridad destinado para el artillero.

6.8.- Se comprobará periódicamente el buen funcionamiento del óhmetro y la carga de sus baterías.

6.9.- No se comprobarán detonadores uno a uno, ni en grupos de pocas unidades.

6.10.- La comprobación del circuito, incluye la constatación de la continuidad eléctrica y del valor de la resistencia de la misma. Si ésta fuese anormal, se revisarán todas las conexiones.

6.11.- Sólo después de estas operaciones se considerará preparada la pega, y se procederá a la distribución del personal encargado de cortar los accesos a la zona de voladura.

6.12.- Hasta ese momento el explosor permanecerá bajo la custodia del encargado, que sólo entonces lo confiará al artillero.

6.13.- El punto del disparo o lugar del artillero, se situará de manera que sea posible acceder a él sin cruzar por las cercanías de la voladura, en caso de un fallo o problema cualquiera. Desde este lugar el artillero debe dominar la zona de voladura, a fin de asegurarse, sin tener que abandonar su sitio, de que ésta está despejada.

6.14.- El artillero no conectará la línea de tiro al explosor hasta comprobar que se ha cortado los accesos a la zona de voladura.

1.2.6.6.2 Sistema de encendido no eléctrico.

El tipo de encendido será no eléctrico utilizándose en todas las voladuras detonadores y conectores NONEL (NO eléctricos).

La iniciación de la voladura se realizará mediante tubo de transmisión que consiste en un tubo de plástico laminado multicapa que contiene en su interior una finísima capa de material reactivo (HMX y Al). Dicho tubo una vez iniciado conduce la onda detonación de

baja energía a una velocidad de aproximadamente 2.000 m/s que será la encargada de iniciar la voladura.

La iniciación del tubo de transmisión, se realizará mediante un iniciador de tubo de transmisión que pueden ser utilizados las distintas variedades existentes en el mercado, que son de iniciación mediante descarga eléctrica de alto voltaje o de detonación de pistón, aconsejándose la utilización del iniciador eléctrico debido a su seguridad, fiabilidad y por qué no produce onda sonora.

Con el sistema combinado de detonadores y conectores no eléctricos, cada barreno dispone de un detonador no eléctrico con el mismo retardo básico. Una vez cargada la voladura, se conectan los tubos de los detonadores a través de los conectores NONEL. De esta manera, el conector retarda con su tiempo intrínseco tanto al detonador del barreno como el siguiente conector y detonador continuando así sucesivamente hasta el final de la secuencia.

Cuando se termina la conexión, el retardo final de cada barreno es la suma de su retardo básico del detonador y de los retardos de superficie conectores que les afectan, es decir, los que están por delante de él en el esquema de tiro.

1.2.6.6.3 Tiempo de retardo.

El tiempo de retardo de los detonadores no eléctricos, en este caso los conectores, es de 17 milisegundos, 25 milisegundos y 42 milisegundos. En el esquema de iniciación vienen señalados los tiempos de secuencia de encendido.

Con este tipo de detonadores y sus conectores se puede conseguir una secuencia de tiempos indefinida. Esto es posible debido a que la combinación de conectores y detonadores con su conexión en cascada hace que los barrenos salgan uno de tras de otro sin coincidir en el tiempo, lo que da lugar a una carga instantánea baja, permitiendo la ejecución de grandes voladuras.

1.2.6.7 DISPARO DE VOLADURA.

7.1.- Una vez preparada la pega, el encargado reunirá a los responsables de los distintos tajos y a todo el personal que vaya a colaborar en el disparo, a fin de determinar las zonas que deberán ser despejadas de personal y maquinaria, elegir los puntos en que se cortarán los accesos a la zona de voladura, responsabilizar de estas tareas a las personas necesarias, y acordar el sistema de avisos previo al disparo.

Estas instrucciones deberán ser claras y precisas, y se repetirán hasta lograr la comprensión y acuerdo de todos.

7.2.- Se procurará dotar de una emisora a todas las personas responsables del corte de un acceso.

7.3.- La evacuación de personal y maquinaria de las inmediaciones de la voladura y el corte de los accesos, deberá seguir un orden lógico y progresar de mayor a menor distancia de la zona de voladura. Desde este momento se suprimirán los desplazamientos por dicha zona, incluso para personal y vehículos del equipo de voladuras.

7.5.- La carga de aviso se pondrá en lugar exento de circulación, aunque ésta esté interrumpida, y que no esté cercano a ningún punto de corte de acceso.

7.6.- Una vez detonada la carga de aviso, se prohíbe el movimiento o circulación de vehículos o máquinas.

7.7.- Los responsables del corte de los accesos, esperarán el aviso del técnico responsable de la voladura antes de dejar libre el paso.

7.8.- Todo personal quedará avisado del disparo por medio de tres pizarras, situadas una en la entrada a la explotación, otra en la planta de tratamiento, y otra en las proximidades de los vestuarios.

7.9.- Estas pizarras deberán estar debidamente rellenas el día de la voladura, entre las 8 y las 9 de la mañana por el responsable de la perforación y la voladura.

7.10.- El responsable del disparo, deberá advertir del lugar y a primera hora de la mañana a los distintos responsables del tajo, para que éstos retiren oportunamente, las personas y equipos de la zona de peligro.

7.11.- Antes de disparar la voladura, se darán tres toques de sirena, para avisar a las posibles personas que existan en los alrededores, de que se va a iniciar el disparo de la misma, concediéndose un plazo de 5 minutos antes de disparar la pega para que salgan fuera de los límites peligrosos afectados por ella.

7.12.-No se realizarán voladuras en días de fuertes lluvias o tormentas, aun estando distantes de la zona de voladura; en caso de que una vez cargados los explosivos se originase la tormenta, se explosionará con detonador corriente y mecha antihumedad, según las instrucciones de la Dirección Facultativa.

7.13.- Se cuidará de que no exista próximo a la línea de tiro, una vez colocado el detonador eléctrico, ningún tipo de conductores eléctricos en carga; todas las máquinas se encontrarán paradas y no se utilizarán transmisores.

1.2.6.8 DESPUÉS DEL DISPARO.

8.1.- Una vez disparada la voladura, el responsable deberá cerciorarse de que todo el explosivo ha sido detonado y que la zona queda libre de peligro.

8.2.- Una vez disparada la pega, el artillero y el vigilante revisarán la zona volada. Si en esta inspección notasen la existencia de uno o varios barrenos fallidos, prohibirán la entrada a la zona donde se haya dado la pega; pondrán señales en el barreno o barrenos fallidos y lo comunicarán lo antes posible a la Dirección responsable.

8.3.- En el caso de existencia, de barrenos fallidos, se procederá empleando uno de los métodos que a continuación se detallan:

Redisparando el barreno, después de comprobar que el mismo está en condiciones para ello, y no existe riesgo de proyecciones peligrosas.

Colocando nuevamente explosivo y un detonador, en el caso de que el barreno fallido tenga caña suficiente para ello.

En casos especiales, la Dirección responsable, puede autorizar el empleo de los medios descritos en la ITC 10.2.01., para la eliminación de barrenos fallidos.

8.4.- Cuando la inspección que se haga después de la voladura sea satisfactoria, se puede indicar la reanudación de los trabajos.

1.2.6.9 INCIDENTES DE TIRO. OTRAS NORMAS DE SEGURIDAD.

9.1.- Se prohíbe el uso de emisoras y teléfonos móviles a distancias menores de 50 metros de la zona de voladura, cuando los detonadores ya estén conectados.

9.2.- Cualquier circunstancia anómala relacionada con la voladura y el explosivo, se comunicará lo antes posible al encargado u otro responsable.

9.3.- Cuando uno varios barrenos hayan fallado, serán señalizados y se informará inmediatamente al jefe.

9.4.- Los bloques de roca "a taquear" no serán perforados sin cerciorarse de que no existen en ellos restos de explosivos o fondos de barreno.

9.5.- Se prohíbe que cualquier material relacionado con el explosivo (embalajes, accesorios, etc...) sean empleados para fin alguno.

1.2.6.10 PERSONAL DE PERFORACIÓN Y VOLADURAS.

1.2.6.10. 1 Maquinistas perforador.

Revisarán la máquina antes de arrancarla realizarán las operaciones de mantenimiento descritas en el nivel diario y semanal cuando proceda.

Durante el traslado de la máquina llevarán la pluma abatida, salvo en el caso de traslado entre barrenos de una misma voladura, si el terreno es horizontal y las condiciones lo permiten.

Al desplazarse por pistas y accesos, cumplirán todas las normas de circulación establecidas.

Comprobarán que la zona a perforar esté acordonada con banderas, prohibiendo la circulación de maquinaria y vehículos por la misma.

Durante la perforación, usarán todos aquellos equipos de protección personal necesarios.

1.2.6.10.2 Artilleros.

Marcarán la voladura y pondrán banderas en la zona de perforación.

Comprobarán la perforación, dejarán los barrenos a su cota correspondiente y los taparán.

Comprobarán si los barrenos tienen agua para pedir el explosivo adecuado.

Antes de proceder a la carga del barreno, comprobarán si ha entrado agua al barreno.

Los días que haya voladura, un artillero nombrado por el encargado responsable, esperará al camión del explosivo a la entrada de la explotación y lo conducirá a los tajos de la voladura. Estos tajos, estarán señalizados con banderas rojas y carteles de "Peligro Explosivo".

Una vez descargado el explosivo en sus tajos correspondientes, se procederá a la carga de los barrenos.

El artillero coge el cordón detonante, ata un cartucho de *goma 2* y lo introduce hasta el fondo del barreno deslizándolo.

Esta es la carga de rondo. A continuación mete un atacador dentro del barreno y vierte la *nagolita* a granel, hasta dejarle al barreno su retacado correspondiente.

A los barrenos que tienen agua, se les mete todo *goma 2* o se encartucha la *nagolita*.

Una vez introducido todo el explosivo en los barrenos, se procede al retacado de los mismos. El retacado se hace con el mismo detritus de la perforación.

Antes de poner detonadores, se fijan carteles en las entradas de los tajos de voladura con el rotulo "Peligro: desconecten las emisoras y los teléfonos móviles".

Colocados los detonadores se conectan entre sí en serie, se cierra el circuito y se comprueba la voladura. Si está bien, queda lista para el disparo, en caso contrario hay que localizar donde está el fallo del detonador y se cambia por otro del mismo número. Comprobado esto, se cierra el circuito de voladura.

Se prepara la línea de tiro, se comprueba y se cierra el circuito aislado de la voladura hasta el momento de efectuar la misma.

En este momento, se procede a avisar y ordenar la retirada de todo el personal y maquinaria de los tajos que puedan ser afectados por la voladura.

Se procurará, salvo imprevistos o problemas de tipo meteorológicos, que éstas se efectúen, en los cambios de relevo aprovechando que no hay personal ni maquinaria en las zonas afectadas por la voladura.

Una vez dada la orden de voladura, se efectúa el disparo de la misma. Se desconectan los hilos del explosor y se dirige a la zona de voladura para comprobar si ha salido toda o ha habido algún fallo. Si ha salido toda la voladura se da orden de dejar abiertos los accesos a los tajos.

Si ha fallado algún barreno y se le puede poner detonador, se le pondrá y se dispara éste (durante toda esta operación los accesos permanecen cerrados). Otra vez se comprueba si ha salido el barreno fallido y si es así, se da orden de dejar libres los accesos a la zona de volada.

1.2.6.11 SISTEMA DESTRUCCIÓN DEL EXPLOSIVO.

La destrucción de los explosivos industriales y sus accesorios, entendiéndose por tal su descomposición de forma que no pueda producirse su regeneración es una operación que exige la adopción de una serie de precauciones específicas y particularmente, cuando se trate de cantidades de cierta consideración, el asesoramiento de un técnico especialista en explosivos.

Por norma general no deben sobrar explosivos pues todo se ha calculado, sin embargo en la práctica siempre pueden encontrarse problemas, perforaciones tapadas, agua en barrenos inesperados, oquedades o grietas por donde se pierde explosivo etc. , que modifican la carga a emplear.

Por ello es importante y se recomienda su destrucción, actualmente su destrucción se puede llevar a cabo por los siguientes métodos:

- Combustión.
- Detonación.
- Disolución (por procedimientos químicos)

Para la elección del método más apropiado en cada caso, se deben tener en cuenta una serie de factores condicionales tales como: características topográficas de la zona, tipo de explosivo, cantidad de explosivo, etc.

1.2.5.11.1. Combustión.

Este método, también conocido como quema o incineración, aunque es el habitual para la destrucción de explosivos, tiene un inconveniente debido al peligro que puede suponer la

transformación involuntaria del proceso de combustión en una detonación y de acuerdo con ello se deberán tomar determinadas precauciones de seguridad, tales como:

- Limitar la cantidad de explosivos que se destruirán por combustión.
- Mantener las distancias adecuadas a los lugares habitados y a las vías de comunicación, así como a los operarios que realizan la operación.
- Iniciar la combustión con medios apropiados.

El área de la combustión antes de la operación deberá estar seca, fría y exenta de objetos que pudieran actuar como proyectiles. Además, la combustión no debe comenzar con condiciones meteorológicas adversas como viento fuerte, lluvia o excesivo calor.

La combustión exige preparar una cama o lecho de material combustible (papeles, cartones, madera, etc.), para después extender una capa del explosivo de unos 4 cm de espesor sobre dicha cama. A continuación, colocar la mecha (que puede ser de diverso material como algodón, impregnado con gasóleo, o mecha lenta), darle fuego y abandonar la zona.

Una vez finalizada la quema, y transcurrido un tiempo prudencial se inspecciona el lugar de la misma y se retiran los residuos recogiendo las cenizas.

La combustión se puede aplicar a la destrucción de materiales explosivos y accesorios tales como:

1. Pólvora negra en pequeñas cantidades y con una atención especial ya que se enciende fácilmente y arde muy rápido.
2. Explosivos rompedores (explosivos gelatinosos, TNT, etc.) en pequeñas cantidades y a cielo abierto.
3. Mecha lenta, con la precaución de sacarla del carrete antes de quemar.
4. Cordón detonante, con la precaución de no quemar nunca en los carretes y siempre tiene que extenderse.

1.2.5.11.2. Detonación

En algunos casos, la detonación o explosión puede resultar el método más aconsejable para la destrucción de explosivos y residuos de explosivos, por su rapidez y su técnica conocida, segura y relativamente simple de aplicar. No obstante, es preciso considerar que con la utilización de este método se pueden ocasionar problemas en el entorno que

deberán ser valorados antes de su ejecución, principalmente onda aérea, pudiendo ser apreciable en forma de ruido y vibraciones en cristales y estructuras.

Cuando se emplea la detonación para destruir explosivos, es conveniente secuenciar el disparo lo más posible.

El campo de aplicación de este método de destrucción abarca todos los explosivos y accesorios, aunque no sea el más idóneo para todos ellos. Sin embargo, cuando los explosivos se encuentren en mal estado de conservación, o haya sospecha de ello, especialmente si se trata de explosivos de nitroglicerina/nitroglicol, el método de detonación es siempre el más aconsejable, pues requiere una manipulación mínima de las sustancias explosivas, pudiéndose a veces proceder a la destrucción sin necesidad de abrir las cajas de explosivo.

Por otro lado, algunos accesorios, como los detonadores, pueden destruirse insertándolos dentro de una carga explosiva con base de nitroglicerina, de forma que cada detonador esté sumergido en el explosivo. De este modo, pueden destruirse hasta un máximo de 10 detonadores. La carga se iniciará por medio de un detonador apropiado y se cubrirá con una capa de material fino con una profundidad mínima de 0,5 m.

La detonación puede aplicarse a la destrucción de materiales explosivos y accesorios tales como:

- Explosivos rompedores con nitroglicerina, hidrogeles y pulverulentos.
- Detonadores.
- Cordón detonante: destruido junto con otros explosivos detonándolos, aunque también puede destruirse por combustión.
- Artefactos y conjuntos detonantes que deben destruirse bajo supervisión del fabricante.

1.2.5.11.2.a. Detonación a cielo abierto o al aire

La detonación de pequeñas cantidades de explosivos a cielo abierto es el procedimiento más simple. Este método se realiza sobre una zona especialmente destinada para ello pudiendo emplearse siempre que el lugar esté aislado y tenga las dimensiones suficientes.

En este procedimiento el explosivo se manipula de la misma manera que en una voladura normal: colocación de un cebo e iniciación del mismo por cualquier sistema de encendido.

Cuando los explosivos que se van a destruir estén en buen estado, el cartucho cebo de la carga se puede formar con uno de los que se pretende destruir. En cambio, si el

explosivo se encontrarse en mal estado, el cartucho cebo se preparará con explosivo "fresco" adosándolo a la carga, o bien se puede sustituir por un ramal de cordón detonante enrollado alrededor del explosivo que se quiere destruir con un detonador en uno de sus extremos.

Si se pretende destruir explosivos muy insensibles, o muy descompuestos, es necesario utilizar un cebo suficientemente energético para asegurar su destrucción total.

La iniciación de la explosión se hará preferentemente por medio de un detonador eléctrico ya que además de proporcionar una mayor seguridad al artillero, permite destruir en un mismo tiempo varias partidas de explosivos, espaciando la iniciación mediante detonadores de tiempo. No obstante, también se puede utilizar un detonador de mecha lenta.

Las consideraciones más importantes que se deben tener en cuenta en la destrucción por detonación a cielo abierto son:

- Los factores medioambientales como el ruido y la sobrepresión. El responsable deberá evaluar el riesgo y las consecuencias teniendo en consideración las condiciones locales.
- El peso de explosivo "fresco" de la carga iniciadora deberá ser al menos de un 20% de la cantidad de explosivo que se quiere destruir; el cual se situará en el centro de la carga.
- La carga total deberá cubrirse (coronarse) con una capa apropiada de un material fino (tal que arena), que sea suficiente para confinar la carga y que en ningún caso deberá tener un grosor inferior a 0,5 m.
- Las piedras u otros materiales que pudieran originar un efecto misil deberán vigilarse especialmente para su desaparición.

1.2.5.11.2. b.Detonación en un barreno

La incorporación de cantidades limitadas de los explosivos que se quiere eliminar a un barreno en una voladura en serie es un método seguro de destrucción, siempre que se respeten estrictamente, tanto la limitación de cantidades, como las medidas de seguridad. Para ello, los explosivos se cargarán en la parte superior de la carga estándar del barreno y se volarán con el resto de la serie.

La cantidad en cada barreno deberá limitarse al 5% de la carga proyectada por barreno, pues de lo contrario podría interferir con el resultado de la voladura. La carga de las materias explosivas en los barrenos sólo deberá llevarse a cabo con la supervisión de un Artillero cualificado y con la aprobación de la persona responsa

ANEXO VII

LABORES EXPLOTACIÓN

ÍNDICE

1.2.7 ANEXO VII LABORES DE EXPLOTACIÓN	168
2.7.1 INTRODUCCIÓN.....	168
1.2.7.2 EMPLAZAMIENTO DE LAS LABORES.	168
1.2.7.3 SECUENCIA DE LAS LABORES DE EXPLOTACIÓN.....	168
1.2.7.3.1 Destape y acondicionamiento de la zona.....	169
1.2.7.3.2 Perforación de los barrenos.....	170
1.2.7.3.3 Realización de voladura.....	171
1.2.7.3.4 Saneo del frente de explotación.....	172
1.2.7.3.5 Carga y transporte del material.....	173
1.2.7.3.6 Trituración clasificación y acopio del material	175

1.2.7 ANEXO VII LABORES DE EXPLOTACIÓN

2.7.1 INTRODUCCIÓN

En este anexo se pretende definir las labores de explotación, desde su arranque hasta su venta o almacenamiento, en la cantera.

El procedimiento de la explotación será el típico de las explotaciones de estas características, consistente en ir desmontando el terreno, mediante bancos descendentes, realizados por acción directa de perforación y voladura, cargados y tratados en la plataforma de la cantera.

1.2.7.2 EMPLAZAMIENTO DE LAS LABORES.

Las labores extractivas de la roca se llevarán a cabo en las parcelas 136, 133b y 137 del polígono 56, Torre del espartal (Priego de Córdoba), con una superficie aproximada de 23.300m², siendo su cota máx. de extracción 750ms.n.m. Su cota final de plaza de cantera se ha establecido en 680 m.n.m., no siendo autorizadas realizar labores extractivas por niveles inferiores a la cota mínima de la carretera circundante.

Para llevar cabo dichas labores, la futura explotación se apoyará en la actual plataforma de cantera ya existente, aprovechado esta como zona de acopios, taller y zonas de control y venta.

Se han diseñado bancos de unos 13 m aproximadamente de altura, que se irán convirtiendo en bermas de unos 5 m de anchura a media que se desciende, cubriendo la altura total con el diseño de 5 bancos (definido en el anexo II, diseño de explotación).

1.2.7.3 SECUENCIA DE LAS LABORES DE EXPLOTACIÓN.

Los trabajos de extracción siguen una secuencia lógica de fases que se repiten de forma periódica y que se describen a continuación.

Cabe destacar que antes de realizar las labores de explotación, el perímetro de la cantera ha de estar perfectamente delimitado por medio de una valla metálica estable, donde se indicaran carteles de uso de explosivos así como caída a distinto nivel y uso de maquinaria, que asegure en todo momento la zona a explotar.



FIG 1.26. *Zona destinada a explotación*

1.2.7.3.1 Destape y acondicionamiento de la zona

Es la primera operación que se debe realizar cuando se llega a una zona natural de la cual se desea extraer un recurso, ya que da la oportunidad de conservar el suelo fértil y las especies nativas de la zona en cuestión. De esta forma, se puede reforestar y recuperar el espacio explotado una vez agotadas las reservas del área, es decir, simplificar las labores de restauración de la zona.

Es por tanto necesario mantener una zona destinada al almacenamiento de la cubierta vegetal y de las especies típicas del lugar, para tal uso se podrán emplear los bancos ya explotados de la anterior cantera.

Se realizará el destape, de la zona por medios mecánicos y con ayuda de medios manuales si fuese necesario, debiendo acondicionar el área para que la maquinaria pueda desarrollar sus labores sin problemas. Con este fin se diseñarán las pertinentes pistas y accesos.*fig 1.26*

El diseño de estas vías que darán acceso a los frentes de explotación, se debe tener en cuenta, tanto aspectos de seguridad, de tal forma que los vehículos circulen sin dificultades ni inestabilidades, así como aspectos de rentabilidad, en lo que a la intensidad de circulación se refiere. Por ello, en la construcción de las vías, se deben emplear materiales de rodadura de alta calidad para que dichos objetivos queden garantizados, además de un respeto de la normativa vial específica de la explotación por parte de los trabajadores.

La disposición de las vías será tal que tengan un arcén mínimo de 2 metros hasta el pie o borde inferior del talud, como ya se mencionó en el *Anexo II*. Asimismo, las pendientes de las vías estarán adaptadas al tipo de vehículo y a la carga transportada sin superar, como norma general, un desnivel máximo puntual del 15 %.

Finalmente, señalar que las vías deben estar provistas de un radio de curvatura que proporcione la visibilidad suficiente y con un peralte adecuado para evitar que el vehículo abandone la curva.



FIG 1.27. Destape y acondicionamiento del terreno.

1.2.7.3.2 Perforación de los barrenos

El objetivo de la perforación es construir los barrenos en el banco de trabajo o terreno virgen para su posterior carga y detonación produciendo la fragmentación y despegue de la roca del macizo original.

Para la perforación se empleará una equipo de perforación, definido en el Anexo II, este equipo trabaja a rotopercusión, mediante un carro perforador con martillo en fondo y chasis montado sobre orugas, de forma que la percusión se realiza directamente sobre la boca de perforación y la rotación se efectúa desde el exterior del barreno. El accionamiento será neumático mediante aire comprimido y captando el polvo generado

en los trabajos, todo ello con el soporte de un compresor que suministra presión a 12 bares.

La perforadora realizará la malla de perforación definida en el Anexo III, dicha malla tipo define el tamaño de los barrenos así como su inclinación y diámetro.

Se debe replantear en la zona a perforar la malla donde la precisión es fundamental, para que en la voladura se consigan unos resultados óptimos. Por ello se emplearán equipos topográficos para la correcta situación en inclinación de la máquina de perforación. Además el carro proporcionará un buen barrido y limpieza de los detritus generados, lo que aumenta el rendimiento de la perforación fig.1.28.

Cabe destacar la gran importancia que tiene, tapar los barrenos una vez perforados, con el objetivo de evitar entrada de material u agua, por ello es conveniente delimitar la zona para evitar el paso por la misma.



FIG 1.2.8. *equipo de perforación y barrenos*

1.2.7.3.3 Realización de voladura.

Se establecerá un día, para llevar a cabo las labores de carga y pega de la voladura, quedando este día notificado a Industria y Minas, al cuerpo de la guardia civil

que vigilará en todo momento la voladura y al equipo de seguridad de explosivos, así como a las viviendas del entorno.

La carga se realizará de forma manual, transportando los explosivos desde la plaza de la cantera hasta el corte, con la maquina cargadora habilitada.



FIG 1.29 .. *Carga de la voladura.*

Tras la carga y el taqueo, así como la conexión de los diferentes barrenos con los tiempo establecidos el anexo IV, se realizará una revisión de la zona circundante para asegurar la zona y alertar de la detonación. El equipo de la Guardia Civil debe realizar el corte de la carretera, al encontrarse ésta a menos de 200 m de la voladura.

Al finalizar la pega, se verificará el resultado de la voladura, comprobando y asegurando que el explosivo ha detonado y no se encuentran fallos, en caso contrario se deben tomar las medidas que el director Facultativo estime oportunas.

1.2.7.3.4 Saneamiento del frente de explotación

Una vez ejecutada la voladura un equipo se desplazará a la zona para eliminar aquellos materiales inestables o colgados del frente que corren el riesgo de caer poniendo en peligro vehículos y operadores que se encuentren en la zona inferior. Para llevar a cabo esta limpieza y saneo se empleará la excavadora de orugas, Hitachi Ex215,

acompañada de un operario para comprobar el resultado retirando aquellos elementos más pequeños.



FIG 1.30. *Excavadora saneando frente volado.*

1.2.7.3.5 Carga y transporte del material

Una vez el material ha quedado arrancado y fragmentado en el banco de explotación tras la voladura y al saneo del frente, será cargado y transportado para tratamiento en la planta.

Las labores de carga de mineral y estéril se realizarán mediante una excavadora de orugas Samsug 450 lc2, asistida por la excavadora Fiat HitachiEX 215 para las zonas inestables. Los grandes que se hayan producido se romperán con la ayuda del martillo hidráulico que esta incorpora.

El material será cargado en los camiones dumper 6x6, que transportarán el material desde el frente hasta la plataforma de la cantera, donde se encuentran los equipos de tratamiento.

En las labores de carga, es necesario que el camión adopte una posición perpendicular al frente en explotación y con la cabina lo más alejada posible de él, de forma que la carga se realice en la parte trasera o lateral del mismo, sin que la cuchara pase nunca por encima de la cabina. No obstante, el camión contará con protecciones contra golpes en la cabina (protección FOPS) y con un sistema de seguridad, en caso de vuelco del equipo (protección ROPS):



FIG 1.31 . *Carga del material.*

Las labores de carga y transporte serán fundamentales para el cálculo de la producción diaria y por tanto, anual de la explotación, pues todo ello se desarrollará en base a las capacidades de la cuchara de carga y la caja del camión.

La capacidad de la cuchara del equipo de carga es de 2 m³, siendo la capacidad el camión 14 m³, y la duración de cada maniobra de carga es de 1 min, siendo la duración del ciclo de carga:

$$\frac{14 \text{ m}^3}{2 \text{ m}^3} = 7 \text{ ciclos} \times 1 \frac{\text{min}}{\text{ciclo}} = 7 \text{ min} \quad (27)$$

El transporte del material a la planta de tratamiento, ubicada a 200 m desde el frente, es el que más tiempo requiere de todo el ciclo. De este modo, cada camión tarda 7 min de ida y vuelta más 3 min. de descarga en planta, siendo el ciclo de transporte 10 min. El ciclo total de carga/descarga y transporte es de 17 min.

Se ha establecido un solo turno de 8 horas de carga y transporte del material al día siendo el ciclo total diario:

$$2 \text{ camiones} \times 8 \text{ horas/ día} = 16 \text{ horas día} \times 60 \text{ min/ hora} = 960 \text{ min / día}$$

$$\frac{\frac{960 \text{ min}}{\text{día}}}{17 \text{ min/ciclo}} = 56 \text{ ciclos/día} \quad (28)$$

Con este ritmo de producción diario y considerando que el año tiene 220 días laborales, obtendríamos una producción anual de:

$$56 \text{ ciclos/día} * 14 \text{ m}^3/\text{ciclo} = 784 \text{ m}^3/\text{día} \quad (29)$$

$$784 \text{ m}^3/\text{día} * 220 \text{ día} = 172.480 \text{ m}^3/\text{año}$$

Con este diseño de trabajo se consigue una producción (todo uno) mayor a la producción anual que los equipos pueden tratar 110.300 m³ por lo tanto este sistema se adapta y obtiene unos buenos rendimientos asegurando un buen margen de tiempo, siendo este de especial importancia pues con este tipo de maquinaria se deben tener en cuenta tiempos inesperados de averías, tiempos de voladura, roturas, y otros imprevistos.

1.2.7.3.6 Trituración, clasificación y acopio del material

Una vez que el material se encuentra en la plaza de cantera en la zona donde se encuentran los equipos de tratamiento del material, este será cargado a la tolva del molino 1, mediante la excavadora Cat m320 o Hitachi 315, suministrando un flujo de material fluido y continuo.

El material será precibado expulsando los finos por una cinta y entrando al molino primario el material retenido. El producto vuelve a entrar a otro molino secundario que reduce aún más su tamaño, y a continuación pasa a la criba móvil que clasifica el material en función de su tamaño. Diferentes cintas transportadora acopias los diferentes tamaños producidos.



FIG 1.32 . *Alimentación planta de molienda (configuración molino- criba).*

En la plaza de cantera se encuentra el equipo de pala cargadora, destinada a realizar las funciones de acopio y carga del material a camiones para su venta (control por báscula)

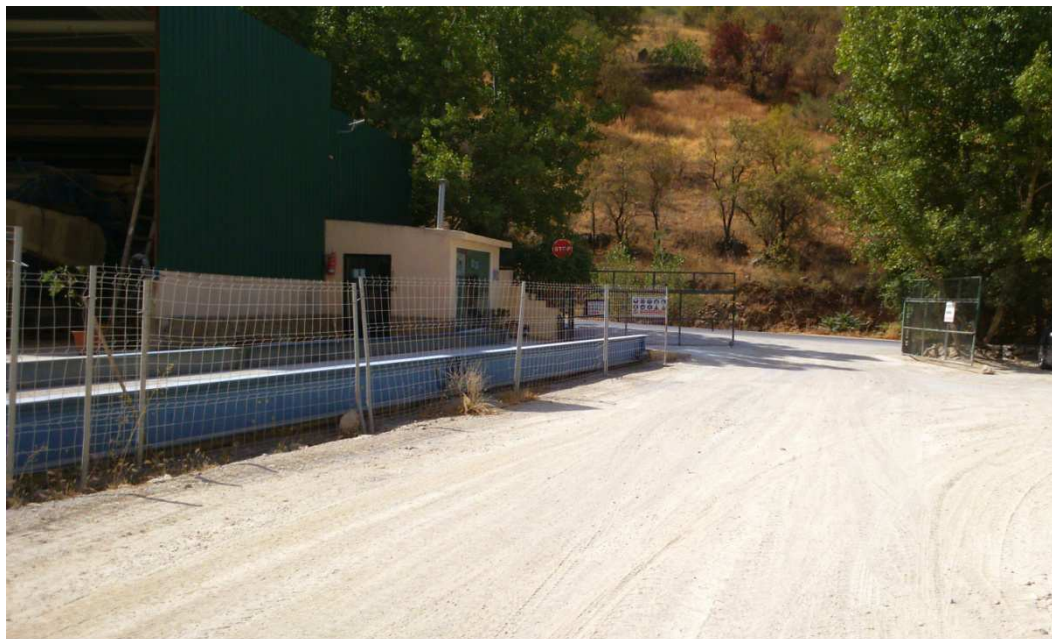


FIG 1.33 . *Báscula control de tonelaje.*

ANEXO VIII FOTOGRAFICO

ÍNDICE

1.2.8 ANEXO VIII FOTOGRAFICO.....	180
2.8.1 FOTOGRAFIAS DE LA ZONA	180
Carretera y zona de explotar	180
FIG 1.34 Carretera y zona a explotar.....	180
FIG 1.35 . Acceso a la finca.	180
FIG 1.36. Pantalla vegetal.de actual cantera.....	180
FIG 1.37. Plaza de cantera, para acopio y molienda.....	181
FIG 1.38 . Zona a explotar con vegetación	181
FIG 1.39 . Carretera y creación de accesos la zona superior.....	182
FIG 1.40. Vallado perimetral.	182
FIG 1.41 . Vivienda próximas a la zona a explotar.	183
FIG 1.42 . Torre árabe a 200 m de la zona a explotar.....	183
2.8.2 MAQUINARIA	184
FIG 1.43 . Perforadora Atlas Copcon ecm 660II.....	185
FIG 1.44 . Excavadora de orugas Samsung SE 450 lc-2.	186
FIG 1.45. Excavadora de rueda Cat M320.....	186
FIG 1.46 Excavadora de orugas Hitachi EX 215.	187
FIG 1.47 . Pala cargadora Caterpillar 950.....	187
FIG 1.48 . Camion Dumper Mercedes Benz 6x6.....	188
FIG 1.49 Camion Dumper Man 6x6.	188
FIG 1.50 . Molino de Impactos Kleman Reiner MR102.	188
FIG 1.51 Criba Movil Exttec.	189
FIG 1.52 . Motoniveladora Caterpillar 120M.....	189
FIG 1.53 Retroexcavadora Komatsu WR 93-R2.	190
FIG 1.54 . Camión Cuba 8000I.....	190
2.8.3 PROCESO DE EXPLOTACION.....	191
FIG 1.55 . Zona a explotar con escasa cobertera vegetal.	191

FIG 1.56 . Limpieza de cobertera vegetal.	191
FIG 1.57 Accesos para la perforadora.	192
FIG1.58 Perforación de los barrenos.	192
FIG 1.59 Malla de barrenos perforados.....	192
FIG 1.60 . Carga de la voladura.	192
FIG 1.61. Sismografo Vibra-Tech, clavado en tierra.....	192
FIG1.62 . Lecturas de las vibraciones.	192
FIG 1.63. Fracturas generadas tras la pega.....	192
FIG 1.64 . Banco tras la pega.	192
FIG 1.65 . Saneamiento de las zonas inestables.	192
FIG 1.66. Carga del material en el frente.	192
FIG 1.67. Transporte del material en camión	192
FIG 1.68 .. Reducción y Clasificación el material.	192
FIG 1.69 . Carga de bolos para escollera.....	192
FIG 1.70. Banco con borde no revasable.....	192
FIG 1.71. Bolos para taquear o para escollera.....	192
FIG 1.72. Acopio material clasificado.....	192
FIG 1.73 . Bascula de control tonelaje.	192
FIG 1.74 Zona taller.	192
FIG 1.75. Distribución general de la plataforma de cantera.....	192

1.2.8 ANEXO VIII FOTOGRAFICO.

2.8.1 FOTOGRAFIAS DE LA ZONA

Carretera y zona de explotar



FIG 1.34. Carretera y zona a explotar.



FIG 1.35. Acceso a la finca.

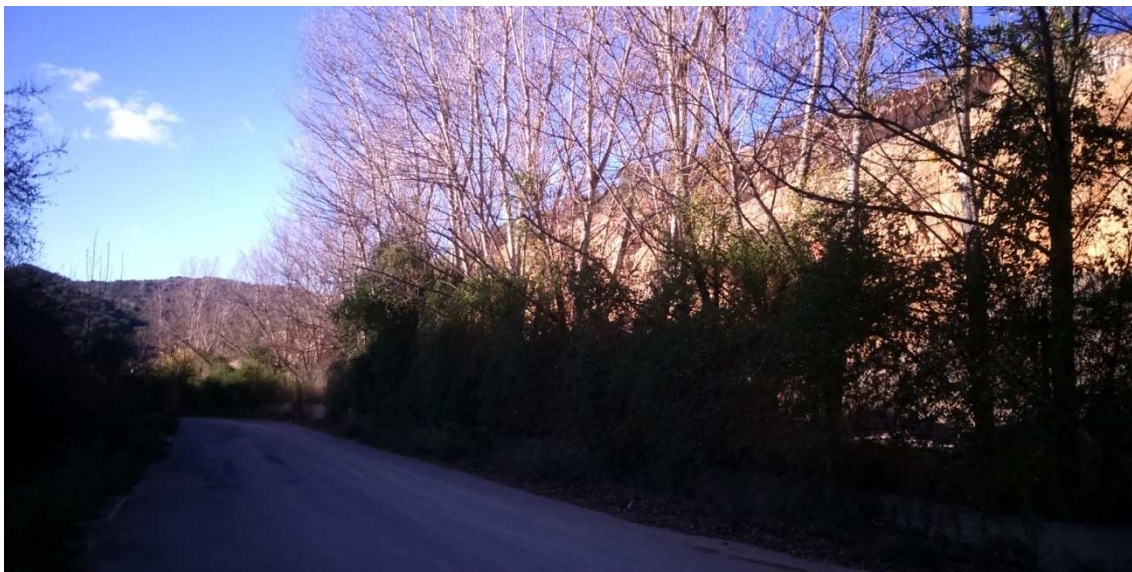


FIG 1.36. Pantalla vegetal.de actual cantera.



FIG 1.37. Plaza de cantera, para acopio y molienda.



FIG 1.38. Zona a explotar con vegetación .



FIG 1.39. Carretera y creación de accesos la zona superior.



FIG 1.40. Vallado perimetral.



FIG 1.41. Vivienda próximas a la zona a explotar.



FIG 1.42. Torre árabe a 200 m de la zona a explotar.

2.8.2 MAQUINARIA



FIG 1.43 . Perforadora Atlas Copcon ecm 660II.



FIG 1.44. Excavadora de orugas Samsung SE 450 lc-2.



FIG 1.45. Excavadora de rueda Cat M320.



FIG 1.46 Excavadora de orugas Hitachi EX 215.



FIG 1.47 Pala cargadora Caterpillar 950.



FIG 1.48 . Camion Dumper Mercedes Benz 6x6.



FIG 1.49 Camion Dumper Man 6x6.



FIG 1.50 . Molino de Impactos Kleman Reiner MR102.



FIG 1.51 Criba Movil Extec.

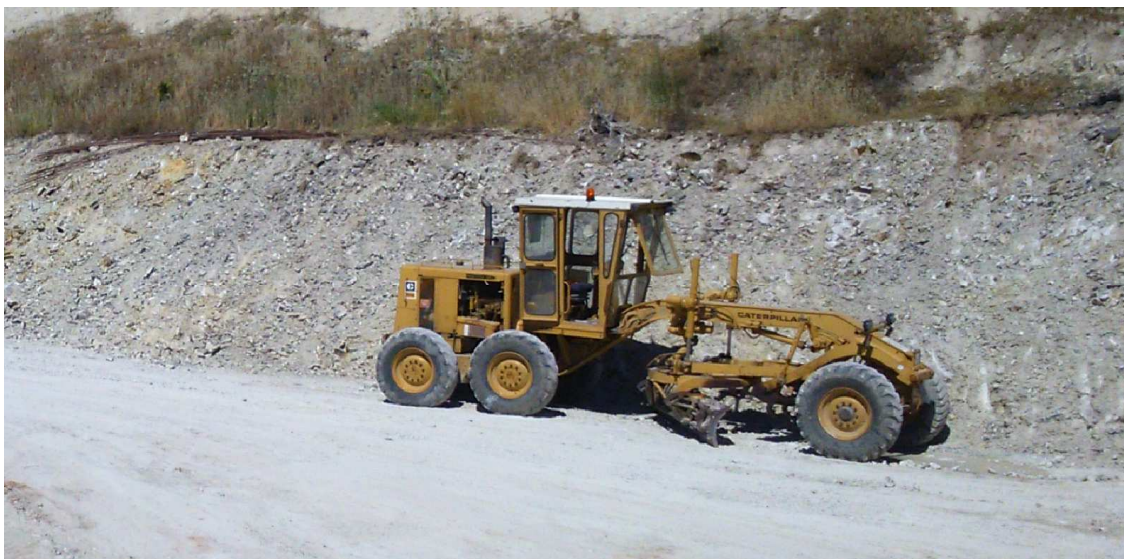


FIG 1.52 Motoniveladora Caterpillar 120M.



FIG 1.53 Retroexcavadora Komatsu WR 93-R2.



FIG 1.54 . Camión Cuba 8000l.

2.8.3 PROCESO DE EXPLOTACION

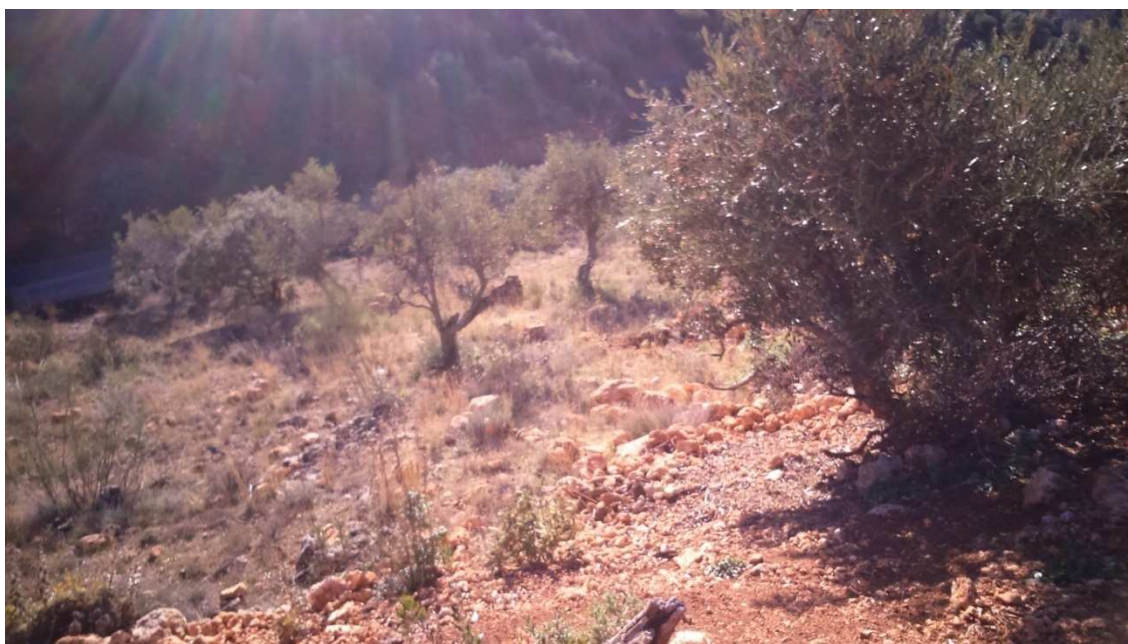


FIG 1.55 . Zona a explotar con escasa cobertera vegetal.



FIG 1.56 . Limpieza de cobertera vegetal.



FIG 1.57 *Accesos para la perforadora.*



FIG1.58 *Perforación de los barrenos.*



FIG 1.59 Malla de barrenos perforados.



FIG 1.60 . Carga de la voladura.



FIG 1.61. *Sismografo Vibra-Tech, clavado en tierra.*



FIG1.62. *Lecturas de las vibraciones.*



FIG 1.63. *Fracturas generadas tras la pega.*



FIG 1.64 . *Banco tras la pega.*



FIG 1.65. *Saneamiento de las zonas inestables.*

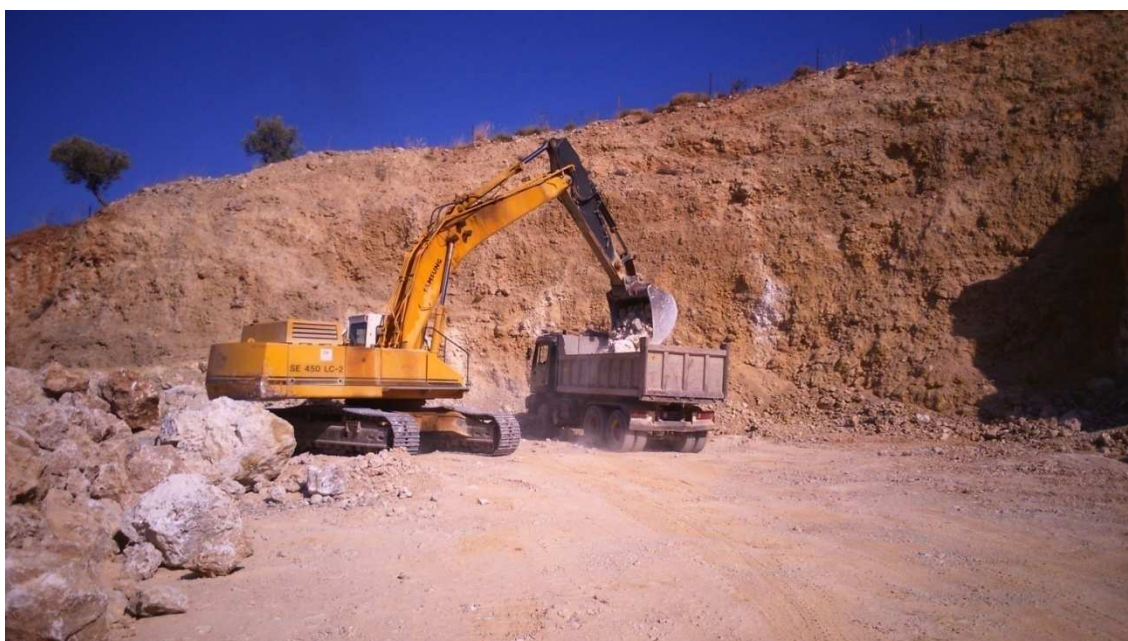


FIG 1.66. *Carga del material en el frente.*



FIG 1.67. Transporte del material en camión .



FIG 1.68.. Reducción y Clasificación el material.



FIG 1.69 . *Carga de bolos para escollera.*



FIG 1.70. *Banco con borde no revasable.*



FIG 1.71. Bolos para taquear o para escollera.



FIG 1.72. *Acopio material clasificado.*

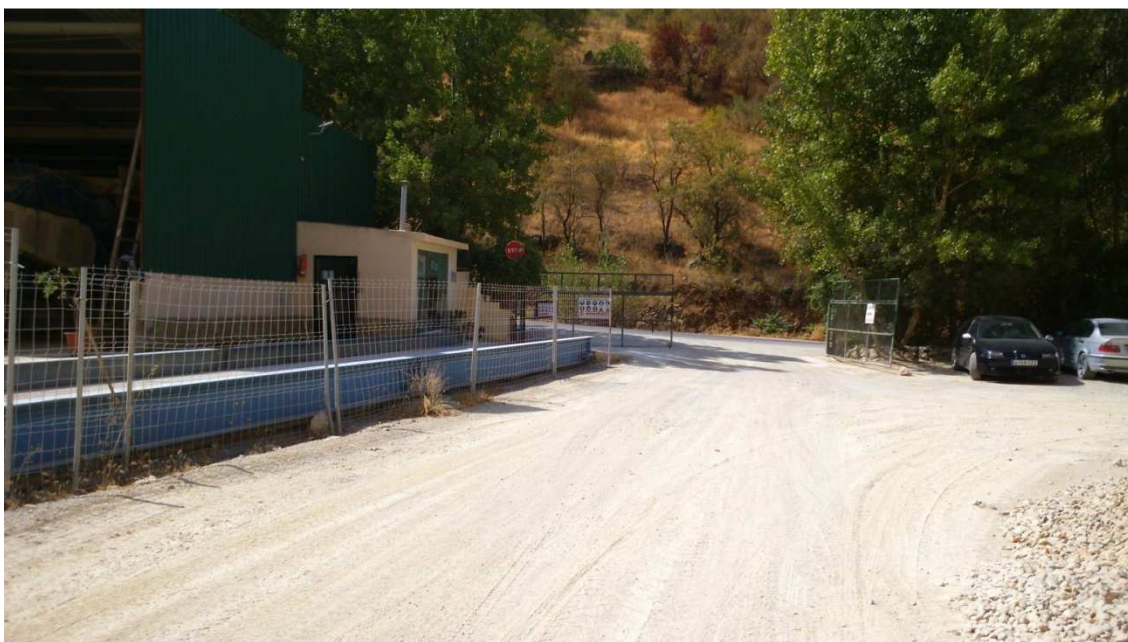


FIG 1.73. *Bascula de control tonelaje.*



FIG 1.74 Zona taller.



FIG 1.75 Distribución general de la plataforma de cantera.

ANEXO IX

ESTUDIO DE VIBRACIONES

ÍNDICE

1.2.9 ANEXO IX ESTUDIO DE VIBRACIONES.....	204
1.2.9.1. INTRODUCCIÓN.....	204
1.2.9.2. VIBRACIONES EN VOLADURAS.	204
1.9.2.1 Introducción.....	204
1.9.2.2 Descripción del fenómeno vibratorio.....	204
1.9.2.3 Generación de ondas sísmicas por voladuras	204
1.9.2.4 Tipos de Ondas elásticas.....	205
Ondas internas	205
Ondas de superficie	205
Las ondas P.....	205
1.2.9.3. Medidas de vibraciones producidas por voladuras.	206
1.2.9.4. Ley de transmisividad	207
1.2.9.5. Análisis de frecuencias	208
1.2.9.6. Criterios limitaciones de vibraciones de voladuras.....	208
1.2.9.7. EQUIPO UTILIZADO	210
1.2.9.8. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO.	211
1.2.9.8.1 Planteamiento general de un estudio de vibraciones.	211
1.2.9.8.2 Metodología.....	213
1.2.9.8.3 Cálculos.....	216
Ley de amortiguación.....	216
Análisis de frecuencias	217
Criterio de limitación de vibraciones.....	218
Tabla carga-distancia.....	218
Datos aportados por Sismógrafo.....	219
1.2.9.9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	221

1.2.9 ANEXO IX ESTUDIO DE VIBRACIONES.

1.2.9.1. INTRODUCCIÓN

Este anexo tiene como fundamento la elaboración de un estudio de vibraciones en la zona a explotar, pues según el método de arranque, anexo IV , así como la cercanía de elementos constructivos, en concreto la Torre del Espartal, que ha sido clasificada como estructura del grupo III, según norma UNE 22.381.93, hace que se deba realizar un control de las vibraciones transmitidas por la voladura, con el objetivo de certificar que estas no afectan a dichos elementos circundantes.

El objetivo del estudio es por tanto estimar empíricamente desde un punto de vista cualitativo y cuantitativo el fenómeno de la generación y transmisión de vibraciones producidas por las voladuras.

Los contenidos del informe se refieren por tanto a la aplicación de la normativa vigente en cuanto a vibraciones producidas por voladuras (Norma UNE 22-381-93) para estructuras del grupo III, como la obtención de la tabla de carga-distancia que se prodría emplear posteriormente en el diseño de futuras voladuras, con el objetivo de proteger los elementos constructivos.

1.2.9.2. VIBRACIONES EN VOLADURAS.

1.9.2.1 Introducción

A continuación, se exponen los conceptos teóricos sobre la generación, transmisión y amortiguación de vibraciones producidas por voladuras que pueden ser útiles para la comprensión general del presente estudio.

1.9.2.2 Descripción del fenómeno vibratorio

Entendemos por vibraciones fenómenos de transmisión de energía mediante la propagación de un movimiento ondulatorio a través de un medio. El fenómeno de vibraciones queda caracterizado por una fuente o emisor, esto es, un generador de vibraciones, y por un objeto o receptor de las mismas. El fenómeno de las vibraciones se manifiesta mediante un movimiento ondulatorio.

1.9.2.3 Generación de ondas sísmicas por voladuras

La detonación de una masa de explosivo confinada en el interior de un barreno localizado en un macizo rocoso, genera de una forma casi instantánea un volumen de gases a una presión y temperatura enormes. Esta aparición brusca de una presión elevada sobre las paredes del barreno actúa como un choque o impacto brusco, que se manifiesta en forma de onda de deformación a través de la masa en torno al barreno. Esa onda de deformación /tensión trasmitida es cilíndrica, en el caso de carga cilíndrica

distribuida en el barreno, o esférica, en caso de carga puntual o esférica, aunque a considerable distancia del barreno con relación a su longitud puede considerarse la explosión reducida a un punto y en consecuencia la onda de propagación como esférica. En definitiva, la tensión soportada por un elemento material será función inversa de la distancia.

Se puede admitir que la transmisión de la vibración a partir de una distancia de barrenos relativamente pequeña, se produce mediante ondas básicamente elásticas, con despreciable consumo de energía.

1.9.2.4 Tipos de Ondas elásticas.

Aunque las ecuaciones clásicas de ondas elásticas son inadecuadas para describir el fenómeno de las vibraciones por efecto de una voladura, tal y como se manifiesta con sus problemas de atenuación, dispersión, cambio de longitud de onda y superposición de ondas, ha de considerarse que hasta la fecha es el mejor modelo simplificado de que se dispone para el análisis de este fenómeno. Se puede considerar, pues, que a efectos de las vibraciones en voladuras, sólo nos interesa la propagación de ondas en la zona exterior o elástica en torno del barreno y que en ella las únicas ondas significativas que se transmiten resultan ser ondas elásticas de baja energía.

Básicamente podemos agrupar los tipos de ondas elásticas en dos grupos, a saber:

Ondas internas, que se propagan por el interior del sólido rocoso en nuestro caso y dentro de las cuales encontramos: las ondas longitudinales, de compresión o principales P y las ondas transversales, de cizalladura o secundarias S.

Ondas de superficie, que únicamente se transmiten por la superficie del material y entre las que encontramos: las ondas Rayleigh R y las ondas Love L; son las principales, si bien citamos existen las llamadas ondas acopladas y ondas hidrodinámicas.

Las ondas P se caracterizan por provocar la oscilación de las partículas en la misma dirección en la que la onda se propaga. Las ondas S se caracterizan por provocar la oscilación de las partículas en una dirección transversal a la dirección en que la onda se propaga.

Cuando las ondas internas generadas en el interior de un macizo rocoso alcanzan la superficie, son influidas por esta discontinuidad y aparecen ondas de superficie. Si se considera para su análisis que el eje X es el correspondiente al de la dirección principal

de propagación, el eje Y al horizontal, perpendicular al X, y el eje Z al vertical perpendicular a los dos anteriores:

- Las ondas Rayleigh se propagan en el plano ZX, originando en dicho plano oscilaciones elípticas. Su efecto es de compresión, dilatación y cizalla. Su velocidad es aproximadamente 0.9 de las ondas transversales.
- Las ondas Love se propagan en el plano XY originando oscilaciones elípticas contenidas en dicho plano. Su velocidad es similar a la de las Rayleigh. La existencia de las ondas Love, está restringida a capas de terreno en contacto con la atmósfera y bajo las cuales existan otras capas en que la velocidad de las ondas transversales sea mayor que en la capa en cuestión. También pueden existir ondas Love cuando la velocidad de las ondas S aumenta con la profundidad para los diferentes materiales.

Estudios realizados han demostrado que la energía sísmica de alta frecuencia es absorbida más rápidamente que la de baja frecuencia, de modo que la energía contenida en la sondas sísmicas estará más concentrada en intervalos correspondientes a bajas frecuencias a medida que nos alejamos del foco generador. A pesar de todo lo dicho, hay que tener presente que en los análisis de vibraciones no suele llegarse a distinguir entre sí los diferentes tipos de ondas que llegan al geófono. La profundidad de los barrenos, que normalmente son de producción, es relativamente pequeña, lo que supone trenes de ondas internas de baja energía. Asimismo, los trenes de ondas llegan casi simultáneamente al geófono, pues la diferencia de velocidad entre ellos es pequeña, frente al pequeño espacio a recorrer hasta el geófono.

1.2.9.3. Medidas de vibraciones producidas por voladuras.

Es preciso hacer aquí una distinción entre aspectos bien diferenciados del fenómeno de la vibración. Uno de ellos es la propagación o transmisividad de la vibración por el medio y otros el movimiento propio que el paso de la vibración genera en las partículas del medio. Cabe entonces diferenciar entre dos tipos de velocidades:

1. Velocidad de onda o de propagación o aquella con la que la vibración se propaga por el medio.
2. Velocidad de partícula o aquella relativa a las oscilaciones que experimenta la partícula, excitada por el paso de la onda de energía vibratoria.

Como ya se ha dicho, una partícula sometida a una vibración, experimenta un movimiento oscilante del que sus parámetros medibles pueden ser desplazamiento, velocidad, aceleración de partícula y la frecuencia del movimiento ondulatorio.

Conociendo cualquier pareja de estos parámetros, se puede deducir el valor del resto, por integración y/o derivación. De todos los parámetros posibles de medida, universalmente se toma la velocidad de vibración como el que mejor representa el nivel de vibración y daños producidos, para edificaciones. No obstante es imposible hoy día establecer un criterio fiable que no considere las frecuencias dominantes en la vibración. Las vibraciones reales no se corresponden a un movimiento armónico puro, pero cualquier señal recibida por el captador se puede representar como la suma de una serie de movimientos armónicos individuales, que se conoce como desarrollo en serie de Fourier de la señal.

1.2.9.4. Ley de transmisividad

De forma genérica el nivel de vibración recibida en un punto, expresado como valor de velocidad de vibración V , es función directa de la carga de explosivo empleado Q e inversa de la distancia D entre el punto de disparo y el punto de registro. Esto se puede expresar de forma genérica:

$$V = K \cdot Q^{\alpha} \cdot D^{\beta} \quad (30)$$

Siendo:

V =Velocidad de vibración (mm/s)

Q = Carga de explosivo (Kg)

D = Distancia (m)

K , α y β son constantes que engloban la geología del terreno, la geometría de las cargas, las diferencias de cota entre los puntos de disparo y de medida, el tipo de propagación, el nivel de “aprovechamiento” de la energía en generar vibraciones, etc.

Por lo tanto, uno de los objetivos de un estudio de vibraciones es hallar el valor de las constantes K , α y β a través de un ajuste mínimo-cuadrático, realizado con los valores V , Q y D tomados en los ensayos.

El coeficiente de correlación “ r ” va a indicar si los puntos (V , Q , D) se ajustan a una ley o no. Dicho coeficiente alcanza el valor máximo 1 cuando los puntos se ajustan perfectamente a la ley y es 0 cuando los puntos se encuentran caóticamente repartidos.

Con objeto de tener una idea visual del ajuste de los puntos al plano, se representan en una gráfica de escalas logarítmicas los valores de V frente a los de D :

Siendo, $D_r = D / Q^{\alpha/\beta}$

Dado que, $\log V = \log K - b \log(Q^{\omega/\beta})$, la representación de dichos puntos ha de tomar una forma aproximadamente rectilínea.

1.2.9.5. Análisis de frecuencias

La peligrosidad con respecto a una estructura de una vibración no está dada solamente por el valor pico de dicha vibración, sino también por la frecuencia de la misma. La peor situación se produciría cuando la frecuencia de la onda que va a excitar una determinada estructura es igual a la frecuencia, o a una de las frecuencias de resonancia de dicha estructura. En este caso se produce la máxima absorción de energía por parte de la estructura y hay mayor probabilidad de que se puedan causar daños en la misma.

Por este motivo, es muy importante determinar claramente cuáles son las frecuencias que participan en el tren de onda generado por la voladura. Este tren de ondas puede contener frecuencias diferentes y, de hecho, cualquier tren de ondas se le puede asimilar a la suma de una serie de armónicos de diferentes frecuencias. Para calcular cuales son las frecuencias que más dominan en un tren de ondas generado por una voladura, uno de los métodos que se aplica habitualmente es el hallar el espectro de frecuencias del mismo con el procedimiento de FFT. El espectro de frecuencias permite determinar la frecuencia o frecuencias predominantes o principales de dicha onda.

1.2.9.6. Criterios limitaciones de vibraciones de voladuras.

El criterio de prevención de daños está contenido en la NORMA UNE 22.381.93 “Control de vibraciones producidas por voladuras”. El nivel de seguridad es función de la frecuencia principal y de la estructura considerada.

Así las estructuras según la citada Norma pueden clasificarse en los siguientes grupos:

Grupo I: Edificios y naves industriales ligeras con estructuras de hormigón armado o metálicas.

Grupo II: Edificios de viviendas, oficinas, centros comerciales y de recreo. Estructuras de valor arqueológico o histórico que por su naturaleza no presenten especial sensibilidad a las vibraciones.

Grupo III: Estructuras de valor arqueológico o histórico que por su naturaleza presenten especial sensibilidad a las vibraciones.

Los límites del criterio de prevención de daños son los siguientes:

VALORES LÍMITES DEL CRITERIO	FRECUENCIA (Hz)		
	2 – 15	15 - 75	>75
	VELOCIDAD (mm/s)	DESPLAZ. (m)	VELOCIDAD (mm/s)
GRUPO I	20	0.212	100
GRUPO II	9	0.095	45
GRUPO III	4	0.042	20

En los tramos de frecuencia comprendida entre 15 y 75 Hz, se podrá calcular la velocidad equivalente, v , a través de la ecuación:

$$v = 2 \pi f d,$$

siendo;

f : frecuencia

d : desplazamiento indicado en la tabla

Esta tabla expresada en forma de gráfico, queda como:

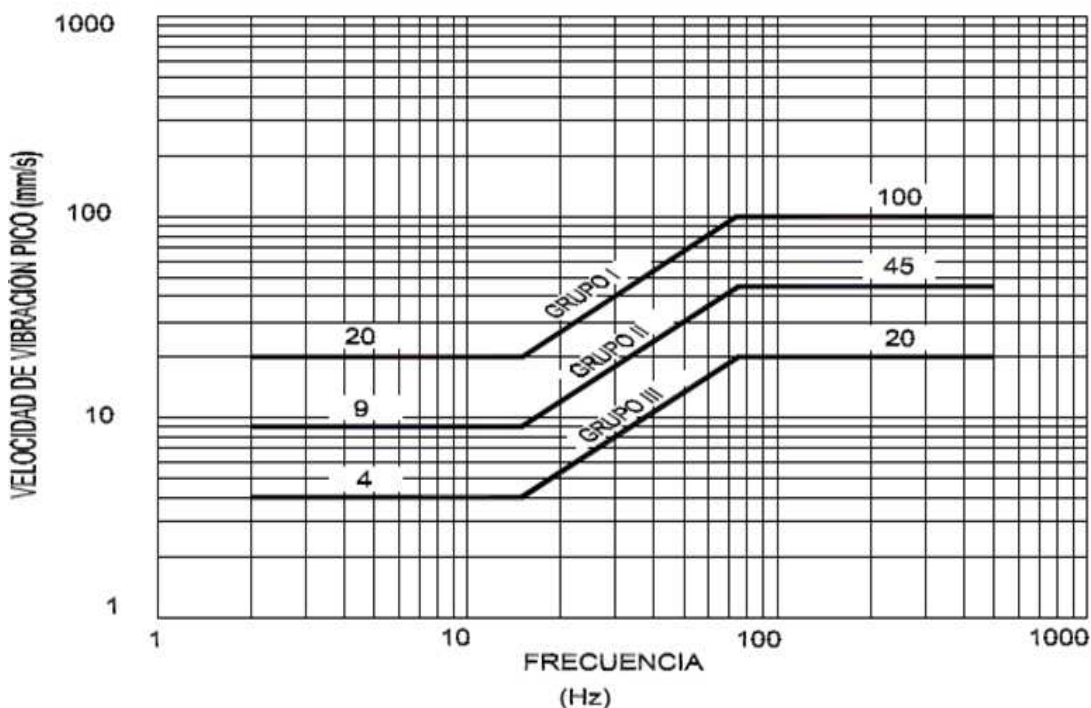


TABLA 1.14. Gráfico, para el criterio de prevención de daños. Según Norma UNE 22.381

En el caso que nos ocupa, la estructura a proteger sería la Torre del Espartal, que ha sido clasificada como perteneciente al grupo III, según la norma UNE citada más arriba.



FIG 1.76.. Fachada Torre el Espartal (Construcción árabe)

1.2.9.7. EQUIPO UTILIZADO

El equipo utilizado en los registros de vibraciones estuvo compuesto por cinco sismógrafos marca VIBRA-TECH, modelo MULTISEIS V *fig 1.161 Anexo VIII*:

- S1: Nº de serie 3527, cuya última fecha de calibración fue el 3 de mayo de 2016.
- S2: Nº de serie 3607, cuya última fecha de calibración fue el 3 de mayo de 2016.
- S3: Nº de serie 4935, cuya última fecha de calibración fue el 5 de mayo de 2016.
- S4: Nº de serie 5026, cuya última fecha de calibración fue el 17 de agosto de 2015.
- S5: Nº de serie 5235, cuya última fecha de calibración fue el 21 de enero de 2016.

Dichos sismógrafos miden las tres componentes ortogonales de la velocidad de vibración, además de la frecuencia.

Para el volcado y el tratamiento informático de los datos obtenidos se empleó el software de VIBRA-TECH, el cual permite obtener los registros de todos los datos de

interés, incluyendo la forma de onda y el criterio de prevención de daños según la Norma UNE 22-381-93.

1.2.9.8. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO.

En los siguientes puntos se recoge el planteamiento general de un estudio de vibraciones ,junto con la metodología que se ha seguido.

1.2.9.8.1 Planteamiento general de un estudio de vibraciones.

El empleo de explosivos conlleva necesariamente la generación de movimientos sísmicos, ya que parte de la energía del explosivo se emplea en generar ondas sísmicas, que se transmiten en el terreno disipándose con la distancia. Un estudio de vibraciones persigue la obtención de una ley que relacione un nivel de velocidad de vibración de partícula, con unas cargas de explosivo disparadas a unas distancias dadas, para un tipo de terreno concreto.

Esta ley es de la forma ya establecida en el apartado de transmisividad:

$$V = K \cdot Q^{\alpha} \cdot D^{\beta} \quad (31)$$

Siendo:

V=Velocidad de vibración (mm/s)

Q= Carga de explosivo (Kg)

D= Distancia (m)

Disparando cargas individuales y midiendo la velocidad de vibración que producen a una distancia conocida se puede hacer un ajuste de esta ecuación general, hallándose así los valores de K α β , que serán características del terreno objeto de ensayo.

Con estos datos y la limitación adecuada, se puede calcular la carga por microrretardo máxima para no sobrepasar el nivel de velocidad establecido.

Para llevar a cabo todo esto en la práctica, lo primero es adquirir el máximo conocimiento posible sobre la zona donde se realicen los disparos, de su geología y de su configuración, con especial atención a los elementos que pudieran llegar a resultar afectados por las vibraciones generadas. De esta forma, se está en situación de poder fijar en qué sitios se realizarán los ensayos y cuáles serán los puntos de medida más adecuados para que éstos sean lo más representativos posible.

Los tiros de ensayo son barrenos individuales o grupos de barrenos que se disparan de forma que no tengan salida, es decir, que no produzcan arranque de material,

con lo que consumen casi toda su energía en originar vibraciones. Esto permite obtener menor dispersión en cuanto al porcentaje de energía dedicado a generar vibraciones, obteniéndose un mejor ajuste del comportamiento del terreno.

El disparar grupos de barrenos, secuenciándolos entre sí con detonadores de microrretardo, tiene como fin determinar cuál es el grado de superposición de las ondas sísmicas de barrenos consecutivos, evaluando la cantidad de la energía de un barreno que se suma a la del precedente cuando son disparados con diferencia de milisegundos.

Las voladuras de producción incluyen la posible superposición de vibraciones, pero no suelen tener un confinamiento tan elevado como el disparo de barrenos aislados, por lo que las condiciones que se dan en este caso, aunque no suelen ser las más restrictivas, sí son las que se van a dar en la práctica con mayor frecuencia, por lo que también es interesante su medida y análisis, si es posible.

Es importante que tanto las cargas que se disparen como las distancias a las que se midan las vibraciones producidas sean lo más variadas posible, ya que así el ajuste de la ley con los puntos obtenidos es de mejor calidad, con lo que la misma es, consecuentemente, más representativa

El equipo utilizado en la toma de datos es de capital importancia, tanto técnica como económicamente. Disponer de un equipo formado por un número elevado de sismógrafos multicanales, es decir, con posibilidad de efectuar distintas medidas sobre un mismo disparo y un mismo punto, permite disminuir notablemente el número de disparos que será preciso realizar, con el consiguiente ahorro en perforación y explosivo.

Finalizada la toma de datos, el trabajo de gabinete comienza por la lectura en los registros de los datos de velocidad de vibración. También se determina a qué distancia ha sido tomado ese dato del punto de disparo correspondiente, del que previamente se conoce cuál es la carga de explosivo.

Ese trío de valores, junto con un código de identificación de cada valor particular, es introducido en el ordenador, en el cual, mediante un programa adecuado, se realiza el ajuste de los puntos, calculando la ley de transmisión de la vibración. $K\alpha\beta$, son las tres constantes que se determinan en el cálculo. El mismo programa permite representar gráficamente esta ley y realizar con ella los cálculos de superposición

Así mismo, se realizará un análisis espectral de las ondas registradas, determinando las frecuencias fundamentales de vibración.

Finalmente, con la ley de transmisión obtenida con las pertinentes correcciones por superposición, y el límite que se haya establecido, se pueden confeccionar las tablas de carga por microrretardo / distancia, en las que se dan las cargas máximas por microrretardo que se podrían detonar para no sobrepasar a cada distancia la velocidad de vibración límite. Estas tablas son de aplicación directa para el diseño de las voladuras.

1.2.9.8.2 Metodología

Para la realización de este estudio, nos basamos en el estudio preliminar de vibraciones descritos en la Norma UNE 22.381.93, consistente en el disparo de diversos barrenos con cargas progresivas individuales o en grupo y con distintas secuencias que generan vibraciones en la zona a estudiar, midiendo dichas vibraciones con captadores adecuados(sismógrafos) en puntos definidos y conocidos.

La parte fundamental del diseño de las pruebas es la definición de las mediciones que se realizarían en campo, ya que del correcto diseño dependen en gran forma los resultados del mismo. Para ello, se ha empleado la ley general de amortiguación (obtenida a partir de numerosas mediciones en el mismo tipo de roca presente en la obra por parte de UEE).

Con esta ley de amortiguación, el intervalo de distancias entre la cantera y la torre, y los niveles de vibración que pueden registrar los equipos de medida empleados (cinco sismógrafos Vibratex MultiSeis V), se definen las cargas que se dispararían en las pruebas. Para la estimación inicial de estas cargas, se emplea un método de cálculo iterativo.

Con estos resultados iniciales, se definen las pruebas definitivas que se realizarían en la cantera. Estas pruebas consistirían en el disparo de varios barrenos o grupos de barrenos, que simulen cada una de las circunstancias particulares de las voladuras en la obra de cara a las vibraciones. Estas pruebas son

-Primera prueba: determinación de la ley de amortiguación. Las pruebas en este caso

consistieron en:

El disparo de 6 cargas, en barrenos sin salida perforados en el diámetro de 3"

(76 mm). Fueron perforados:

- 1 barreno de 6 metros.
- 1 barreno de 8 metros.
- 1 barreno de 10 metros.
- 6 barrenos de 13 metros.

Los 3 primeros barrenos estarían cargados con 5, 10 y 15 cartuchos de Riodin HE(dinamita) en 50x380x1.042, lo que supondrían cargas de 5,21, 10,42 y 15,63 kg respectivamente.

Los 6 barrenos siguientes estarían cargados con 1 cartucho Riodin HE 50x380x1.042, más 1 saco de 25 kg de Rioxam ST (anfo). Serían disparados por grupos de 1, 2 y 3 barrenos, lo que supondrían cargas de 26, 52 y 78,1 kg respectivamente.

Los barrenos estarían perforados en zona de roca caliza de la cantera, a distancia entre barreno y barreno de 5 m, y en todo caso no menos de 2 m. La carga y el disparo de las cargas se realizaría de uno en uno y comenzando por los más bajos, con objeto de poder ir chequeando los niveles de vibración generados y no sobrepasar el límite de 4 mm/s en la torre. La longitud de perforación y el retacado será la adecuada como para no producir proyecciones y minimizar el arranque; se propone una longitud de retacado mínima de 4 m y las longitudes de perforación ya señaladas.

El sistema de iniciación empleado sería el normalmente utilizado en la cantera, es decir, cebado en fondo con detonadores Rionel MS nº 20; los ensayos compuestos por varios barrenos se dispararán de forma simultánea, con objeto de asimilar la carga del ensayo a la suma de las cargas de todos los barrenos del mismo.

Nº ensayo	Nº barrenos	Nº cartuchos	Nº sacos	Riodin 50	Rioxam ST	Carga
1	1	5	0	5,21 kg	0 kg	5,21 kg
2	1	10	0	10,42 kg	0 kg	10,42 kg
3	1	15	0	15,63 kg	0 kg	15,63 kg
4	1	1	1	1,042 kg	25 kg	26,042 kg
5	2	2	2	2,084 kg	50 kg	52,084 kg
6	3	3	3	3,126 kg	75 kg	78,126 kg
TOTAL	9	36	6	37,512 kg	150 kg	187,512 kg

TABLA 1.15. Cargas de voladura preliminar para ensayo de vibración.

La medición fue realizada en 5 puntos en la superficie; se midió con 5 equipos en una alineación, colocando los sismógrafos a distancias variables, de 70 a 320 m, aproximadamente, de la carga más cercana a los sismógrafos. La alineación estaba dirigida hacia la estructura, es decir, la Torre del Espartal.

Uno de los sismógrafos fue colocado junto a la Torre del Espartal, concretamente el S4, nº 5026.

Segunda prueba: medición de una voladura de producción. Una vez disparados los barrenos confinados, fue cargada y disparada una voladura de producción, respetando y poniendo especial cuidado en evitar el solapamiento en los tiempos de salida de los barrenos.

Los registros correspondientes a esta voladura de producción nos permitirán contrastar la ley obtenida a partir de barrenos confinados con la vibración producida por una voladura con arranque.

Los resultados a tener en cuenta en las medias realizadas serán:

Determinar la ley de amortiguación de vibraciones en la zona de estudio, a partir del valor pico de la velocidad de partícula y la frecuencia predominante de la onda así como la distancia entre el barreno y el punto de medida, y la cantidad de explosivo disparada.

Determinación de un diseño de voladura adecuado para reducción de vibraciones generadas para que no afecten a las estructuras a proteger.

Tras la recopilación y clasificación de datos iniciales del estudio, cuyo origen son las mediciones realizadas, se pasará a la ejecución de los cálculos correspondientes.

No se dispone de valores registrados correspondientes al ensayo 1, debido a que la vibración producida tuvo que ser inferior a 0,50 mm/s, valor umbral a partir del que comienzan a medir los sismógrafos.

Por la misma razón, en los ensayos 2 y 3 sólo registraron los sismógrafos 1 y 2.

En el ensayo 4 registraron los sismógrafos 1, 2 y 3.

En el ensayo 5 y en la voladura, registraron los 5 sismógrafos.

En el ensayo 6 sólo registraron los sismógrafos 1, 2, 3 y 4.

En un primer análisis, comprobamos que las mediciones correspondientes al disparo del ensayo 6, 3 barrenos disparados a la vez, con una carga total de 78,126 kg de explosivo, son anormalmente bajos, similares al disparo del ensayo 4, con una carga de 26,042 kg. Por lo tanto, decidimos eliminar dichos puntos del estudio. Los valores anormalmente bajos registrados, pudieron deberse a que se produjo arranque del terreno, o a que la zona había sido fracturada por los barrenos disparados anteriormente. No obstante, adjuntamos dichos registros en los anexos.

1.2.9.8.3 Cálculos

Una vez realizado el diseño del estudio se analizarán los datos convenientemente y así obtendremos la ley de amortiguación del terreno. Por otra parte, tras el análisis detallado de las frecuencias se establecerán las tablas carga-distancia correspondientes a las estructuras a proteger.

Ley de amortiguación.

La ley de amortiguación obtenida representativa de todos los puntos correspondientes a tiros instantáneos del ensayo, y a la voladura, con un coeficiente de correlación de 0,929, resultó ser la siguiente,

$$v = 42,67 \times Q^{0,69} \times D^{-1,17} \quad (32)$$

Aplicando a esta ley un nivel de confianza del 90%, obtenemos la siguiente:

$$v = 85,89 \times Q^{0,69} \times D^{-1,17}$$

Esta será la ecuación que se utilice para el cálculo de la tabla carga-distancia

Resultados del estudio de vibraciones

Modelo de ajuste:

$$V=k \cdot Q^a \cdot D^b$$

Resultados del ajuste:

α	0,69
β	-1,17
k	42,67
$-\alpha/\beta$	0,59

Estadísticos:

coeficiente de correlación	0,929
desviación estándar	0,397
número de datos	17
grados de libertad	14
nivel de confianza (%)	90
t Student	1,761

Constante de superposición	1,000
Constante de seguridad	2,013

Rectas calculadas:

Ley de amortiguación:

$$V=42,67 \cdot Q^{0,69} \cdot D^{-1,17}$$

Ley de amortiguación con seguridad del 90 %:

$$V=85,89 \cdot Q^{0,69} \cdot D^{-1,17}$$

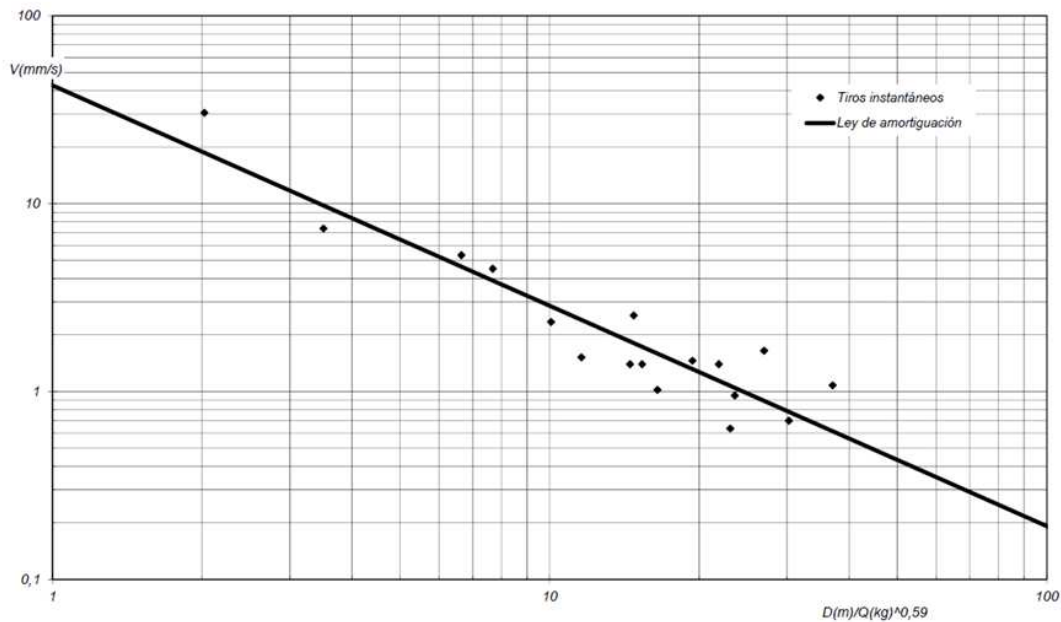


TABLA 1.16. Grafica ley de amortiguación: $V = 42,67 \cdot Q^{0,69} \cdot D^{-1,17}$.

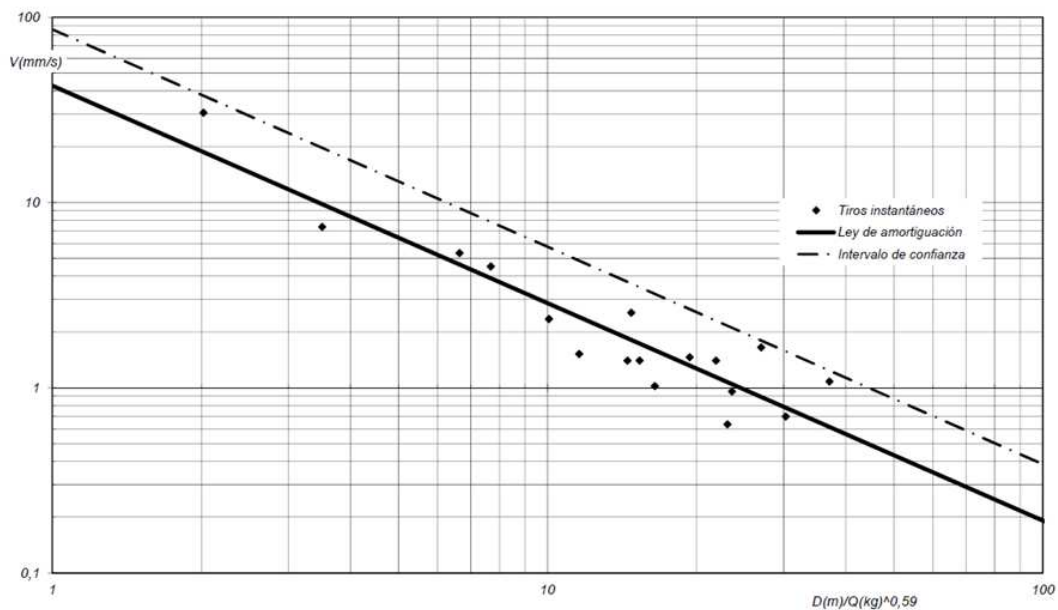


TABLA 1.17. Grafica ley de amortiguación: $V = 85,89 \cdot Q^{0,69} \cdot D^{-1,17}$.

Análisis de frecuencias

Los valores medidos en el estudio van de 6 a 19 Hz. Por otro lado, las frecuencias medidas en la Torre del Espartal fueron de 10 y 11 Hz. Estas frecuencias bajas nos hacen situarnos en la parte más restrictiva del criterio de prevención de daños de la norma UNE, para frecuencias inferiores a 15 Hz.

Criterio de limitación de vibraciones.

En el caso que nos ocupa, la estructura a proteger es la Torre del Espartal, clasificada dentro del grupo III de la norma UNE: Estructuras de valor arqueológico o histórico que por su naturaleza presenten especial sensibilidad las vibraciones, gráfica apartado 1.9.

Teniendo en cuenta que las frecuencias registradas en la Torre del Espartal son inferiores a 15 Hz, el criterio de prevención de daños para dicha estructura sería de 4 mm/s.

El sismógrafo S4 (nº 5026), utilizado en el estudio, fue colocado junto a la Torre del Espartal, para comprobar los valores registrados durante los disparos del estudio. El valor máximo registrado fue de 1,65 mm/s a 10 Hz, es decir, por debajo del criterio de prevención de daños.

Tabla carga-distancia.

El paso final del estudio de vibraciones es la obtención de la tabla carga-distancia para la estructura que se debe proteger.

La tabla carga-distancia ha sido calculada para un nivel de vibración de 4 mm/s, que es el criterio de prevención de daños para estructuras del tipo III con frecuencias inferiores a 15 Hz, y para distancias de 80 a 200 metros.

Distancia (m)	Carga (kg)	Distancia (m)	Carga (kg)
80	20,308	130	46,415
85	22,516	135	49,495
90	24,818	140	52,656
95	27,211	145	55,898
100	29,694	150	59,219
105	32,266	160	66,097
110	34,925	170	73,284
115	37,671	180	80,774
120	40,502	190	88,562
125	43,417	200	96,644

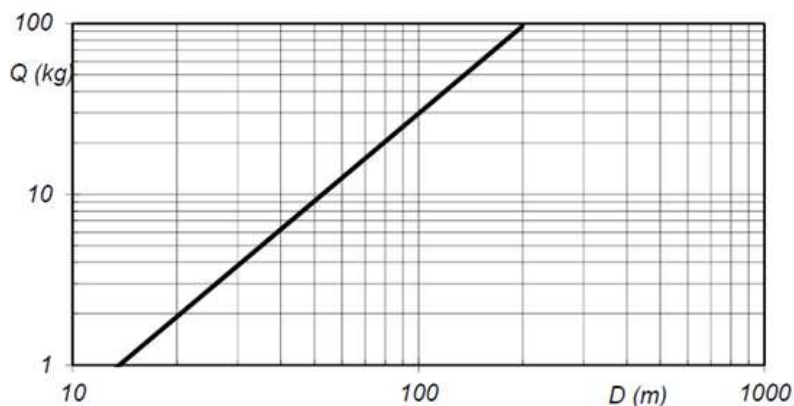


TABLA 1.18. Gráfica, relación carga- distancia.

Esta tabla se ha elaborado por aplicación del límite de vibración citado más arriba, de 4 mm/s, a partir de la ley de amortiguación obtenida con un nivel de confianza del 90%.

Datos aportados por Sismógrafo

A continuación se adjunta los datos que el sismógrafo recoge y que se obtiene tras su análisis con el software Vibra-Tech.



FIG 1.77. *Sismógrafo, colocado en punto definido en la línea de voladura.*

VIBRA-TECH The Vibration Monitoring Experts

Event Report

Fecha/Hora Long en 12:12:08 Mayo 20
Origen del Disparo Geo: 0.492 mm/s
Rango Geo: 127 mm/s
Tiempo Registro 2.0 seg en 1024 sps

Numero de Serial 3607 V 2.4 MultiSeis V
Nivel de Bateria 6.6 Voltios
Date de Calibracion Octubre 27, 1994 by VIBRA-TECH
Nombre del Archivo E607GDOP.W81

Notas
Location: C.Torre del Espartal - Priego de Cordoba
Client: VOLADURAS JIMENEZ, S.L. - PEDRO PEREZ
User Name: MAXAM EUROPE, S.A.
Converted: May 27,

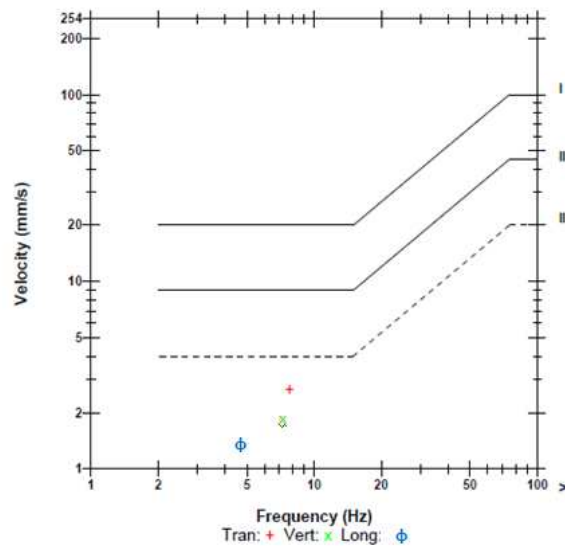
Extended Notes

Notas Post Evento
ENSAYO 6
SISMÓGRAFO 2 - N° 3607
CARGA: 78,126 KG
DISTANCIA: 82,4 M

Microfono
PSPL <100 dB(L) en -0.249 seg
Frecuencia ZC N/D
Prueba de Canal Check (Frec = 0.0 Hz Amp = 3 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	2.67	0.826	0.699	mm/s
Frecuencia ZC	8.0	11	12	Hz
Tiempo (Rel. al Disparador)	0.260	0.177	0.210	seg
Aceleracion del Pico	0.0199	0.0133	0.0133	g
Desplazamiento del Pico	0.0539	0.0120	0.0127	mm
Chequeo de Sensores	Paso	Paso	Paso	
Frequency	8.0	8.0	7.7	Hz
Overswing Ratio	3.6	3.6	3.7	

CRITERIO PREVENCIÓN (UNE 22.381)



Pico Vector Suma 2.73 mm/s en 0.267 seg

N/D:

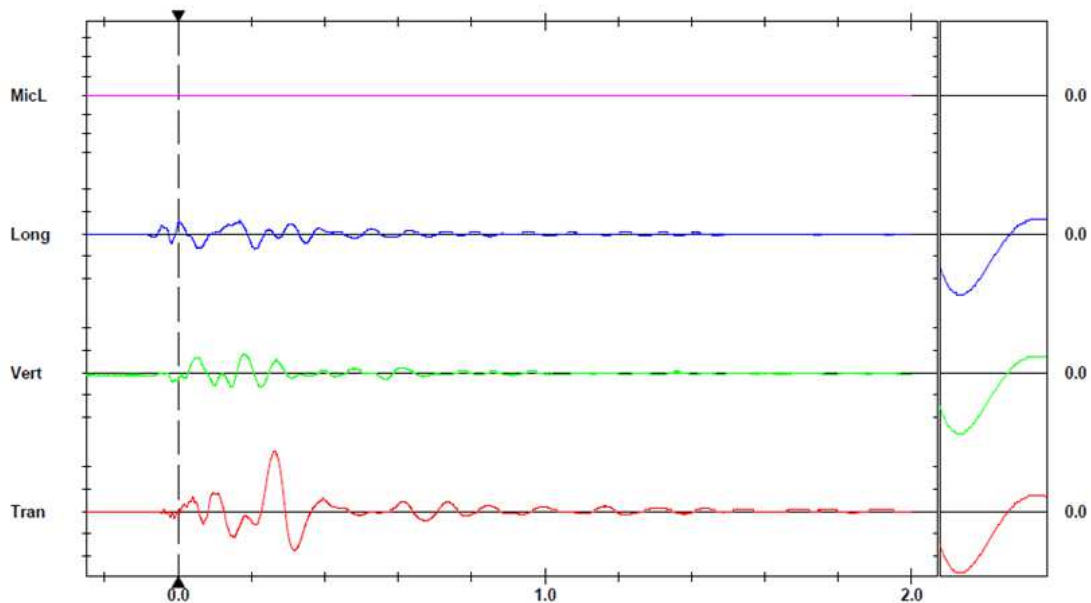


TABLA 1.19: Grafica, relación tiempo- Amplitud. Escala tiempo 0.20seg
Escala Amplitud 1 mm/s, registrada por sismógrafo

1.2.9.9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Tras la obtención de medidas en los ensayos realizados en la Cantera Torre del Espartal, en Priego de Córdoba (Córdoba), llevadas a cabo con los medios descritos anteriormente, y siguiendo la metodología correspondiente del presente informe, se concluye el mismo con la obtención de una ley de transmisión que relaciona las cargas detonadas y las distancias con el valor pico de la vibración generada.

El coeficiente de correlación lineal de la regresión, 0,929, es muy cercano a 1, lo cual permite hablar de una buena representatividad de la ley obtenida.

El sismógrafo S4 (nº 5026), utilizado en el estudio, fue colocado junto a la Torre del Espartal, para comprobar los valores registrados durante los disparos del estudio. El valor máximo registrado fue de 1,65 mm/s a 10 Hz, es decir, por debajo del criterio de prevención de daños.

En cuanto a las recomendaciones sobre la ejecución, se propone adecuar las cargas operantes de las voladuras a la tabla carga-distancia adjunta, dependiendo de la distancia mínima a la Torre del Espartal. En todo caso, se recomienda realizar una medición de control de vibraciones, al menos en las primeras voladura, para contrastar los resultados de este estudio.